



# **UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO**

**INSTITUTO DE CIENCIAS BÁSICAS E INGENIERÍA  
ÁREA ACADÉMICA DE COMPUTACIÓN**

## **“CARACTERIZACIÓN Y MODELADO EXPERIMENTAL DE RESISTENCIAS VARIABLES EN TI”**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTAN:**

**GEOVANI MEJÍA MARTÍNEZ  
ISRAEL RIVERA GÓMEZ**

**DIRECTORES DE TESIS:**

**M. EN C. NORBERTO HERNÁNDEZ ROMERO  
DR. OMAR ARTURO DOMÍNGUEZ RAMÍREZ**

**PACHUCA DE SOTO, HGO., NOVIEMBRE DEL 2007**



## RESUMEN

En este trabajo se presenta un prototipo que de manera automática realiza la caracterización y modelado de potenciómetros en tiempo real. Es decir, obtiene la adquisición de muestras del comportamiento del potenciómetro, se le aplica el método de regresión por mínimos cuadrados que es el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión, con base a esto, se puede apreciar claramente cual es el error que presenta la caracterización del potenciómetro, estos errores son graficados para que podamos apreciar cual es el punto que más se aleja de la recta, después se integra el error para obtener un valor del área bajo la curva y así poder comparar el comportamiento de los potenciómetros.

A través del lenguaje de programación LabVIEW podemos observar los datos obtenidos de manera gráfica: la caracterización del potenciómetro, el sensor de temperatura, la gráfica de la suma de todas las desviaciones y la recta de ajuste.

Para llevar a cabo las pruebas físicas de los potenciómetros se implementó un prototipo, el cual consiste de un acoplamiento de la flecha de un motor a pasos y el eje del potenciómetro por medio de una banda. El circuito L293B es el conductor de movimiento del motor a pasos, además, se implementó un sensor de temperatura con el circuito integrado LM35 y finalmente el microcontrolador MBOARD9S12GC que es el encargado de enviar una secuencia para que se realice la inversión de la polaridad que provoca el movimiento del eje en un paso. A través del ADC se realizan las adquisiciones de las muestras del potenciómetro y la temperatura sensada.

Se realizan dos pruebas a cada uno de los potenciómetros utilizados de 100K $\Omega$ , 5K $\Omega$ , 2K $\Omega$  y 1K $\Omega$ , para comparar el desempeño, la primera prueba consiste en obtener la caracterización del potenciómetro a temperatura ambiente y la segunda consiste en elevar la temperatura del potenciómetro a más de 70 °C.

En cada una de las pruebas realizadas se pudo observar que a las diferentes temperaturas a las cuales fueron sometidos, se demostró que no existe gran variación respecto a su comportamiento, pero si se observó claramente que los potenciómetros de caña muestran una zona muerta al inicio de su recorrido, sin embargo sólo el potenciómetro multivoltas no presenta zonas muertas.

ÍNDICE

<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Índice-----	i
Índice de figuras-----	iv
Objetivo general-----	1
Objetivos específicos-----	1
Justificación-----	2
Hipótesis-----	3
<b>Capítulo I: Introducción</b>	
1.1 Antecedentes-----	4
1.2 Resistencia de un conductor-----	5
1.3 Caracterización y modelado matemático de resistores variables lineales-----	6
1.4 Implementación de sistemas electrónicos de adquisición de datos-----	7
1.5 Contribución de la tesis-----	7
1.6 Organización de la tesis-----	8
<b>Capítulo II: Resistencias variables: características y especificaciones técnicas</b>	
2.1 Introducción-----	9
2.2 Resistencias variables-----	9
2.2.1 Resistencias variables de capa-----	10
2.2.2 Resistencias variables bobinadas-----	11
2.3 Potenciómetros-----	12
2.3.1 Potenciómetros giratorios-----	13
2.3.2 Potenciómetros multivoltas-----	14
2.3.3 Potenciómetros lineales-----	15
2.3.4 Potenciómetros logarítmicos-----	16
2.4 Características principales-----	17
2.4.1 Linealidad-----	17
2.4.2 Ley de la variación logarítmica-----	18
2.4.3 Resolución-----	19
2.4.4 Vida útil de los potenciómetros-----	21
2.5 Montaje de un potenciómetro-----	21
2.6 Trimpots o resistencias ajustables-----	22
2.6.1 Reóstatos-----	22
2.7 Características técnicas de los potenciómetros-----	23

2.8 Aplicaciones de los potenciómetros -----	24
2.9 Conclusiones-----	24
 <b>Capítulo III: Diseño e integración del sistema</b>	
3.1 Introducción -----	25
3.2 Selección del motor -----	25
3.2.1 Funcionamiento de los motores paso a paso -----	25
3.2.2 Motores bipolares -----	26
3.3 Circuito L293B -----	28
3.4 Selección del microcontrolador -----	29
3.4.1 Descripción de microcontrolador MBOARD9S12GC -----	29
3.4.2 Características principales -----	30
3.4.3 Recursos con los que cuenta el microcontrolador -----	31
3.4.4 Características de la tarjeta -----	32
3.5 Diagramas electrónicos e impresos del controlador y microcontrolador -----	32
3.6 Circuito del sensor de temperatura -----	35
3.7 Descripción del prototipo -----	36
3.7.1 Montaje del prototipo-----	37
3.8 Estación de trabajo -----	38
 <b>Capítulo IV: Resultados experimentales</b>	
4.1 Introducción-----	39
4.2 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 1 K $\Omega$	39
4.2.1 Experimento 1 -----	40
4.2.2 Experimento 2 -----	42
4.3 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 5 K $\Omega$ -----	45
4.3.1 Experimento 1 -----	45
4.3.2 Experimento 2 -----	47
4.4 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 100 K $\Omega$ -----	50
4.4.1 Experimento 1 -----	50
4.4.2 Experimento 2 -----	52
4.4 Resultados obtenidos del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$ -----	55
4.5.1 Experimento 1 -----	55
4.5.2 Experimento 2 -----	57
4.6 Conclusiones -----	59

<b>Capítulo V: Conclusiones</b>	
5.1 Conclusiones-----	60
5.2 Metodología desarrollada-----	60
5.3 Aportaciones-----	61
5.4 Trabajos a futuro-----	61
<b>Bibliografía-----</b>	<b>63</b>
<b>Glosario -----</b>	<b>65</b>
<b>Lista de acrónimos y abreviaturas-----</b>	<b>67</b>
<b>Apéndice A LabVIEW</b>	
A.1 Introducción a LabVIEW-----	68
A.2 Funciones utilizadas de LabVIEW-----	74
A.3 Programa-----	78
<b>Apéndice B CodeWarrior</b>	
B.1 Introducción a CodeWarrior-----	82
B.2 Beans de CodeWarrior utilizadas-----	85
B.3 Métodos utilizados en el programa-----	89
B.4 Programas-----	89
<b>Apéndice C Caracterización y modelado matemático</b>	
C.1 Introducción-----	95
C.2 Estimación de la recta de regresión-----	95
C.3 Modelado de potenciómetros-----	95

ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Descripción</b>	<b>Página</b>
Figura 1.1 Símbolo de resistencias y representación física-----	4
Figura 2.1: Resistencia variable (potenciómetro)-----	9
Figura 2.2 Clasificación de potenciómetros según el desplazamiento del cursor --	13
Figura 2.3 Potenciómetro giratorio y circuito característico del potenciómetro----	13
Figura 2.4: Símbolo y esquema del potenciómetro multivuelatas -----	14
Figura 2.5 Potenciómetro lineal miniatura -----	15
Figura 2.6: Diagrama del potenciómetro -----	16
Figura 2.7: Gráfica de potenciómetro perfectamente lineal-----	17
Figura 2.8 Potenciómetro desviándose de la línea recta perfecta-----	18
Figura 2.9 Curva de variación logarítmica -----	19
Figura 2.10 Variación por pasos o no continua de la resistencia -----	20
Figura 2.11: Circuito puente -----	21
Figura 2.12: Circuito puente con el potenciómetro en una rama de puente -----	22
Figura 2.13: Conexión de un reóstato -----	23
Figura 3.1 Imagen del rotor -----	26
Figura 3.2 Imagen de un estator de 4 bobinas-----	26
Figura 3.3 Motor a pasos-----	26
Figura 3.4 Secuencia para manejar motores a pasos bipolares-----	27
Figura 3.5 Circuito integrado L293b-----	28
Figura 3.6 Diagrama electrónico del conductor de movimiento L293b-----	29
Figura 3.7 Fotografía del microcontrolador MBOARD9S12GC-----	30
Figura 3.8 Recursos de la uBOARD-----	31
Figura 3.9 Tira de la pines de la uBOARD -----	32
Figura 3.10 Diagrama del microcontrolador y el conductor de movimiento-----	33
Figura 3.11 Impreso del microcontrolador y el conductor de movimiento. -----	34
Figura 3.12 Fotografía del microcontrolador y el conductor de movimiento-----	34
Figura 3.13 Circuito electrónico del sensor de temperatura -----	35
Figura 3.14 Fotografía aérea del sensor de temperatura -----	36
Figura 3.15 Acoplamiento del eje del potenciómetro -----	36
Figura 3.16 Acoplamiento de la flecha del motor y el eje del potenciómetro -----	37
Figura 3.17 Fotografía aérea del prototipo-----	37
Fotografía 3.18 Estación de trabajo-----	38
Figura 4.1 Comportamiento real del potenciómetro de 1 K $\Omega$ a 13.5°C -----	40
Figura 4.2 Temperatura del potenciómetro de 1 K $\Omega$ -----	40

Figura 4.3 Modelado del potenciómetro de 1 K $\Omega$ a 13.3°C-----	41
Figura 4.4 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones -----	42
Figura 4.5 Comportamiento real del potenciómetro de 1 K $\Omega$ a 75°C -----	42
Figura 4.6 Temperatura del potenciómetro de 1 K $\Omega$ -----	43
Figura 4.7 Modelado del potenciómetro de 1K $\Omega$ a 75°C-----	44
Figura 4.8 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones -----	44
Figura 4.9 Comportamiento real del potenciómetro de 5 K $\Omega$ a 13.5°C -----	45
Figura 4.10 Temperatura del potenciómetro de 5 K $\Omega$ -----	45
Figura 4.11 Modelado del potenciómetro de 5 K $\Omega$ a 13.3°C -----	46
Figura 4.12 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	47
Figura 4.13 Comportamiento real del potenciómetro de 5 K $\Omega$ a 73.5°C -----	47
Figura 4.14 Temperatura del potenciómetro de 5 K $\Omega$ -----	48
Figura 4.15 Modelado del potenciómetro de 5 K $\Omega$ a 73.5°C-----	49
Figura 4.16 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	49
Figura 4.17 Comportamiento real del potenciómetro de 100 K $\Omega$ a 15°C -----	50
Figura 4.18 Temperatura del potenciómetro de 100 K $\Omega$ -----	50
Figura 4.19 Modelado del potenciómetro de 100 K $\Omega$ a 15°C-----	51
Figura 4.20 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	52
Figura 4.21 Comportamiento real del potenciómetro de 100 K $\Omega$ a 114°C-----	52
Figura 4.22 Temperatura del potenciómetro de 100 K $\Omega$ -----	53
Figura 4.23 Modelado del potenciómetro de 100 K $\Omega$ a 114°C -----	54
Figura 4.24 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	54
Figura 4.25 Comportamiento real del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ a 15°C	55
Figura 4.26 Temperatura del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ -----	55
Figura 4.27 Modelado del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ a 15°C -----	56
Figura 4.28 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	57
Figura 4.29 Comportamiento real del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ a 78°C	57
Figura 4.30 Temperatura del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ -----	58
Figura 4.31 Modelado del potenciómetro multivuelatas de 2 K $\Omega$ a 78°C -----	59
Figura 4.32 Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones-----	59

## **Objetivo general**

Caracterizar y modelar experimentalmente resistencias variables a través de un sistema de adquisición de datos automático, usando el microcontrolador MBOARD9S12GC y el software LabVIEW.

## **Objetivo específico de la tesis**

- Desarrollar el prototipo integrado por un motor a pasos bipolar y su interfaz de potencia, la instrumentación para adquirir el comportamiento del potenciómetro y la conversión de analógico-digital a través del microcontrolador MBOARD9S12GC.
- Implementación de un sensor de temperatura.
- Implementar el software para realizar el procesamiento y el análisis gráfico de los datos que son enviados desde el microcontrolador a través el puerto serie.
- Evaluar la linealidad y precisión de los resistores variables.

## **Justificación de la tesis**

El potenciómetro es el transductor eléctrico más común, por tanto tiene muchas aplicaciones. La realización de este trabajo se debe a la necesidad de conocer el comportamiento real de los potenciómetros, sometidos a diferentes temperaturas. Una gran diversidad de sensores resistivos y las resistencias variables están sujetas a condiciones atmosféricas que pueden o no repercutir en el buen desempeño de una aplicación en instrumentación y/o control de procesos. La resistividad de los materiales de los que generalmente están hechos llegan a ser sensibles a temperaturas elevadas que aún pueden ser temperaturas de trabajo, por otro lado el comportamiento puede no ser lineal e inclusive no modelado mediante una sola ecuación. Esta problemática resulta ser la inquietud para desarrollar el presente trabajo y con base en la experimentación conocer estos criterios y evaluar en cada caso los beneficios y deficiencias para cierto tipo de aplicaciones.

### **Hipótesis**

HI: Un potenciómetro lineal puede ser modelado matemáticamente mediante :

- a) La ecuación de una recta.
- b) Una función compuesta a trazos.

Dependiendo de la calidad de los materiales y su construcción.

## CAPÍTULO I

### INTRODUCCIÓN

#### 1.1 Antecedentes

Se denomina resistencia eléctrica, a la oposición que encuentra la corriente eléctrica durante su recorrido. Su valor viene dado en ohm, se designa con la letra griega omega ( $\Omega$ ), y se mide con el Óhmetro [21].

Las resistencias son componentes eléctricos pasivos en los que la tensión instantánea aplicada es proporcional a la intensidad de corriente que circula por ellos.

Existen tres tipos de resistencias eléctricas:

- Resistencias lineales fijas: su valor de resistencia es constante y está predeterminado por el fabricante.
- Resistencias variables: su valor de resistencia puede variar dentro de unos límites.
- Resistencias no lineales: su valor de resistencia varía de forma no lineal dependiendo de distintas magnitudes físicas (temperatura, luminosidad, etc.).

En 1827 W. Ohm presentó su ley, G. Little patentó la resistencia variable con un metal aislado de alambre, 1871. En 1907 H. P. MacLagan le fue concedida la patente para un reóstato rotacional. Arnold O. Beckman patentó el primer potenciómetro de precisión comercial de 10 vueltas en 1945 [21].

Los sensores están basados en la variación de la resistencia eléctrica de un dispositivo, esto es porque muchas cantidades físicas están afectadas por la resistencia eléctrica de un material, así los sensores resistivos son usados para resolver problemas de medida. Los diferentes sensores resistivos son clasificados por cantidades físicas como mecánicas, térmicas, magnéticas, ópticas y variables químicas [21].

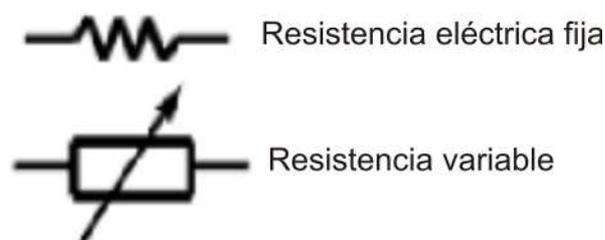


Figura 1.1 Símbolo de resistencias y representación física.

## 1.2 Resistencia de un conductor

El conductor es el encargado de unir eléctricamente cada uno de los componentes de un circuito. Dado que tiene resistencia óhmica, puede ser considerado como otro componente más con características similares a las de la resistencia eléctrica.

De este modo, la resistencia de un conductor eléctrico es la medida de la oposición que presenta al movimiento de los electrones en su seno, o sea la oposición que presenta al paso de la corriente eléctrica. Generalmente su valor es muy pequeño y por ello se suele despreciar, esto es, se considera que su resistencia es nula (conductor ideal), pero habrá casos particulares en los que se deberá tener en cuenta su resistencia (conductor real).

La resistencia de un conductor depende de la longitud del mismo ( $l$ ), de su sección ( $S$ ), del tipo de material y de la temperatura. Si consideramos la temperatura constante (20 °C), la resistencia viene dada por la siguiente expresión [19]:

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad \text{Ecuación 1.1}$$

$\rho$  es la resistividad (una característica propia de cada material).

La variación de la temperatura produce una variación en la resistencia. En la mayoría de los metales aumenta su resistencia al aumentar la temperatura, por el contrario, en otros elementos, como el carbono o el germanio la resistencia disminuye.

Como ya se comentó, en algunos materiales la resistencia llega a desaparecer cuando la temperatura baja lo suficiente. En este caso se habla de superconductores[19].

Experimentalmente se comprueba que para temperaturas no muy elevadas, la resistencia a un determinado valor de  $t$  ( $R_t$ ), viene dada por la expresión:

$$R_t = R_o \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T) \quad \text{Ecuación 1.2}$$

Donde:

- $R_o$  = Resistencia de referencia a 20°C.
- $\alpha$  = Coeficiente Olveriano de temperatura.
- $\Delta T$  = Diferencia de temperatura respecto a los 20°C ( $t-20$ ).

---

---

Podemos encontrar materiales conductores (no presentan ninguna oposición al paso de la corriente eléctrica), aislantes (no permiten el flujo de corriente), y resistivos (que presentan cierta resistencia). Dentro de este último grupo se sitúan las resistencias.

### **1.3 Caracterización y modelado matemático de resistores variables lineales**

Todos los potenciómetros electrónicos convierten una magnitud física (mecánica) de entrada en una magnitud física (eléctrica o electrónica) de salida, por lo cual es posible implementar una ecuación que sea capaz de interpretar de manera más detallada el comportamiento del resistor.

Los potenciómetros tienen comportamientos matemáticos que generan curvas de trabajo desde la linealidad hasta ecuaciones cuadráticas de 2do grado dependiendo del potenciómetro, para lo cual es muy importante conocer los diferentes métodos matemáticos.

El modelado matemático que implementaremos en este trabajo de tesis será la "*Regresión Lineal por Mínimos Cuadrados*", un método matemático-estadístico el cual nos dará una ecuación de trabajo del sensor al introducirle las variables de entrada y de salida en una cantidad de muestras determinadas previamente para su evaluación; el método de la regresión es sumamente práctico y otorga un resultado rápido y eficaz sobre el comportamiento del sensor en cuestión, además de limitar el error todo lo posible.

Por lo tanto, la caracterización y modelado de los potenciómetros estará en base a la siguiente metodología:

1. Conocer que señales de entrada y salida que nos va a otorgar el potenciómetro.
2. Saber si el potenciómetro tiene un comportamiento lineal o cuadrático.
3. Caracterizar el sensor con la *Regresión Lineal* si se sabe que el potenciómetro posee un comportamiento lineal, desconociendo si el sensor ya ha sido caracterizado o se posee información del sensor por medio de una hoja de datos técnicos.
4. En caso de poseer la hoja de datos técnicos, se podrá comprobar directamente el comportamiento del sensor sin realizar el punto anterior; cabe aclarar que la caracterización y modelado matemático ayudara a entender mejor el desempeño del potenciómetro, pudiendo servir esta para comprobar la calidad y construcción de los sensores con respecto a los datos otorgador por el fabricante en la hoja de datos técnicos.
5. Se obtendrá la ecuación que describirá el comportamiento del potenciómetro por medio de sus variables de entrada (x) y salida (y).

6. Ya que se tiene la ecuación, procederemos a aplicarla para obtener y cuantificar los datos obtenidos por el potenciómetro en tiempo real y así evaluar el error con el cual el potenciómetro se está desempeñando, los datos obtenidos en tiempo real tiene que coincidir o aproximarse a los datos obtenidos previamente por el potenciómetro al momento de evaluar su comportamiento.

La caracterización y modelado de los potenciómetros sirve para obtener una idea práctica sobre el comportamiento del potenciómetro.

#### **1.4 Implementación de sistemas electrónicos de adquisición de datos**

El monitoreo de datos es posible gracias a los "*Sistemas Electrónicos de Adquisición de Datos*" dichos sistemas tienen diferentes formas de cuantificar la información medida y de otorgar al usuario o controlador una idea exacta sobre el sensor en tiempo real, la operabilidad de los sistemas de adquisición de datos varía con respecto a los sistemas que se quieren cuantificar, medir o monitorear, para ello cada sistema sensorial posee un único sistema electrónico que interpreta los datos sensoriales para generar la información que es útil y comprensible; el usuario no va a entender lo que el sensor electrónico le da como voltaje, corriente o resistencia, y para ello el sistema de adquisición los interpreta y convierte a datos totalmente cuantificables y entendibles.

Hay diferentes sistemas electrónicos de adquisición de datos, algunas empresas se dedican a la fabricación, venta e implementación de algunos modelos específicos, pero en este trabajo de tesis, implementaremos un sistema electrónico de adquisición de datos automático, analizaremos el comportamiento de un potenciómetro en particular y se desarrollará el sistema a partir del microcontrolador MBOARD9S12GC de Motorola y el software LabVIEW.

Los datos obtenidos de los potenciómetros servirán para conocer el comportamiento real.

#### **1.5 Contribución de la tesis**

Las contribuciones de esta tesis corresponden a resultados comprobados experimentalmente e implementaciones prácticas.

Las contribuciones principales son:

1. La realización de un sistema que me permite de forma automática caracterizar y modelar potenciómetros.
2. Obtención de la linealidad en diferentes condiciones de trabajo.
- 3 La implementación de un sensor de temperatura el cual nos permite saber hasta que punto puede operar un resistor variable

### **1.6 Organización de la tesis**

En el capítulo dos se hace una introducción acerca de las resistencias variables, los materiales utilizados para su fabricación, pero se hace una principal descripción acerca de los potenciómetros y sus diferentes tipos así como también sus principales características su linealidad, resolución y su aplicación.

En el capítulo tres se realiza una descripción detallada de todos los elementos físicos utilizados para la elaboración de este prototipo, los diagramas de los circuitos electrónicos, la estación de trabajo.

En el capítulo cuatro se muestran todos los potenciómetros que fueron elegidos al azar para someterse a las diferentes cambios de temperaturas, además tiene la finalidad de mostrar cual es la caracterización y modelado experimental de estos resistores ya que en este apartado exponen los resultados de manera gráfica y a través de una breve explicación donde se desmenuza los resultados numéricos de cada una de las pruebas.

En el capítulo cinco se dan a conocer las conclusiones del trabajo así como también las aportaciones.

En la parte final se muestran los apéndices, en el cual se encuentran contenidos los programas y el modelo matemático.

---

---

## CAPÍTULO II

### RESISTENCIAS VARIABLES: CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES TÉCNICAS.

#### 2.1 Introducción

Las resistencias variables son transductores muy simples y de costo moderado. Permiten obtener una señal de medida de nivel importante lo que evita la utilización de acondicionadores sofisticados. Sin embargo los rozamientos internos son fuente de ruido eléctrico y desgaste que provocan la degradación de sus características, lo que fija un número máximo de maniobras. Además su funcionamiento puede verse afectado por las condiciones ambientales.

Se trata de una resistencia y un cursor que se desplaza sobre ella. Se alimenta la resistencia con un voltaje regulado y del cursor a tierra obtenemos un voltaje proporcional al desplazamiento producido.

Su principal aplicación es como transductores de desplazamientos lineales o angulares relativos. Sin embargo, también se han usado como sensores o transductores de masa sísmica, o incluso como transductores de presión.

Pueden utilizarse potenciómetros comerciales, lo cual supone un gran ahorro de precio y especialmente, una importante reducción en el plazo de suministro. Esto, unido a la simplicidad de la instrumentación que acompaña a este tipo de sensores es otra de sus importantes ventajas.

#### 2.2 Resistencias Variables

Estas resistencias pueden variar su valor óhmico dentro de unos límites. Para ello se les ha añadido un tercer terminal unido a un contacto móvil que puede desplazarse sobre el elemento resistivo proporcionando variaciones en el valor de la resistencia. Este tercer terminal puede tener un desplazamiento angular (giratorio) o longitudinal (deslizante) [21].

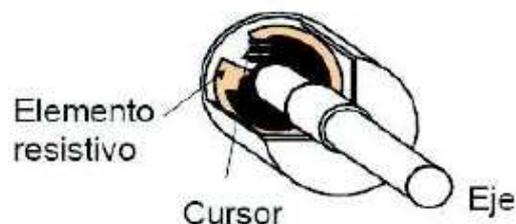


Figura 2.1: Resistencia variable (potenciómetro).

---

---

Los materiales usados para la fabricación de estas resistencias suelen ser los mismos que los utilizados para las resistencias fijas, es decir, mezclas de carbón y grafito, metales y aleaciones metálicas. La diferencia fundamental, a parte de las aplicaciones, está en los aspectos constructivos. [4] Tomando este criterio podemos hacer la siguiente clasificación:

- **De capa:** carbón, metálica y cermet.
- **Bobinadas:** pequeña disipación, potencia y precisión.

### 2.2.1 Resistencias variables de capa

- **Capa de carbón**

Están constituidas por carbón coloidal (negro de humo), mezclado en proporciones adecuadas con baquelita y plastificantes [4]. Bajo estas características podemos encontrarnos con:

Potenciómetros de carbón:

- Valores de resistencias entre 50 y 10 M $\Omega$ .
- Tolerancias del +/- 10% y +/- 20%.
- Potencias de hasta 2W.
- Formatos de desplazamiento giratorio y longitudinal, con encapsulado simple, doble resistencia o con interruptor incorporado.

Trimmers de carbón:

- Valores usuales entre 100 y 2 M $\Omega$ .
- Potencia de 0.25W.
- Pequeñas dimensiones y bajo costo.

- **Capa metálica**

Las capas de estos tipos de resistencias están formadas a base de mezclas de óxidos de estaño y antimonio depositadas sobre un soporte de vidrio generalmente. El cursor, como en las de capa integran el grupo de carbón, suele ser de aleaciones de cobre y oro o plata, tomando los terminales de salida en contactos metalizados practicados sobre la capa, para ajustes desde el exterior, por lo que de los potenciómetros. [4] Como características importantes:

- Bajas tolerancias: +/- 5%, +/- 2%, +/- 1%.
- Potencias desde 0.25W a 4W.
- Muy bajo ruido de fondo.
- Buena linealidad: 0.05%.

- **Capa tipo cermet**

La capa está constituida por mezcla aglomerada de materiales vítreos y metales nobles, depositada sobre un sustrato de cerámica. Las principales aplicaciones son para ajustes por lo que concluimos que pertenecen al grupo de los trimmers [4].

Sus características principales:

- Valores desde 10 a 2 M $\Omega$ .
- Potencias entre 0.5 y 2W.
- Elevada precisión en modelos multivuelta.
- Muy buena linealidad y resolución.

### 2.2.2 Resistencias variables bobinadas

- **De pequeña disipación**

La constitución de este tipo de resistencias es muy parecida a la de las resistencias bobinadas fijas. Suelen usar los mismos materiales, aleaciones Ni-Cu para pequeños valores de resistencia, y Ni-Cr para valores altos. Su principal aplicación es la limitación de corriente en circuitos serie, por lo que se pueden denominar reóstatos, aunque la potencia que pueden aguantar no es muy elevada, por lo que también los encontraremos en aplicaciones como potenciómetros [4]. Sus principales características:

- Valores desde 50 hasta 50 K $\Omega$ .
- Tolerancias entre +/-10% y +/-5%.
- Potencia nominal entre 0,5 y 8W.
- Ruido de fondo despreciable.

- **Bobinadas de potencia**

Se pueden comparar a los modelos vitrificados de alta precisión de las resistencias fijas. Este tipo de resistencias son las que realmente se denominan reóstatos, capaces de disipar elevadas potencias aplicadas como limitadores de corriente [4]. Entre sus características podemos destacar:

- Valores desde 1 a 2.5 K $\Omega$  para potencias de hasta 50W, hasta 5 K $\Omega$  para 100W, y hasta 10 K $\Omega$  para 250W.
- Tolerancias del +/-10%, y +/-5%.

- **Bobinadas de precisión**

En este tipo se usan aleaciones metálicas de pequeña resistividad (Au-Ag) en lugar de aumentar el diámetro del hilo y así conseguir pequeños valores con reducidas dimensiones.

Por sus aplicaciones, a este tipo se les suele denominar trimmers bobinados. Sus características principales:

- Valores resistivos de 5 a 100 K $\Omega$ .
- Tolerancias del +/-5% y +/-1%.
- Disipación de potencia de 0.75 a 1,5W.
- Linealidad comprendida entre +/-1% y +/-0.15%.
- Resolución del orden de 0.001.
- Modelos multivuelta y simples.

### 2.3 Potenciómetros

Se denomina potenciómetro a un instrumento de medición de potencia. El potenciómetro original es un tipo de puente de circuito para medir voltajes. La palabra se deriva de "voltaje potencial" y "potencial" era usado para referirse a "fuerza" [19].

Los potenciómetros abarcan un elemento resistivo, un eje, una actuación o el manejador de la barra, cojinetes y la cubierta. El elemento resistivo no es un solo alambre. Si el alambre fuera muy delgado, esto debería ser imposible de obtener un alto valor de resistencia comparado como conectar alambre.

Una configuración común es un alambre alrededor de un forma aisladas algunos de los materiales eléctrico son: níquel, ion y cromo, níquel-cobre, y preciosas aleaciones de metal pero entonces la inductancia es alta y la resolución es baja. Las ventajas son una baja temperatura y un alto grado de poder. Los potenciómetros están basados en una película de carbón, algunas veces mezclado con plástico, depositado sobre una forma y una perilla de una aleación noble de metal, produciendo una alta resolución y una larga vida a un costo moderado. Pero ellos tienen un alto coeficiente de temperatura[23].

El elemento resistivo esta basado en partículas de metales fusionados en una base de cerámica y depositados por técnicas de una película densa. Los potenciómetros híbridos usan una herida del alambre revestido por un plástico revestido.

En los potenciómetros según el desplazamiento mecánico que intervenga se pueden dividir en tres tipos:

- 1. Circulares:** Esta formado por una pista o canal circular sobre la que se desplaza un contacto deslizante giratorio [4].
- 2. Rectilíneos:** Esta formado por una pista o canal recto sobre el cual en contacto deslizante de desplaza linealmente[4].

**3. Helicoidales:** Esta formado por una pista enrollada, la cual tiene el contacto deslizante en un punto determinado del helicoide[4].

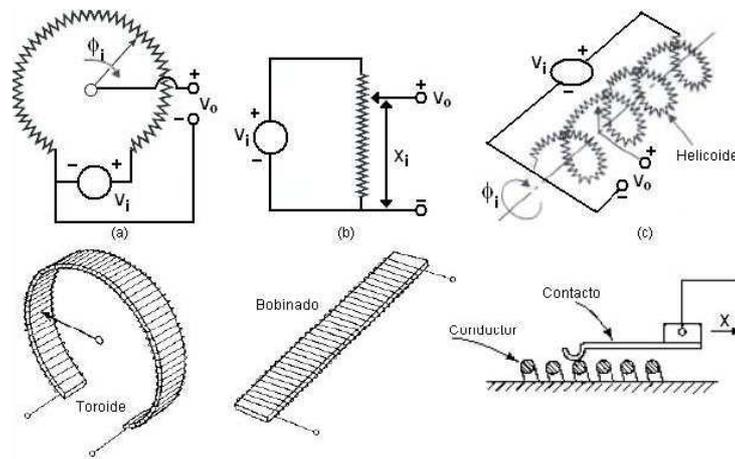


Figura 2.2 Clasificación de potenciómetros según el desplazamiento del cursor.

**2.3.1 Potenciómetros Giratorios**

El potenciómetro giratorio es el mas común de todos los elementos electrónicos, en general esta formado por una pista o canal circular, ya sea de película o bobinado; sobre la que rota un contacto deslizante giratorio unido fielmente a una flecha o eje con el cual se pueda hacer girar el contacto deslizante [6].



Figura 2.3 Potenciómetro giratorio y circuito característico del potenciómetro.

Con un voltaje de entrada constante  $V_s$  entre las terminales 1 y 3, el voltaje de salida  $V_o$  entre las terminales 2 y 3 es una fracción del voltaje de entrada, la fracción que depende de la

relación de resistencia entre las terminales 2 y 3 comparada con la resistencia total entre las terminales 1 y 3, es decir:  $V_o/V_s$ . Si la resistencia de la pista por unidad de longitud (por ángulo unitario) es constante, entonces la salida es proporcional al ángulo a lo largo del cual gira el deslizador.

En este caso un desplazamiento angular se puede convertir en una diferencia de potencial.

Este tipo de potenciómetros son utilizados en sistemas de control donde se busca una automatización sencilla, para regular mediante voltaje o corriente una determinada posición angular que no requieran de una exactitud determinada a un desplazamiento para el sistema en el que se aplique. Este tipo de potenciómetros puede tener un comportamiento lineal o logarítmico dependiendo de su designación.

### 2.3.2 Potenciómetros multivoltas

Para un ajuste fino y más exacto de la resistencia existen potenciómetros multivuelta, en los que el cursor va unido a un tornillo axial desmultiplicador o sinfín, de modo que para completar el recorrido necesita varias vueltas del eje de mando; generalmente tienen un límite determinado de 10 a 25 vueltas dependiendo de la marca.

Los potenciómetros de precisión de una única vuelta tienen elementos resistivos planares (circulares), mientras que los potenciómetros de precisión multivuelta disponen de elementos helicoidales. En la figura 2.4 presentamos una vista en corte de un potenciómetro multivuelta, donde el cursor gira y atraviesa de forma axial la longitud de la caja, al tiempo que sigue el elemento resistivo helicoidal [6].

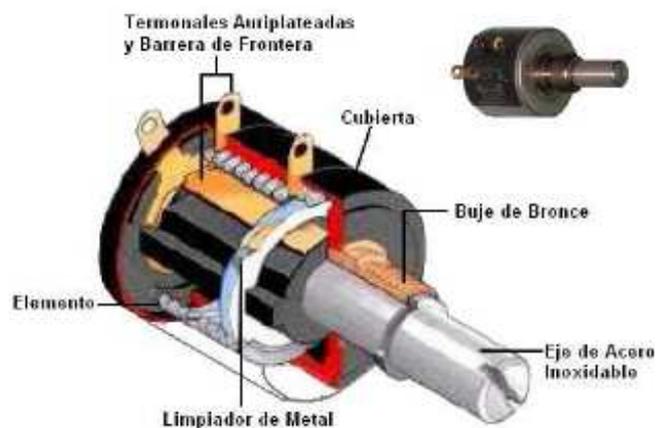


Figura 2.4: Símbolo y esquema del potenciómetro Multivoltas.

La mayoría de los potenciómetros multivuelta se manejan mediante tornillos diales como en los micrómetros o tornillos de Palmer para permitir la repetitividad de las selecciones. Sus

elementos resistivos se encuentran bobinados o son hélices híbridas; o sea bobinados resistivos que a su vez son enrollados para hacer un helicoide. También los hay como elementos

híbridos que se encuentran arrollados como hélices cubiertas de un plástico conductor en lugar de un bobinado. De 10 hasta 25 vueltas pueden ser necesarias para que el cursor recorra toda la longitud del elemento. En la actualidad, los elementos resistivos de un potenciómetro de precisión suelen estar fabricados con plástico conductor, o con cermet, en lugar de ser un bobinado [6].

### 2.3.3 Potenciómetros lineales

Los potenciómetros lineales son transductores de distancia y posición con contacto y rozamiento. La medida se obtiene mediante el deslizamiento de unas escobillas montadas sobre un pistón y que se mueve sobre una pista plástica resistiva o bobina, que en función del punto donde se encuentre, dará un valor proporcional en resistencia. En la Figura 2.5 se puede ver un ejemplo de un potenciómetro lineal miniatura.



Figura 2.5 Potenciómetro lineal miniatura.

El montaje es muy sencillo, ya que incorpora todo lo necesario para realizarlo de una forma fácil. Dispone de diferentes opciones mecánicas, como son las rotulas, puntas palpadoras, muelle, etc., todo ello pensado para cubrir las diferentes aplicaciones de montaje posibles. Tienen un rango desde 25mm hasta 950mm, con una linealidad desde 0.2% hasta 0.75 %, su salida resistiva es de 1kW, 5kW o 10kW aunque esto es dependiendo de los modelos[23].

Este tipo de potenciómetros son utilizados en medida de distancia y posicionado de maquinaria para diferentes industrias, como la madera, cerámica, mármol, etc., en las que no existen grandes distancias y se busca una automatización sencilla.

### 2.3.4 Potenciómetros logarítmicos

Son un tipo especial de potenciómetros que comúnmente se encuentran dentro de sistemas de control de volumen de consolas y mezcladoras de audio.

Un potenciómetro logarítmico tiene una equivalencia asimétrica con respecto al recorrido, formando una curva que suele tener forma exponencial o logarítmica. Esto es así a causa de la "Ley Estimulo-Reacción de Fechner", en la que se demostró que el oído humano no tiene una respuesta lineal a las variaciones de volumen, sino que responde al logaritmo de la amplitud.

Por lo regular están contruidos con una placa de baquelita que contiene una capa de carbón sobre la que se desliza un cursor de metal produciendo diferentes valores de resistencia hasta un valor limite indicado por el valor comercial del potenciómetro [27].

Los potenciómetros y los reóstatos se diferencian entre si, entre otras cosas, por la forma en que se conectan. En el caso de los potenciómetros, estos se conectan en paralelo al circuito y se comporta como un divisor de tensión. Ver la figura 2.6.

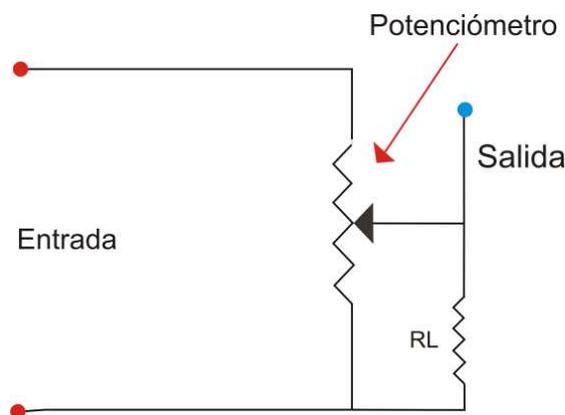


Figura 2.6: Diagrama del potenciómetro.

Se aplican en circuitos donde la variación de resistencia la efectúa el usuario desde el exterior. El Potenciómetro es el transductor eléctrico más común. Los potenciómetros pueden ser usados solos o pueden conectarse a un sensor mecánico para convertir un movimiento mecánico en una variación eléctrica.

Un potenciómetro consiste en un elemento resistivo, circular que abarca un ángulo de unos 300° y un contacto móvil que puede posicionarse en cualquier lugar a lo largo del

elemento(cursor). La posición del cursor se ajusta entonces girando el eje al que está sujeto el cursor. Símbolo circular, que sugiere la apariencia física del potenciómetro.

## 2.4 Características principales

### 2.4.1 Linealidad

Un transductor se dice lineal cuando existe proporcionalidad entre el parámetro medido y la señal eléctrica proporcionada por el transductor. Error de linealidad es la diferencia entre la tensión eléctrica obtenida y la que correspondería a la sensibilidad nominal del transductor.

La mayoría de los potenciómetros son lineales. El término lineal significa que un movimiento mecánico dado del cursor produce un cambio dado en la resistencia, sin importar la posición del cursor en la extensión del elemento. El grado preciso de la linealidad en los potenciómetros es importante para algunas aplicaciones.

En la figura 2.7 se muestra una gráfica de resistencia contra ángulo del eje para un potenciómetro perfectamente lineal. Puede pensarse en la resistencia graficada en el eje vertical como la resistencia entre la terminal del cursor y uno de sus terminales. El ángulo del eje trazado en el eje horizontal es el ángulo a través del que se ha girado el eje, siendo  $0^\circ$  la posición en la que el cursor está en contacto directo con la terminal. Como se puede ver, un potenciómetro perfectamente lineal presenta una cantidad dada de cambio de resistencia para un número dado de grados de rotación del eje, sin importar dónde se encuentre el eje. Esto es, un movimiento del eje de  $0^\circ$  a  $60^\circ$  produce un cambio de resistencia de exactamente 20% de la resistencia total. De la misma manera, un movimiento del eje de  $180^\circ$  a  $240^\circ$ , una rotación de  $60^\circ$ , produce un cambio de resistencia del 60% al 80% de la resistencia total, también un cambio exacto de 20% [22].

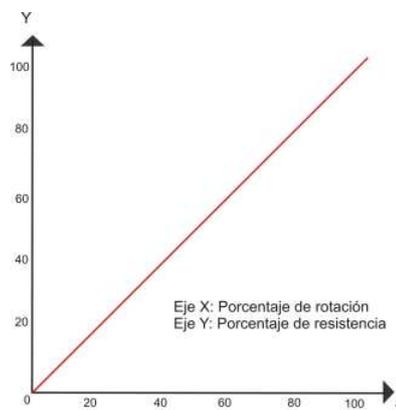


Figura 2.7: Gráfica de potenciómetro perfectamente lineal.

Es imposible fabricar potenciómetros con linealidad perfecta la verdadera situación se muestra en la figura 2.8 en donde la resistencia se desvía de línea recta ideal. El punto de peor desviación de la línea recta ideal determina el porcentaje de linealidad del potenciómetro.

En su peor punto, la resistencia real se desvía de la línea recta ideal en 10%. Esto significa que la resistencia real difiere de la resistencia esperada por una cantidad que es el 10% de la resistencia total. La linealidad de este potenciómetro, por tanto, es de 10%.

Cuando un fabricante especifica una linealidad de 10% para un potenciómetro, se garantiza que la resistencia se desviará de la resistencia de línea recta en no más de 10% de la resistencia total.

Algunos potenciómetros utilizados como transductores tienen linealidades de menos de 1%, y a veces tan bajas como 0.1%, la resistencia real se desviará de la resistencia de línea recta esperada en no más de  $0.5\Omega$  [22].

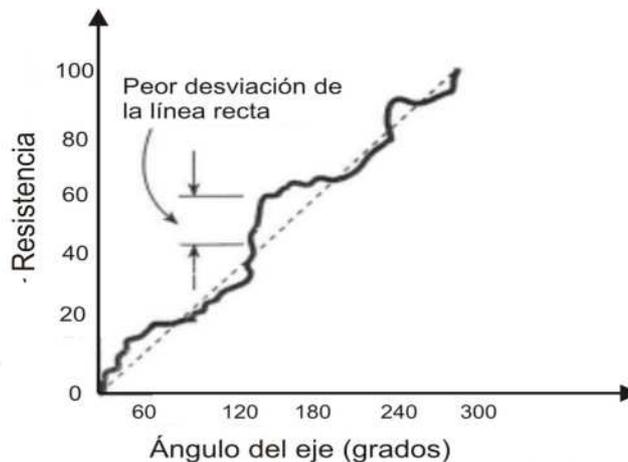


Figura 2.8 Resistencia real desviándose de la línea recta ideal.

#### 2.4.2 Ley de variación logarítmica

Las curvas de comportamiento por desplazamiento de los potenciómetros cumplen con una propiedad de los potenciómetros que se conoce como ley de variación o taper en inglés; y que es la característica que particulariza la variación de la resistencia respecto al desplazamiento del cursor [27].

##### ➤ Variación logarítmica

La relación entre la posición del cursor y la resistencia obtenida es logarítmica, de forma que la posición del cursor es proporcional al logaritmo de la resistencia. Este tipo de potenciómetros son de utilidad cuando actúan sobre la frecuencia o la amplitud de una señal

acústica, ya que el oído humano percibe ambas magnitudes de forma logarítmica y eso hace que la acción sobre el potenciómetro nos parezca lineal [27].

Para que percibamos un sonido como "el doble de fuerte" que otro, ha de tener diez veces más volumen. Para ello necesitamos controles de volumen que actúen de manera similar y en los que la variación de amplitud sea muy pequeña al principio y muy grande al final. En este caso, necesitamos una variación positiva más comúnmente conocida como potenciómetro logarítmico o de audio. Figura 2.9(a).

➤ **Variación antilogarítmica**

También llamado Logarítmico Negativa o Exponencial, nos ayuda a conseguir el efecto contrario a la logarítmica, son sumamente raros encontrarlos [19]. Figura 2.9 (b).

➤ **Variación log-antilog:**

Presenta comportamiento logarítmico en una mitad del recorrido del cursor y Antilogarítmico en la otra mitad, resultando coincidir en su valor medio con uno de comportamiento lineal. Figura 2.9(c).

Para poder comprobar cuando un potenciómetro es lineal o logarítmico lo mejor es comprobarlo con el multímetro. Si al 50% del recorrido da el 50% del valor podemos estar razonablemente seguros de que es lineal. Si no, lo más normal es que sean logarítmicos o de audio [19].

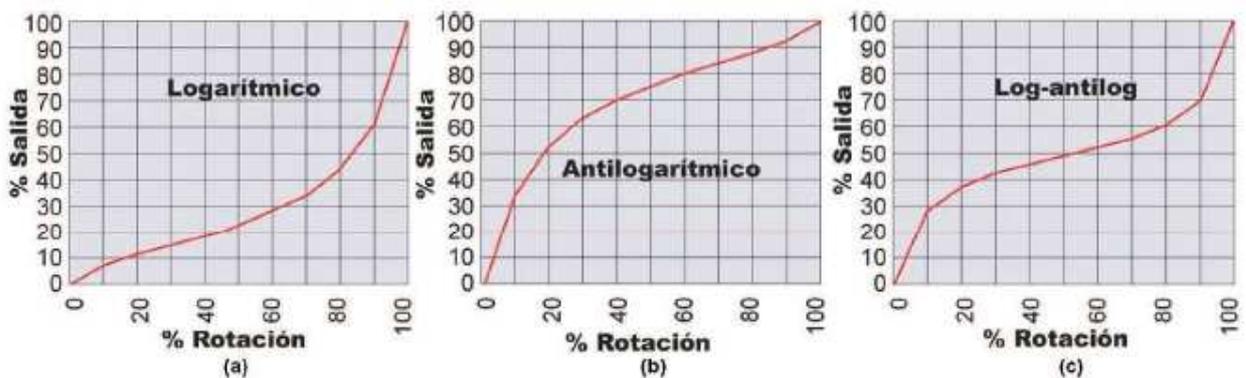


Figura 2.9 Curva de variación logarítmica.

### 2.4.3 Resolución

Es el menor cambio del fenómeno físico a medir que produce una señal detectable. Puede quedar definida por el propio transductor, o por el resto de la cadena de medidas. Ruido eléctrico, características constructivas, en un potenciómetro la separación entre espiras define la resolución del transductor [22]

Muchos potenciómetros son de la variedad bobinado. En un potenciómetro bobinado, una pieza de alambre delgado está enrollada muchas veces alrededor de un núcleo aislante. El cursor entonces se mueve de una vuelta de alambre a la siguiente, a medida que se ajusta el potenciómetro.

El resultado es que la resistencia del cursor no varía de manera perfectamente lineal, si no que varía a pasos. Este fenómeno se muestra, en la figura 2.9.

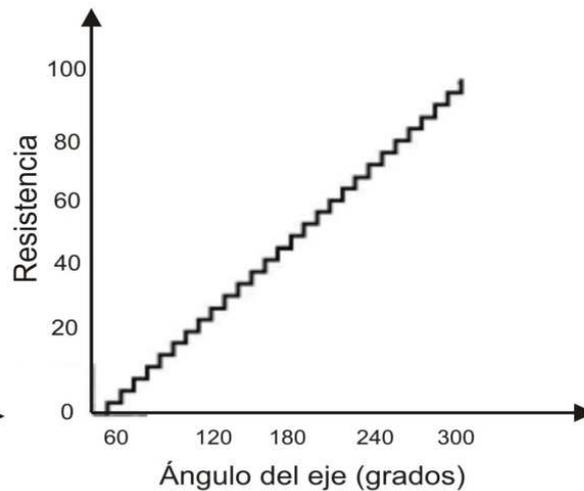


Figura 2.10: Variación por pasos, o no continua, de la resistencia.

El punto importante es que hay un límite al cambio mínimo de resistencia posible que es igual a la resistencia de una vuelta del alambre.

Ejemplo: Un potenciómetro bobinado de  $500\Omega$  que tenga 200 vueltas tendrá una resistencia por vuelta de  $500\Omega/200 = 2.5\Omega$ . El ajuste mínimo posible del potenciómetro moverá el cursor de una vuelta a la vuelta siguiente, por lo que el cambio mínimo de resistencia posible será de  $2.5\Omega$ . Este cambio mínimo posible de la resistencia determina la resolución del potenciómetro [22].

Se considera resolución de un potenciómetro como la variación de la resistencia mínima posible, expresada como un porcentaje de resistencia total. Para el potenciómetro descrito anteriormente, la resolución será de  $2.5\Omega/500\Omega = 0.5\%$  [22]

Como regla general, los potenciómetros que tiene una buena resolución inherente tienen una mala linealidad y viceversa. Bueno también existen potenciómetros que tengan tanto una buena resolución como una buena linealidad pero son más caros, hasta 20 veces más que un convencional.

### 2.4.4 Vida útil de los potenciómetros

El desgaste de las zonas más utilizadas produce una pérdida de linealidad, y aumenta la resistencia de contacto en los potenciómetros de pista conductora, y con ella el ruido. La vida es menor cuanto mayor es la intensidad en el cursor y mayor es la temperatura de funcionamiento.

### 2.5 Montaje de un potenciómetro

Cuando se instala un potenciómetro en un circuito con un voltaje aplicado entre sus terminales finales. La rotación del eje causa entonces una variación de voltaje entre las terminales, en lugar de una sola variación de resistencia entre las terminales. Si la posición del eje representa el valor de una variable medida, el potenciómetro establece una correspondencia entre la variable medida y  $V_{\text{salida}}$ .

Otra conexión común de los potenciómetros se muestra en la figura 2.11. Los resistores  $R_1$  y  $R_2$  son iguales, y el aparato de medición está dispuesto para que el cursor del potenciómetro esté centrado exactamente para un valor neutro o de referencia de la variable medida. Este es un circuito en puente si el puente es excitado por una fuente de voltaje  $V_{\text{entrada}}$  la magnitud de  $V_{\text{salida}}$  corresponde a la cantidad a la que difiere la variable medida de su valor de referencia en la polaridad de  $V_{\text{salida}}$  corresponde a la dirección de la diferencia, mayor o menor que el valor de referencia. Si el puente es excitado por una fuente de ca, la magnitud de  $V_{\text{salida}}$  corresponde a la cantidad de desviación del valor de referencia y la fase de  $V_{\text{salida}}$  corresponde a la dirección de la desviación. Si el valor medido es mayor que el valor de referencia, el cursor del potenciómetro se mueve hacia arriba. Entonces  $V_{\text{salida}}$  estará en fase con la fuente de ca. Si el valor medido es menor que el valor de referencia, el cursor del potenciómetro se mueve hacia abajo en la figura 11, y  $V_{\text{salida}}$  estará  $180^\circ$  fuera de fase con la fuente de ca [27].

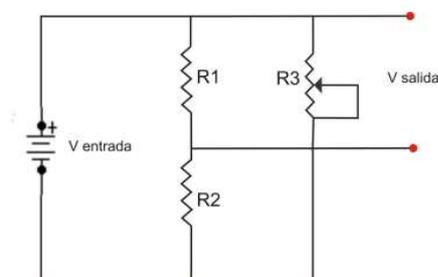


Figura 2.11: Circuito puente, con el potenciómetro a un lado del puente.

Otro arreglo común de un potenciómetro en un circuito puente se muestra en la figura 2.12. Recuerde que el concepto básico de los circuitos puente es que el puente estará balanceado cuando a la razón de resistencias a la izquierda sea igual a la razón de resistencias a la derecha.

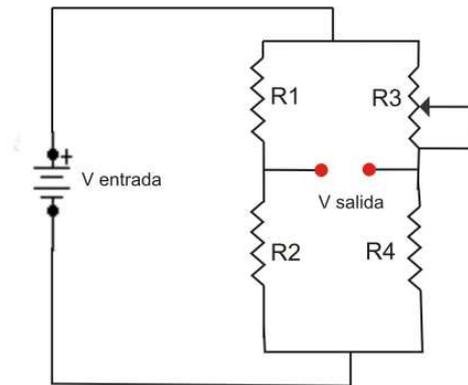


Figura 2.12: Circuito puente con el potenciómetro en una rama del puente.

Un puente de este tipo puede usarse en cualquiera de estas maneras:

- La variable medida puede usarse para posicionar el eje del potenciómetro, y en tal caso el voltaje de salida  $V_{salida}$  del puente representa el valor de la variable medida.
- La variable medida puede usarse para hacer que uno de los resistores, digamos  $R_4$ , varíe.  $R_4$  puede ser un potenciómetro, o puede ser un resistor que varíe en respuesta a un estímulo, como temperatura.  $R_3$  entonces se ajusta de manera manual o automática hasta que  $V_{salida}$  sea igual a cero, significando que el puente está balanceando. La posición del eje del potenciómetro  $R_3$  representa entonces el valor de la variable. El eje puede conectarse a algún dispositivo indicador para leer el valor de la variable medida [27].

## 2.6 Trimpots o resistencias ajustables

Se diferencian de las anteriores en que su ajuste es definitivo en el circuito donde van aplicadas. Su acceso está limitado al personal técnico (controles de ganancia, polarización, etc.) [6].

### 2.6.1 Reóstatos:

Son resistencias variables en las que uno de sus terminales extremos está eléctricamente anulado. Tanto en un potenciómetro como un trimmer, al dejar unos de sus terminales

extremos al aire, su comportamiento será el de un reóstato, aunque estos están diseñados para soportar grandes corrientes [6].

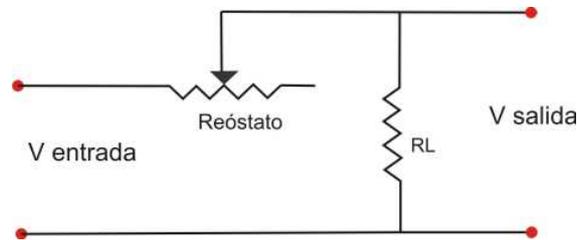


Figura 2.13: Conexión de un reóstato.

Las resistencias también se pueden dividir tomando en cuenta otras características:

- Si son bobinadas.
- Si no son bobinadas.
- de débil disipación..
- de fuerte disipación.
- de precisión.

Normalmente los potenciómetros se utilizan en circuitos con poca corriente, pues no disipan casi potencia, en cambio los reóstatos son de mayor tamaño, por ellos circula más corriente y disipan mas potencia.

### 2.7 Características técnicas del potenciómetro

Estas son las especificaciones técnicas más importantes que podemos encontrar en las hojas de características que nos suministra el fabricante [4]:

- Recorrido mecánico: es el desplazamiento que limitan los puntos de parada del cursor (puntos extremos).
- Recorrido eléctrico: es la parte del desplazamiento que proporcionan cambios en el valor de la resistencia.
- Resistencia nominal ( $R_n$ ): valor esperado de resistencia variable entre los límites del recorrido eléctrico.
- Resistencia residual de fin de pista ( $r_f$ ): resistencia comprendida entre el límite superior del recorrido eléctrico del cursor y el contacto.
- Resistencia residual de principio de pista ( $r_a$ ): valor de resistencia comprendida entre límite inferior del recorrido eléctrico y el contacto.

- Resistencia total ( $R_t$ ): resistencia entre los terminales fijos.
- Resistencia de contacto ( $r_c$ ): resistencia que presenta el cursor entre su terminal de conexión externo y el punto de contacto interno.
- Temperatura nominal de funcionamiento ( $T_n$ ): es la temperatura ambiente a la que se define la potencia nominal.
- Temperatura máxima de funcionamiento ( $T_{max}$ ): es la máxima temperatura ambiente en la que el dispositivo puede trabajar sin deteriorarse. La disipación de una resistencia disminuye a medida que aumenta la temperatura ambiente en la que está trabajando.
- Potencia nominal ( $P_n$ ): es la potencia que la resistencia puede disipar sin deteriorarse a la temperatura nominal de funcionamiento.
- Tensión máxima de funcionamiento ( $V_{max}$ ): es la máxima tensión continua o alterna eficaz que el dispositivo no puede sobrepasar de forma continua a la temperatura nominal de funcionamiento.
- Leyes de variación: es la característica que particulariza la variación de la resistencia respecto al desplazamiento del cursor. Las más comunes son la ley de variación lineal, y la logarítmica (positiva y negativa).

### 2.8 Aplicaciones de los Potenciómetros

- Maquina herramienta y de ensayos
- Apertura de invernaderos
- Control de compuertas y elevadores
- Ensayos dinámicos en la industria del automóvil
- Análisis modal en aeronáutica
- Medida de suspensión en ferrocarril, automoción, aeronáutica y audio de alta definición.
- Robótica

### 2.9 Conclusiones

En este capítulo se explican todas las características de las resistencias variables de donde se deduce lo siguiente:

Requieren una señal analógica para control, requieren información de posición absoluta, no sirven para ambiente húmedo o con mucho polvo.

## CAPÍTULO III

### DISEÑO E INTEGRACIÓN DEL SISTEMA

#### 3.1 Introducción

Para realizar una adquisición de datos precisa del potenciómetro, se requiere que dicho dispositivo sea girado de manera uniforme es decir que cada giro debe ser igual, para ello debemos tener una parte mecánica que se encargue de mover el cursor y también la parte de control la cual nos indique que la magnitud de cada giro sea igual y la caracterización del potenciómetro de manera automatizada.

#### 3.2 Selección del motor

En nuestros días los motores paso a paso tienen amplia gama de aplicaciones; esto es debido a que poseen una gran precisión en su recorrido y su costo es bajo. Estas fueron las razones para su elección. En el presente capítulo, en el primer apartado, se describe de manera general los principios de funcionamiento de los motores paso a paso.

##### 3.2.1 Funcionamiento de los Motores Paso a Paso

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 le aplique. Este paso puede ir desde  $90^\circ$  hasta pequeños movimientos de tan solo  $1.8^\circ$ , es decir, que se necesitarán 4 pasos en el primer caso ( $90^\circ$ ) y 200 para el segundo caso ( $1.8^\circ$ ), para completar un giro completo de  $360^\circ$ . Es por eso que este tipo de motores son muy utilizados, ya que pueden moverse a deseo del usuario según la secuencia que se les indique a través de un microcontrolador.

Estos motores poseen la habilidad de poder quedar enclavados en una posición o bien totalmente libres. Si una o más de sus bobinas están energizadas, el motor estará enclavado en la posición correspondiente y por el contrario quedará completamente libre si no circula corriente por ninguna de sus bobinas.

Básicamente estos motores están constituidos normalmente por un rotor (figura 3.1) sobre el que van aplicados distintos imanes permanentes y por un cierto número de bobinas excitadoras bobinadas en su estator.

Las bobinas son parte del estator (figura 3.2) y el rotor es un imán permanente. Toda la conmutación (o excitación de las bobinas) debe ser externamente manejada por un controlador.



Figura 3.1: Imagen del rotor.

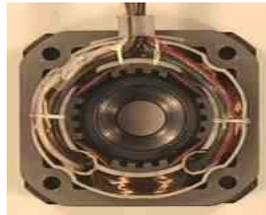


Figura 3.2: Imagen de un estator de 4 bobinas.

Existen dos tipos de motores paso a paso de imán permanente que son los más utilizados en la robótica; unipolares y bipolares. A continuación se muestra una descripción y una imagen del tipo de motor utilizado en este proyecto que es bipolar (figura 3.3), esta elección se basó únicamente en que era el motor disponible.



Figura 3.3: Motor a pasos.

### 3.2.2 Motores Bipolares

Este tipo de motores tiene generalmente cuatro cables de salida. Necesitan ciertas manipulaciones para ser controlados, debido a que requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de las bobinas en 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 cuatro cables (2 bobinas).

- **Secuencia para manejar motores paso a paso bipolares**

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

PASO	TERMINALES			
	A	B	C	D
1	+V	-V	+V	-V
2	+V	-V	-V	+V
3	-V	+V	-V	+V
4	-V	+V	+V	-V

Figura 3.4: Secuencia para manejar motores bipolares.

Como comentario final al tema de los motores a pasos cabe destacar que debido a que éstos 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 ningún movimiento en absoluto
- Puede comenzar a vibrar pero sin llegar a girar
- Puede girar erráticamente
- Puede llegar a girar en sentido opuesto

Para tener un arranque suave y preciso, es recomendable comenzar con una frecuencia de pulso baja y gradualmente ir aumentándola hasta la velocidad deseada sin superar la máxima tolerada. Si se desea cambiar el sentido de giro debería también ser realizado previamente bajando la velocidad del motor y luego cambiar el sentido de rotación.

### 3.3 Circuito L293B

Es un conductor de movimiento recíproco de gran intensidad, diseñado para proporcionar corrientes de impulsión bidireccionales de hasta 1 ampere, soportando voltajes de 4.5 Volts hasta 36 Volts.

Cada canal o driver es controlado por medio de una señal de control compatible TTL no superior a 7 Volts y los canales se habilitan de dos en dos por medio de las señales de control. Tiene además separada la alimentación lógica 5Volts de la del motor hasta 36 Volts. Posee 4 pines a tierra, lo cuales permiten disipar el calor. Por las características mencionadas, este integrado puede manejar sin problemas el motor de este proyecto.

Utilizando el integrado anterior, agregando los diodos de protección y por supuesto el motor, queda listo el hardware para el controlador de motores a pasos. El esquemático resultante se puede observar en las figuras 3.6. Es decir el motor esta listo para recibir los pulsos de nuestro microcontrolador.

Los motores paso a paso requieren del cambio de dirección del flujo de corriente a través de sus bobinas. Dicha corriente es muy elevada con respecto a lo que un microcontrolador puede soportar. Por lo que es necesario utilizar el circuito L293 que se muestra en la figura 3.5.

A continuación se muestra la descripción de este circuito integrado.

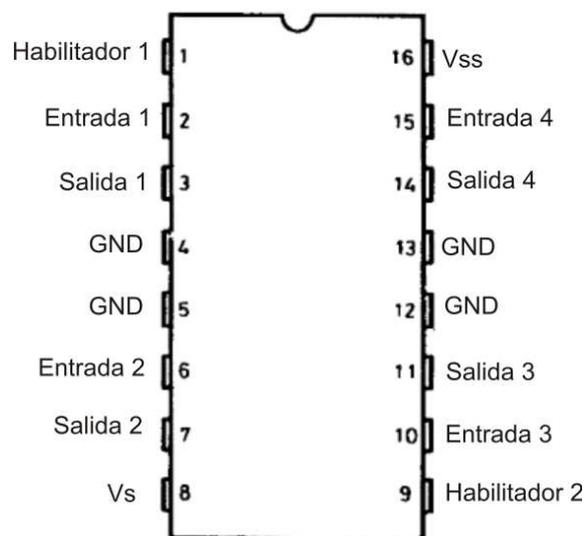


Figura 3.5: Circuito integrado L293b.

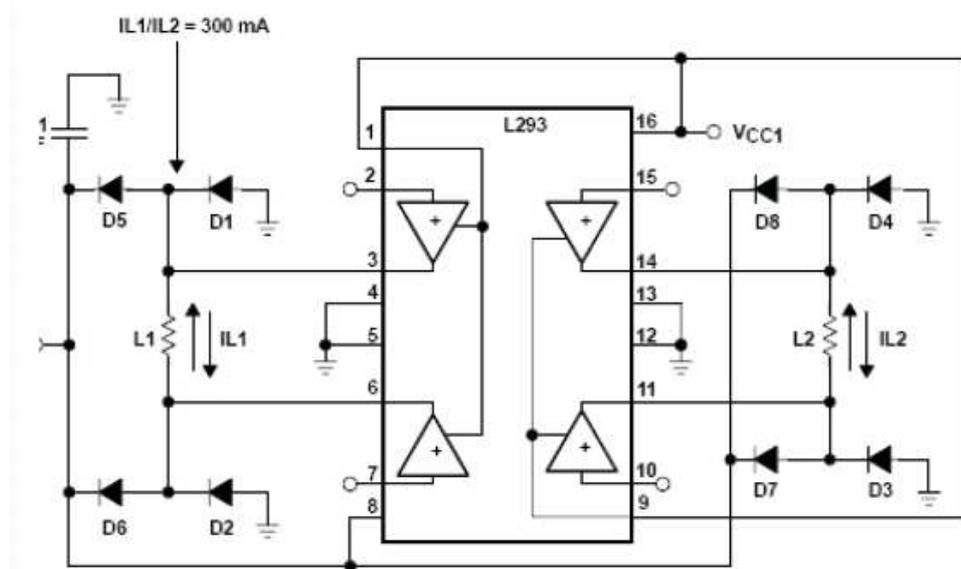


Figura 3.6: Diagrama electrónico del conductor de movimiento L293b.

### 3.4 Selección del microcontrolador

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 proyecto, el microcontrolador va a enviar una secuencia al conductor L293 para que a su vez haga circular corriente a las bobinas de motora pasos.

#### 3.4.1 Descripción de microcontrolador MBOARD9S12GC

El microcontrolador que decidimos utilizar fue el MBOARD9S12GC de 52 pines a 25 MHz se puede observar en la figura 3.7.

Las características del sistema de desarrollo se muestran a continuación:

- Basado en la familia de microcontroladores MC9S12C de FREESCALE de 52 pines.
- CPU HCS12.
- Memoria de 32K de FLASH EEPROM.
- Memoria RAM de 2 K.
- 3 puertos de Comunicación: SCI, SPI Y CAN Opcional puerto RS485.
- 8 Timers programables: captura de eventos, retardos programables, acumulador de pulsos
- PWM: 6 canales de 8 bits ó 3 canales de 16 bits
- ADC: 8 canales de convertidor analógico digital de 8 bits
- Permite cambiar la frecuencia de operación hasta 25 Mhz.

- Voltaje de alimentación: de 8 a 12 Vcd.
- Regulador interno de 2.5 V: que permite su operación con fuente externa de 2.9 a 5.5V.
- Led piloto de encendido.
- Puerto para programación RS232 con salida en pines para conector externo RS232 DB-9.
- No requiere fuente especial para programación.
- El programa monitor ocupa 2K de flash.
- Se programa con el software CodeWarrior CW12 V3.1.

#### 3.4.2 Características principales:

- Programación por puerto serie
- Voltaje de alimentación de 7-15vcd
- Modo monitor/usuario

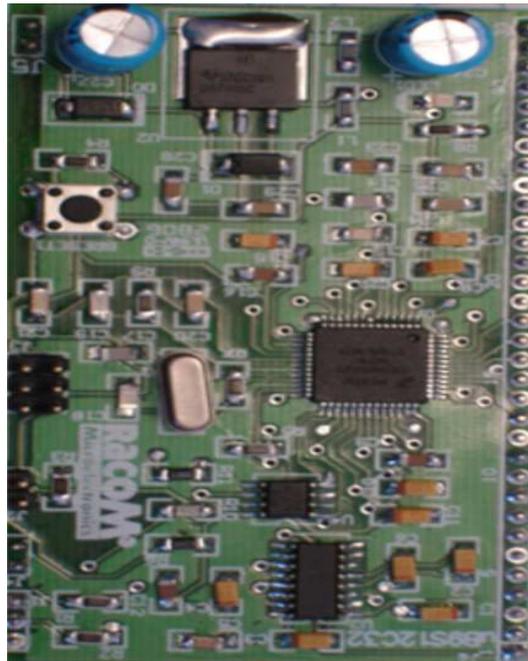


Figura 3.7: Fotografía del microcontrolador MBOARD9S12GC.

#### ➤ Familia MC9S12

- Tiempo de ciclo de instrucción de 40nsec.
- 25 millones de instrucciones \* seg.

- Modos de direccionamiento flexibles, multibyte, post-incremento o decremento, manipulación y control de lazos
- Permite la depuración en tiempo real
- Instrucciones de lógica difusa

➤ **Modos de programación**

- Codewarrior

➤ **Tecnología del MC9S12**

- Reprogramable en sitio
- No requiere de voltaje adicional para programar la memoria
- Puede operar con baterías
- Protección de bloques de memoria contra lecturas y/o escrituras no permitidas.
- Hasta 100k ciclos de escritura.
- Elimina la necesidad de memorias seriales EEPROM.

### 3.4.3 Recursos con los que cuenta el microcontrolador

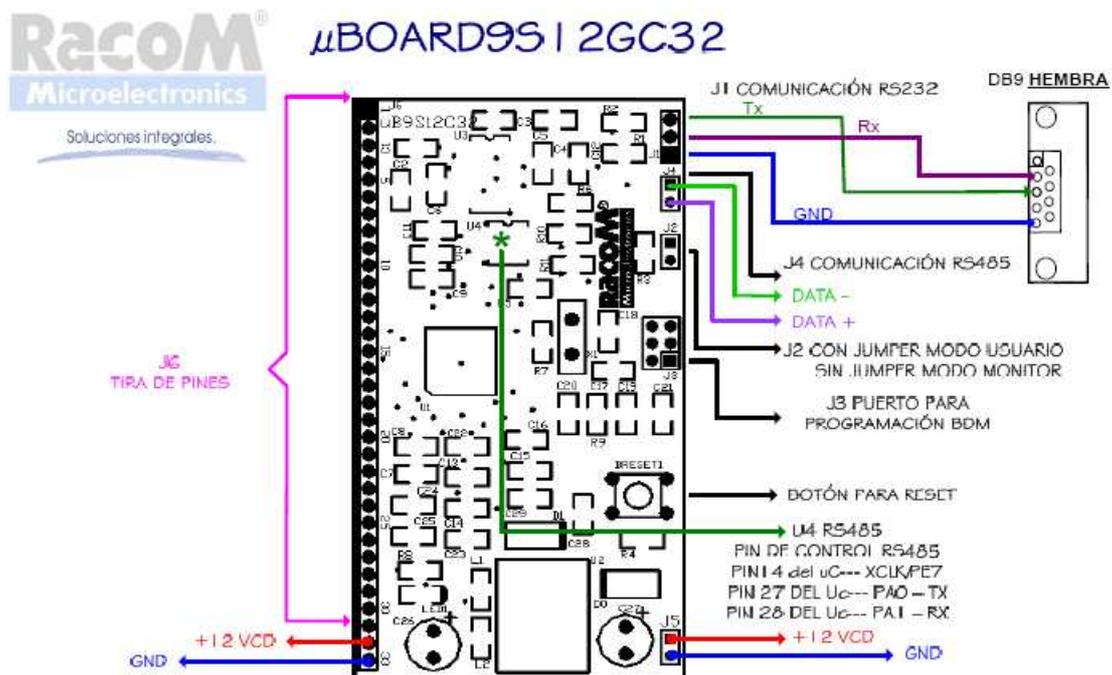


Figura 3.8: Recursos de la uBOARD.

La tira de pines del microcontrolador se puede apreciar en la figura 3.9

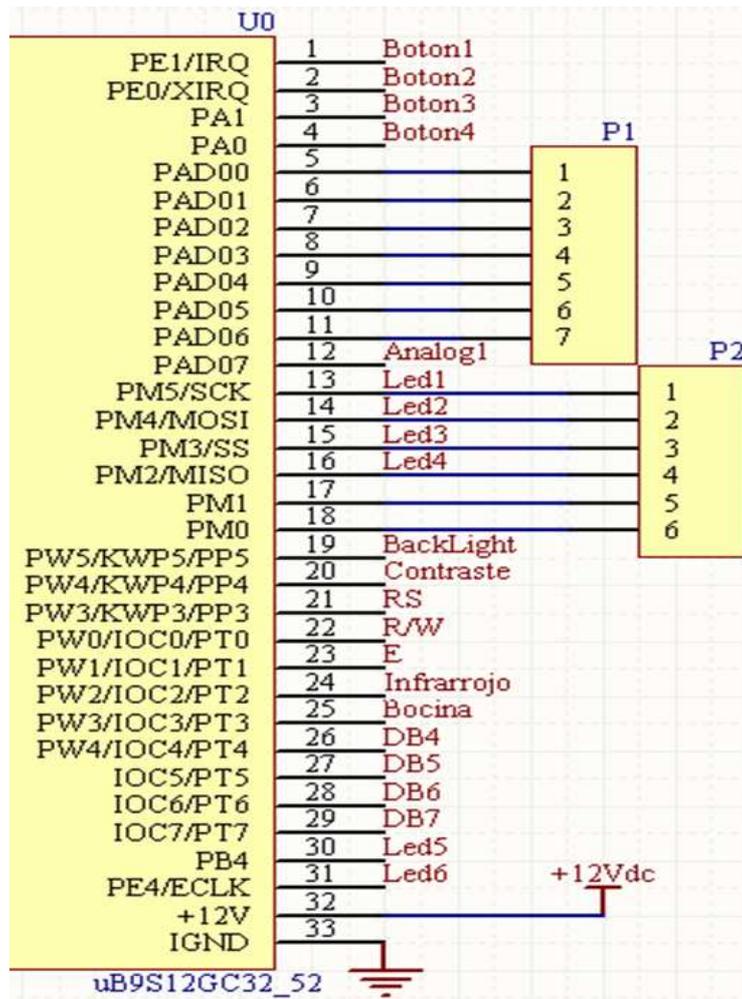


Figura3.9: Tira de la pines de la uBOARD.

### 3.4.4 Características de la tarjeta

Tarjeta LAB Proporciona los conectores clásicos de Alimentación y Comunicación.

- La tira de pines con los cuenta el microcontrolador.
- El conector del puerto de comunicación un RS232
- Conector para la alimentación.

### 3.5 Diagramas electrónicos e impresos del controlador y microcontrolador

Este esquema nos muestra el diagrama de nuestro microcontrolador y el circuito L293. Las líneas rojas y azules muestran la conexión entre el microcontrolador y el circuito L293 que energiza las bobinas del motor a pasos, para poder observar la secuencia del motor se conectaron unos leds (figura3.10).

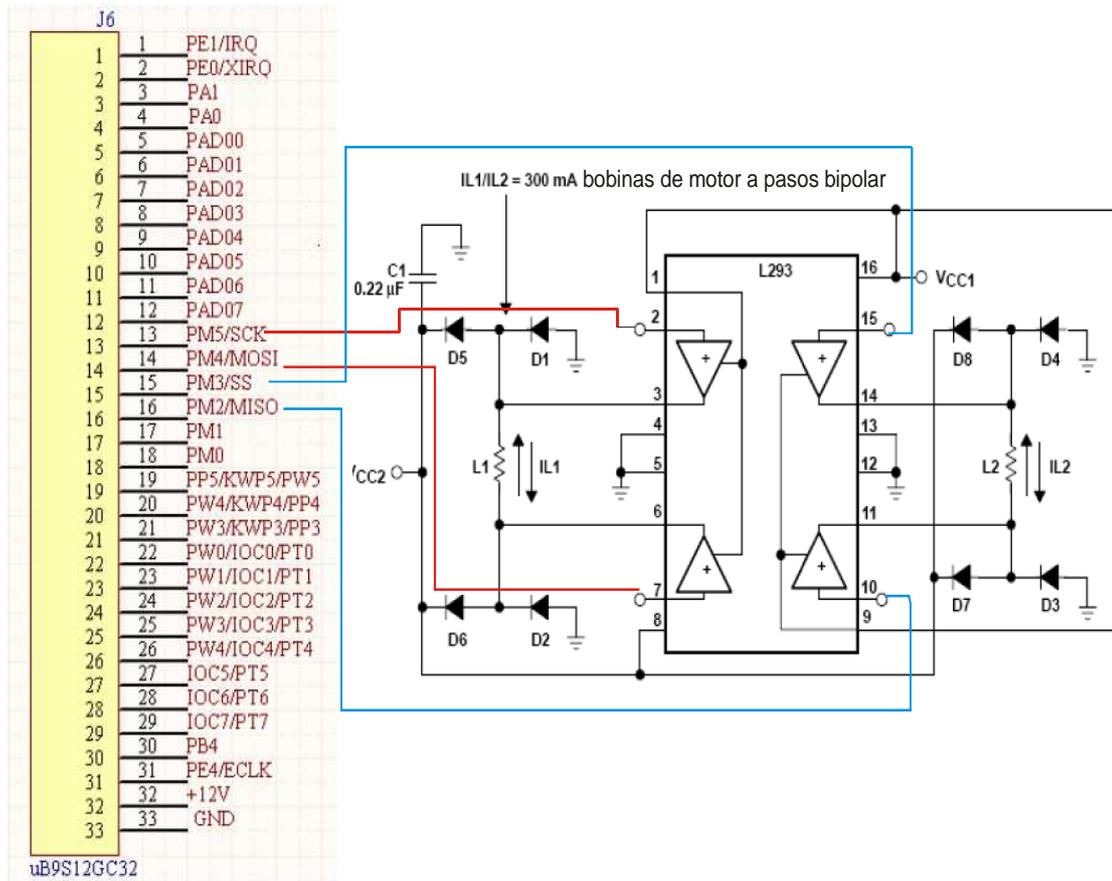


Figura 3.10: Diagrama electrónico del microcontrolador y el conductor de movimiento.

### Diseño del impreso

El diseño del circuito impreso se muestra en el programa de simulación en el cual fue elaborado la conexión entre el microcontrolador y controlador del motor, este diseño fue muy importante debido a que el microcontrolador tiene su propia tarjeta LAB la cual proporciona los conectores clásicos de alimentación y comunicación por lo tanto decidimos crear este diseño para que la conexión fuese directa y así eliminar una fuente de alimentación, ahorrar espacio, eliminar cables inclusive también se integro el conector RS232 y así lograr una mejor estética como se puede observar en la figura 3.12

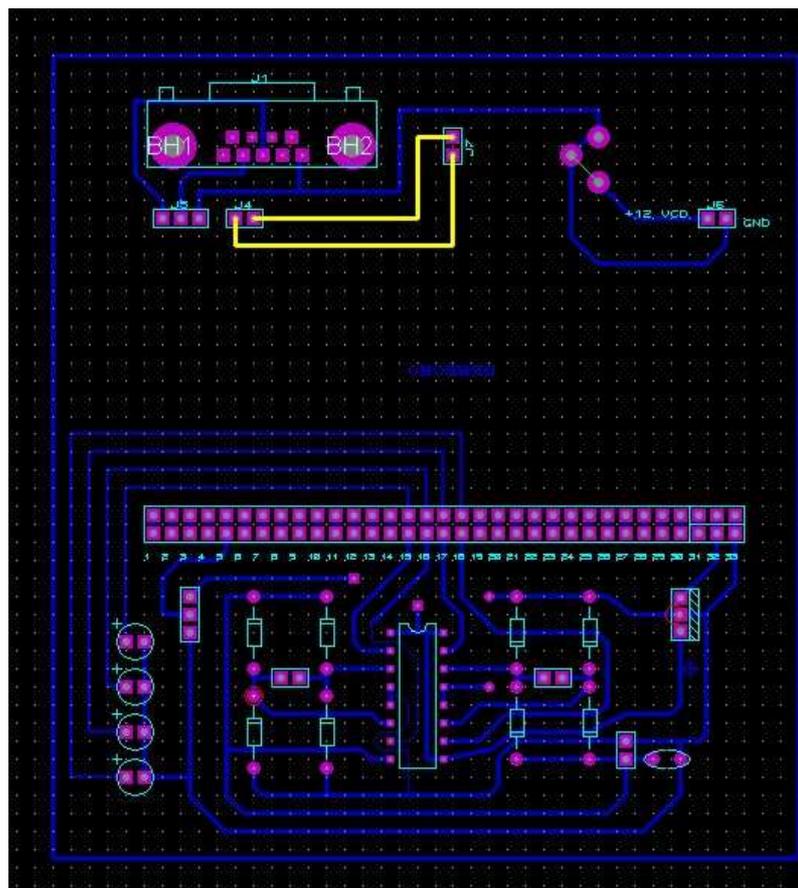


Figura 3.11: Impreso del microcontrolador y el conductor de movimiento.



Figura 3.12: Fotografía del microcontrolador y el controlador del motor.



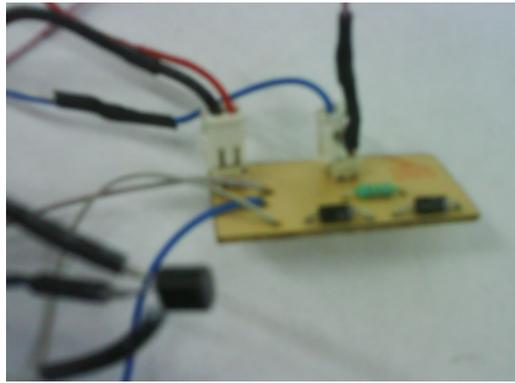


Figura 3.14: Fotografía aérea del sensor de temperatura.

### 3.7 Descripción del prototipo

En este apartado se muestra la instrumentación diseñada, el montaje físico de las partes del prototipo, así como la estación de trabajo.

La instrumentación consta de las siguientes partes:

- Sensor de temperatura
- Implementación del microcontrolador MBOARD9S12GC
- Implementación del controlador del motor L293B.

El montaje físico corresponde el montaje del motor y el potenciómetro sobre una base de metal, el acoplamiento de la flecha del motor con el eje del potenciómetro en base a poleas y una banda, y por último el montaje de todos los elementos sobre la base de acrílico.

En la siguiente se figura se muestra como se acoplo el eje del potenciómetro con la base de metal y la polea.

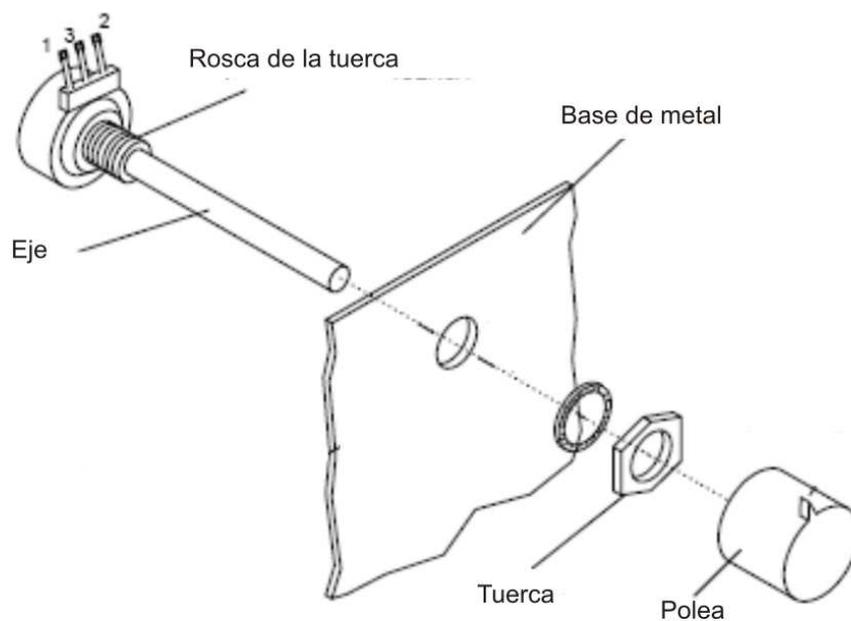


Figura 3.15: Acoplamiento del eje potenciómetro.

En la siguiente se figura se muestra como se acoplo la flecha del motor y el eje del potenciómetro en base a poleas y una banda.

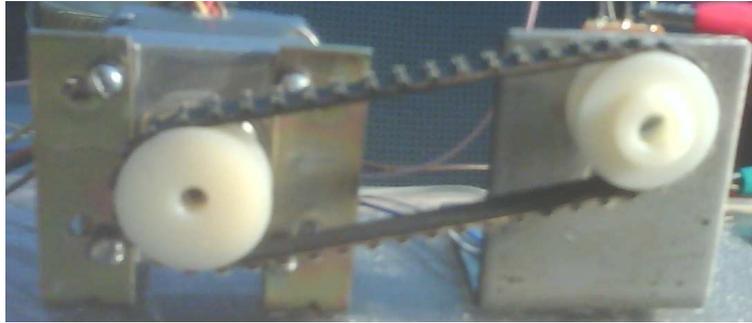


Figura 3.16: Fotografía del acoplamiento de la flecha del motor y el eje del potenciómetro.

### 3.7.1 Montaje del prototipo.

Finalmente en la figura 3.17 se muestra el prototipo terminado montado sobre una base de acrílico rectangular en la cual se fijo cada uno de los componentes del prototipo.

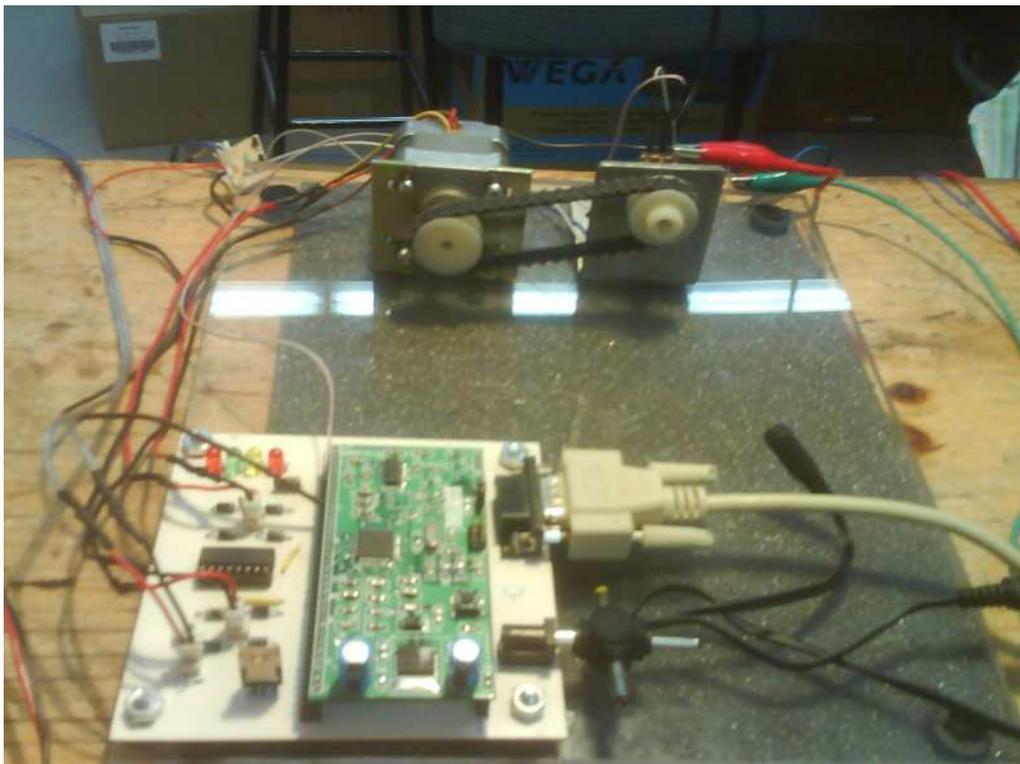


Figura 3.17: Fotografía aérea del prototipo.

### 3.8 Estación de trabajo

La estación de trabajo consta de los siguientes elementos:

- El prototipo.
- Cuatro fuentes variables.
- PC LANIX Brain Pentium 4 a 2.2 GHz, 512 MB en RAM.



Figura 3.18: Estación de trabajo.

---

---

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS EXPERIMENTALES

#### 4.1 Introducción

En este capítulo usaremos el prototipo para realizar pruebas a cuatro potenciómetros, con la finalidad de caracterizar y modelar su comportamiento. Vamos a someter a cada potenciómetro a 2 pruebas la primera a temperatura ambiente y la segunda aplicándole calor a través de un foco de 200 watts.

En este capítulo se reportan los resultados experimentales obtenidos. Se instala un potenciómetro en el circuito al cual se le aplica un voltaje entre sus terminales finales. La rotación del eje causa entonces una variación de voltaje entre las terminales. Si la posición del eje representa el valor de una variable medida, el potenciómetro establece una correspondencia entre la variable medida y  $V_{salida}$ .

El término lineal significa que un movimiento mecánico dado del cursor produce un cambio dado en la resistencia, sin importar la posición del cursor en la extensión del elemento. El grado preciso de la linealidad en los potenciómetros es importante para algunas aplicaciones y esto es lo que precisamente analizaremos en cada una de nuestras adquisiciones ya que además la temperatura será una variable externa importante de analizar.

Los algoritmos del controlador se implementaron en lenguaje de programación LabVIEW, estos se localizan en el apéndice A. La interfaz usada entre el prototipo y la PC se realiza mediante un microcontrolador MBOARD9S12GC y un sensor de temperatura y el circuito L293, la información técnica acerca de estos se encuentra en el capítulo III.

Los cuatro potenciómetros se someten a dos pruebas:

- La respuesta transitoria del potenciómetro a temperatura ambiente.
- La respuesta transitoria del potenciómetro a elevada temperatura.

#### 4.2 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 1 K $\Omega$ .

El experimento consiste en obtener la repuesta del potenciómetro que es alimentado con 5 Volts. El motor hace girar el eje del potenciómetro de manera uniforme y cada punto de la gráfica es adquirido en tiempo real. Este potenciómetro requiere que el motor se mueva 40 pasos, para que el potenciómetro realice todo su recorrido. Cada paso equivale a 7.2 grados, por lo tanto cada adquisición del potenciómetro será aproximadamente de 0.125 Volts, y la resistencia variara 25 ohms.

### 4.2.1 Experimento 1

En la figura 4.1 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 1 K $\Omega$  a 13.5°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje “Y”, por lo que se escalo a 5 volts, y eje “X” muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

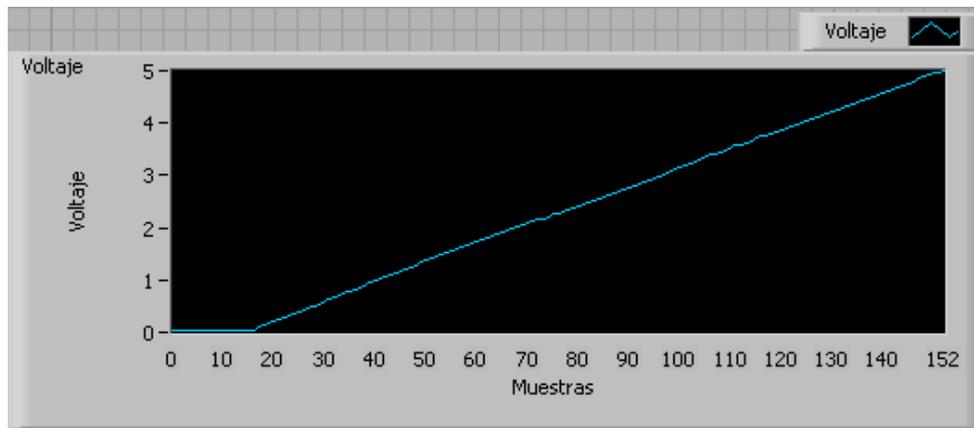


Figura 4.1: Comportamiento real de potenciómetro de 1 K $\Omega$  a 13.5°C.

En figura 4.2 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.



Figura 4.2: Temperatura del potenciómetro de 1 K $\Omega$ .

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.3 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.035 y el coeficiente  $b_0 = -0.39$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.2688
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.035x + (-0.39).$$

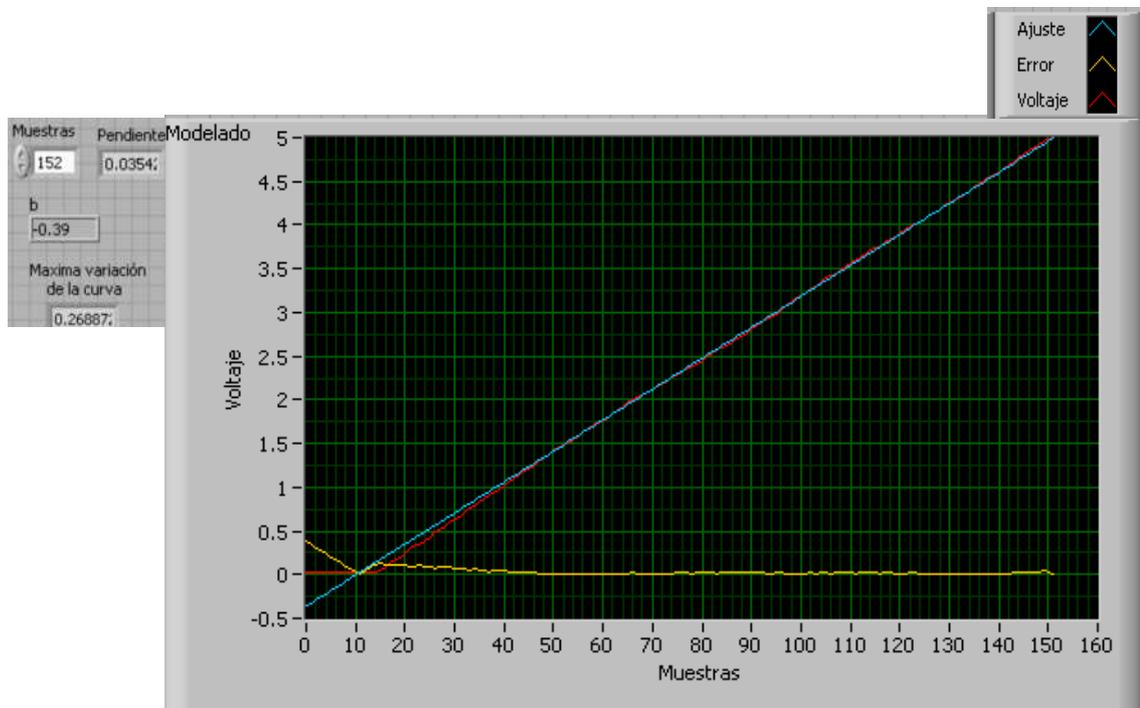


Figura 4.3: Modelado del potenciómetro de  $1K\Omega$  a  $13.5^{\circ}C$ .

En la figura 4.4 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

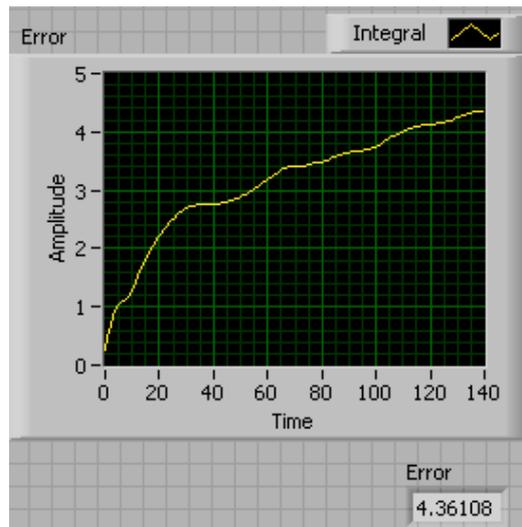


Figura 4.4: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.2.2 Experimento 2

En la figura 4.5 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 1 K $\Omega$  a 75°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

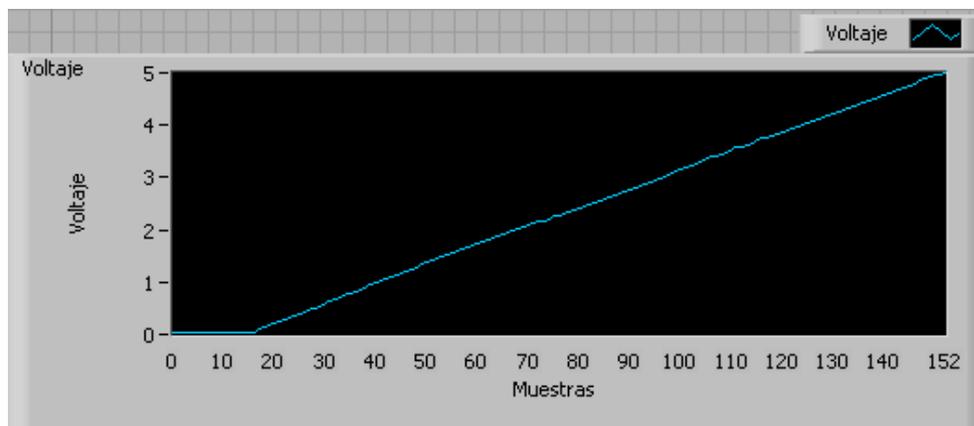


Figura 4.5: Comportamiento real de potenciómetro de 1 K $\Omega$  a 75°C.

En figura 4.6 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.

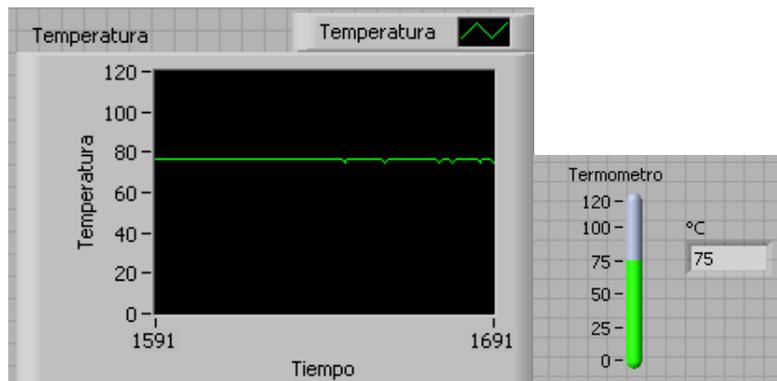


Figura 4.6: Temperatura del potenciómetro de 1 K $\Omega$ .

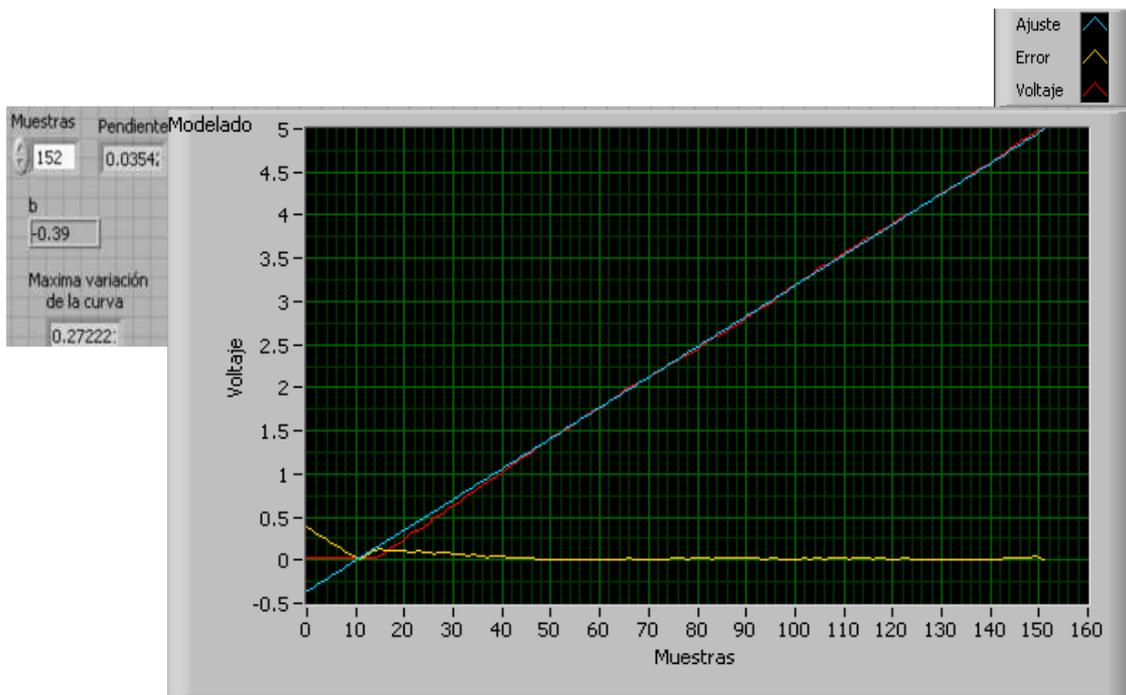
En la siguiente gráfica se observa el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.7 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.035 y el coeficiente  $b_0 = -0.39$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.27222
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.035x + (-0.39)$$

Figura 4.7: Modelado del potenciómetro de 1K $\Omega$  a 75°C.

En la figura 4.8 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

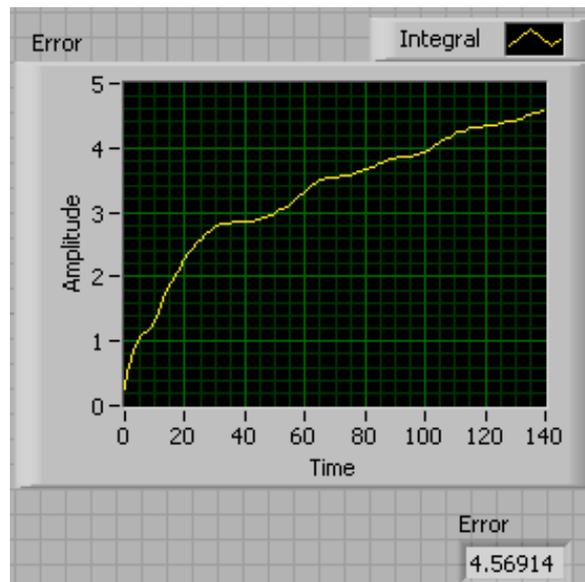


Figura 4.8: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

### 4.3 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 5 K $\Omega$ .

El experimento consiste en obtener la respuesta del potenciómetro que es alimentado con 5 Volts. El motor hace girar el eje del potenciómetro de manera uniforme y cada punto de la gráfica es adquirido en tiempo real. Este potenciómetro requiere que el motor se mueva 40 pasos, para que el potenciómetro realice todo su recorrido. Cada paso equivale a 7.2 grados, por lo tanto cada adquisición del potenciómetro será aproximadamente de 0.125 Volts, y la resistencia variara 125 ohms.

#### 4.3.1 Experimento 1

En la figura 4.9 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 5 K $\Omega$  a 13.5°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

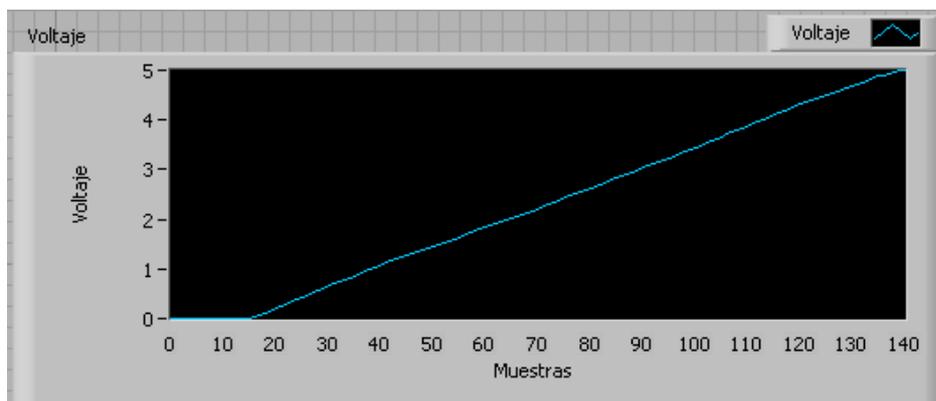


Figura 4.9: Comportamiento real de potenciómetro de 5 K $\Omega$  a 13.5°C.

En figura 4.10 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.



Figura 4.10: Temperatura del potenciómetro de 5 K $\Omega$ .

En la siguiente grafica se observa el procedimiento mas objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.11 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.039 y el coeficiente  $b_0 = -0.47$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.43314
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.039x + (-0.47).$$

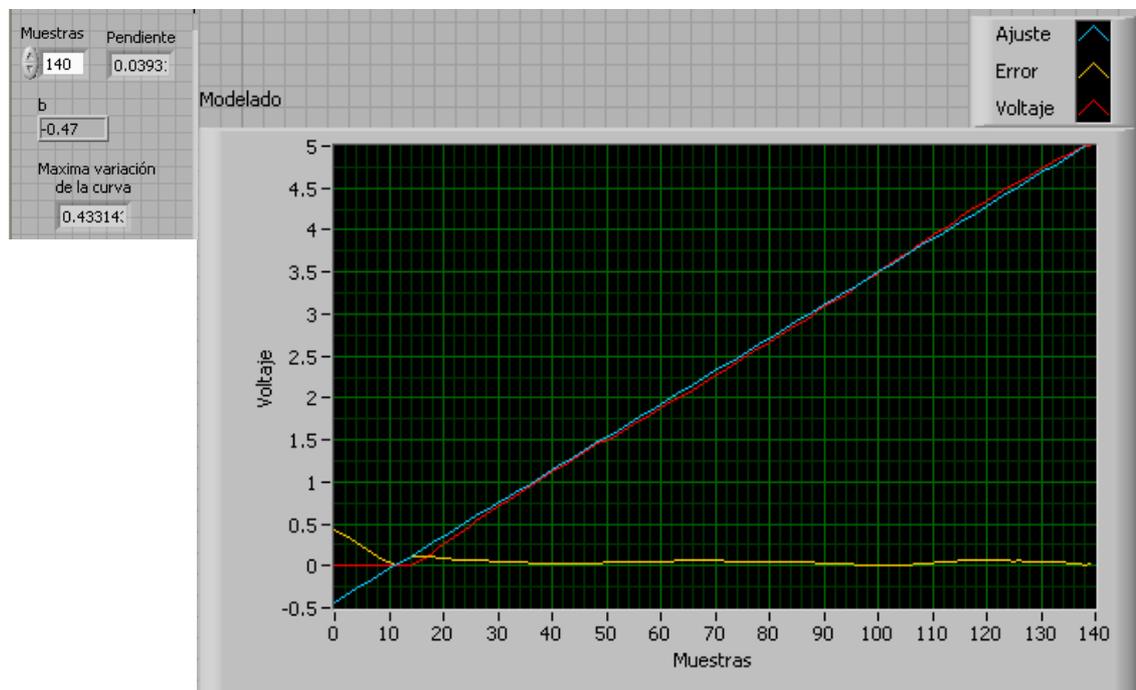


Figura 4.11: Modelado del potenciómetro de 5 KΩ a 13.5°C.

En la figura 4.12 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

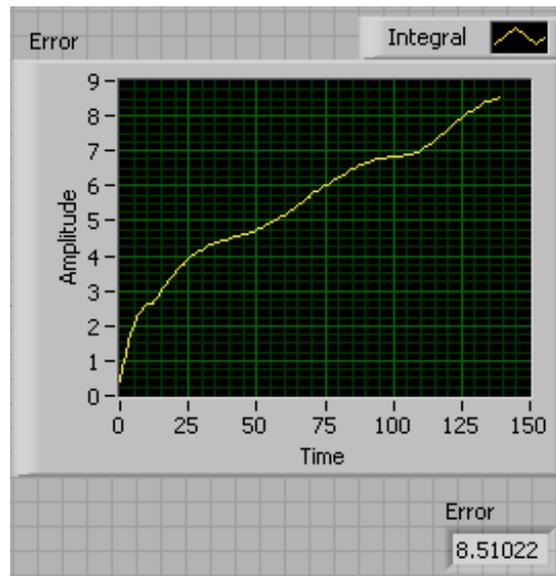


Figura 4.12: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

### 4.3.2 Experimento 2

En la figura 4.13 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 5 K $\Omega$  a 73.5°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

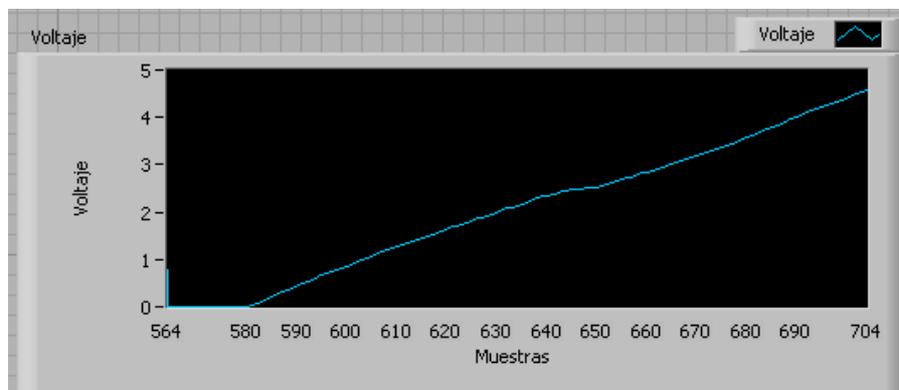


Figura 4.13: Comportamiento real de potenciómetro de 5 K $\Omega$  a 73.5°C.

En figura 4.14 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.

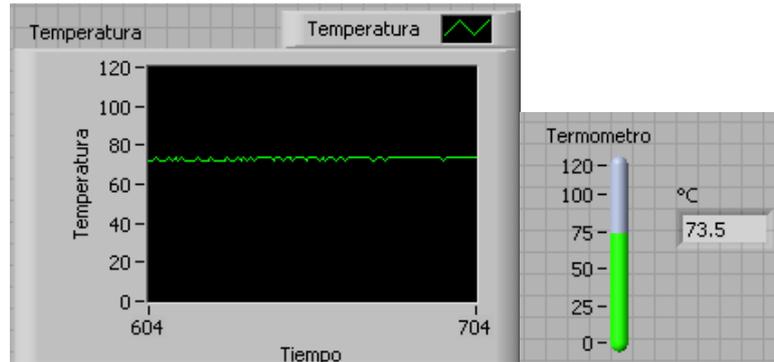


Figura 4.14: Temperatura del potenciómetro de 5 KΩ.

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.15 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.034 y el coeficiente  $b_0 = -0.35$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.3127
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.034x + (-0.35).$$

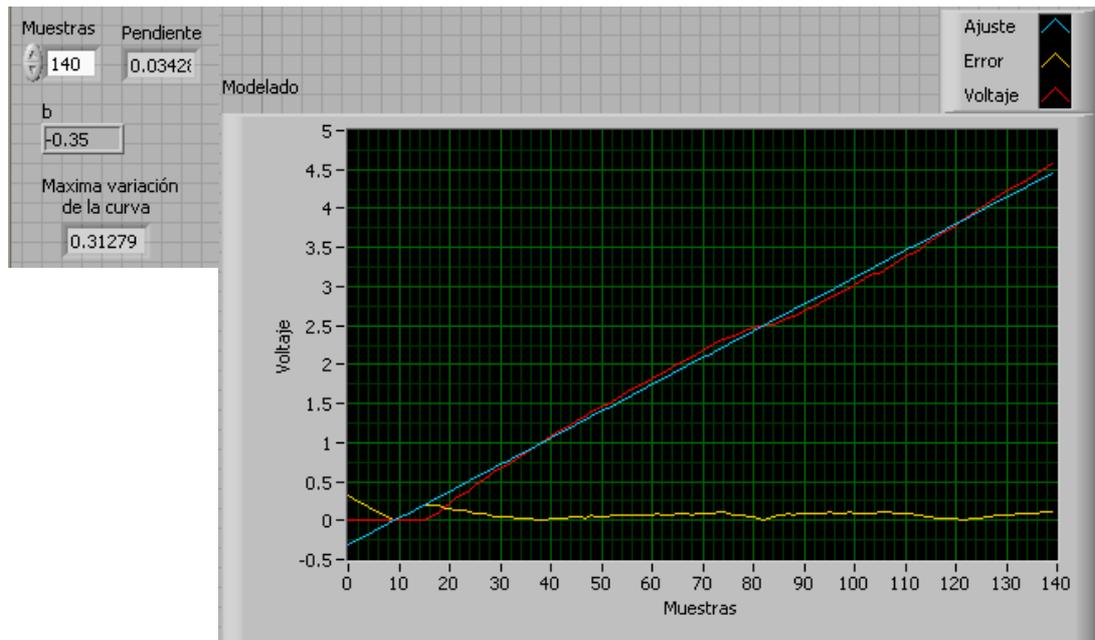


Figura 4.15: Modelado del potenciómetro de  $5K\Omega$  a  $73.5^{\circ}C$ .

En la figura 4.16 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

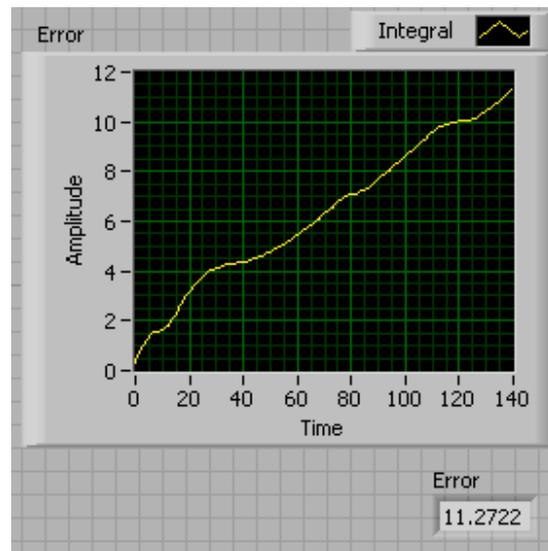


Figura 4.16: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.4 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro de 100 K $\Omega$ .

El experimento consiste en obtener la respuesta del potenciómetro que es alimentado con 5 Volts. El motor hace girar el eje del potenciómetro de manera uniforme y cada punto de la gráfica es adquirido en tiempo real. Este potenciómetro requiere que el motor se mueva 40 pasos, para que el potenciómetro realice todo su recorrido. Cada paso equivale a 7.2 grados, por lo tanto cada adquisición del potenciómetro será aproximadamente de 0.125 Volts, y la resistencia variara 2500 ohms.

##### 4.4.1 Experimento 1

En la figura 4.17 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 100 K $\Omega$  a 15°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

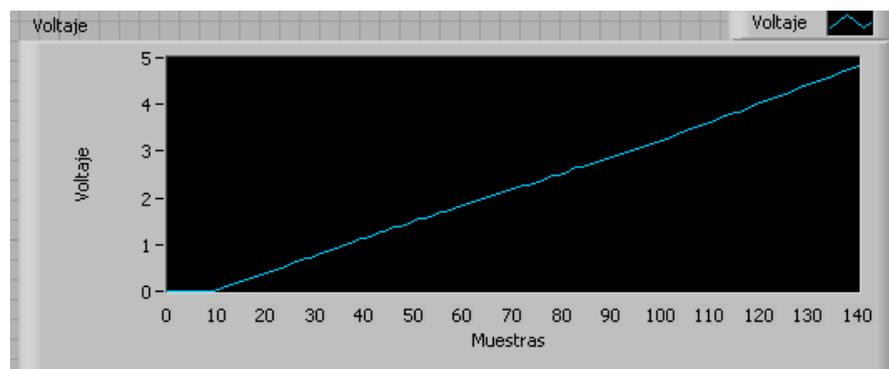


Figura 4.17: Comportamiento real de potenciómetro de 100 K $\Omega$  a 15°C.

En figura 4.18 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.



Figura 4.18: Temperatura del potenciómetro de 100 K $\Omega$ .

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento mas objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.19 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.035 y el coeficiente  $b_0 = -0.24$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.20076
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.035x + (-0.24)$$

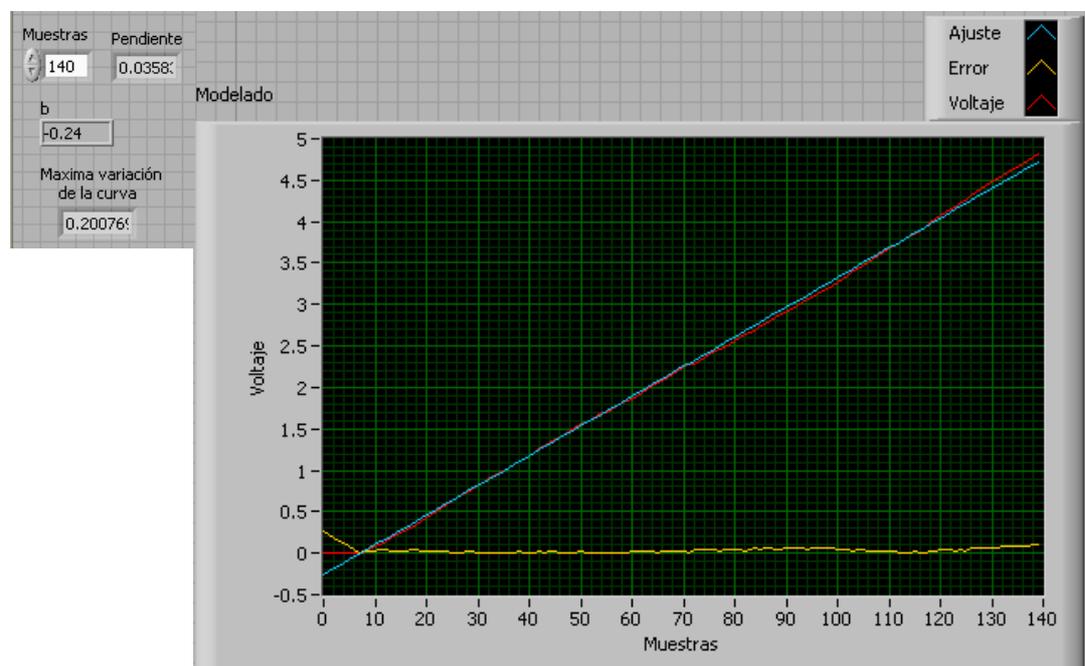


Figura 4.19: Modelado del potenciómetro de 100 KΩ a 15°C.

En la figura 4.20 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

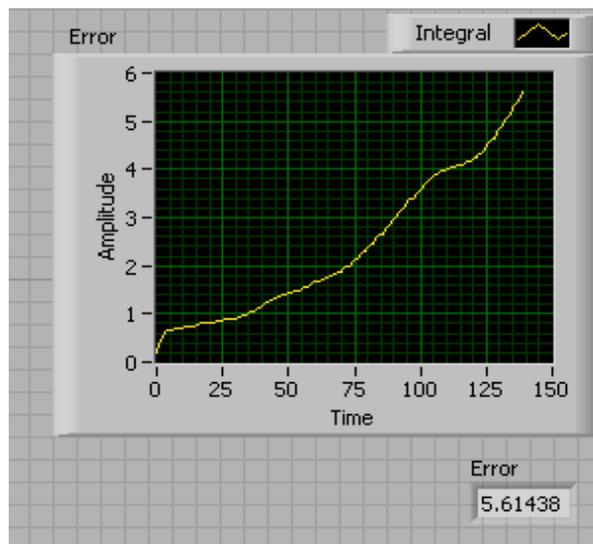


Figura 4.20: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.4.2 Experimento 2

En la figura 4.21 se muestra el comportamiento real del potenciómetro de 100 K $\Omega$  a 114°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

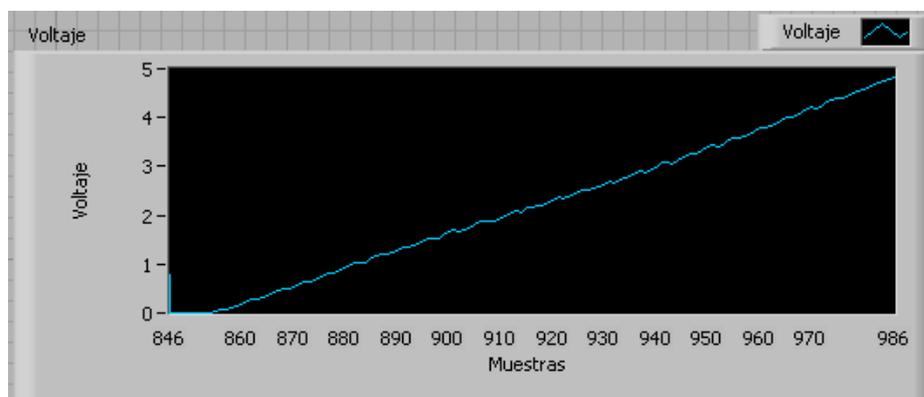


Figura 4.21: Comportamiento real de potenciómetro de 100 K $\Omega$  a 114°C.

En la figura 4.22 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.



Figura 4.22: Temperatura del potenciómetro de 100 KΩ.

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.23 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que presenta una zona muerta al principio de su ejecución, sin embargo la parte restante se observa que es casi recta.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.035 y el coeficiente  $b_0 = -0.29$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.25595
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.035x + (-0.29)$$

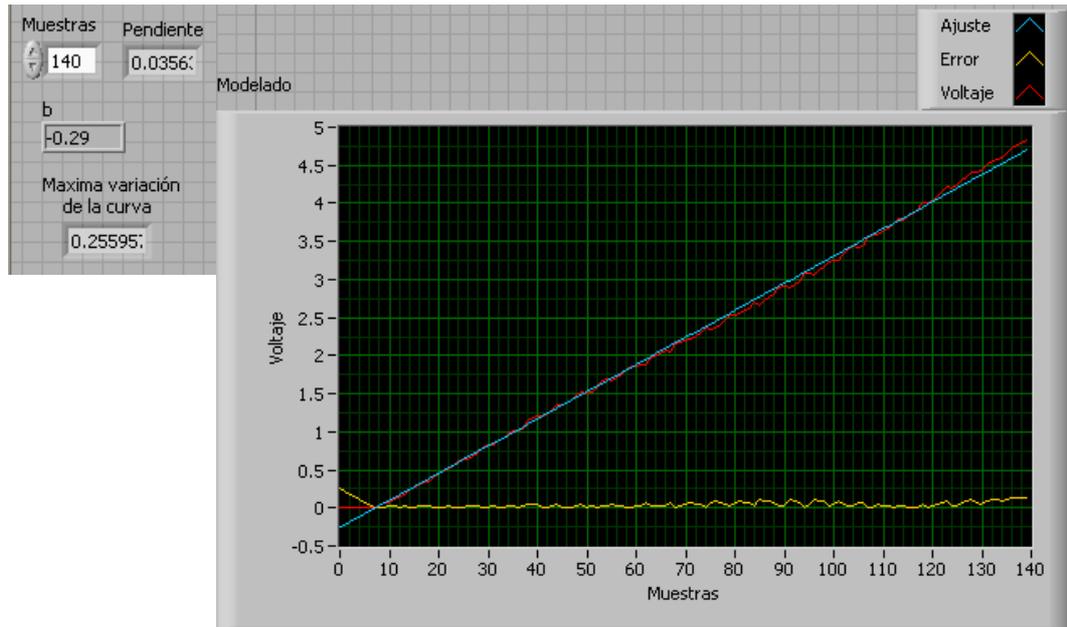


Figura 4.23: Modelado del potenciómetro de  $100\text{ K}\Omega$  a  $114^\circ\text{C}$ .

En la figura 4.24 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

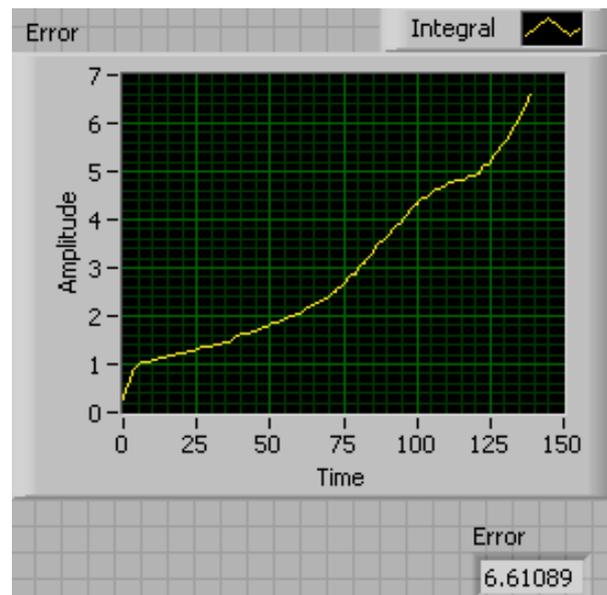


Figura 4.24: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.5 Resultados experimentales obtenidos del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$ .

El experimento consiste en obtener la respuesta del potenciómetro que es alimentado con 5 Volts. El motor hace girar el eje del potenciómetro de manera uniforme y cada punto de la gráfica es adquirido en tiempo real. Este potenciómetro requiere que el motor se mueva 265 pasos, para que el potenciómetro realice todo su recorrido. Cada paso equivale a 7.2 grados, por lo tanto cada adquisición del potenciómetro será aproximadamente de 0.0188 Volts, y su resistencia variara 7.5 ohms.

##### 4.5.1 Experimento 1

En la figura 4.25 se muestra el comportamiento real del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$  a 15°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

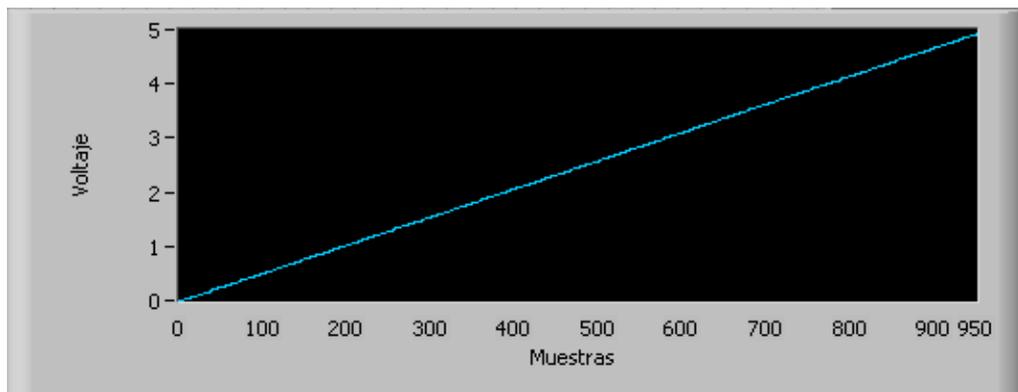


Figura 4.25: Comportamiento real de potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$  a 15°C.

En figura 4.26 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizó el experimento.

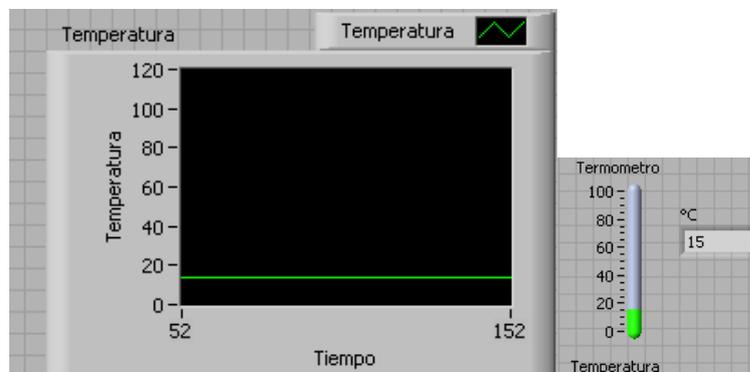


Figura 4.26: Temperatura del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$ .

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento mas objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.27 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que tiene una muy buena linealidad.
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.0052 y el coeficiente  $b_0 = -0.02$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.01535
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.0052x + (-0.02).$$

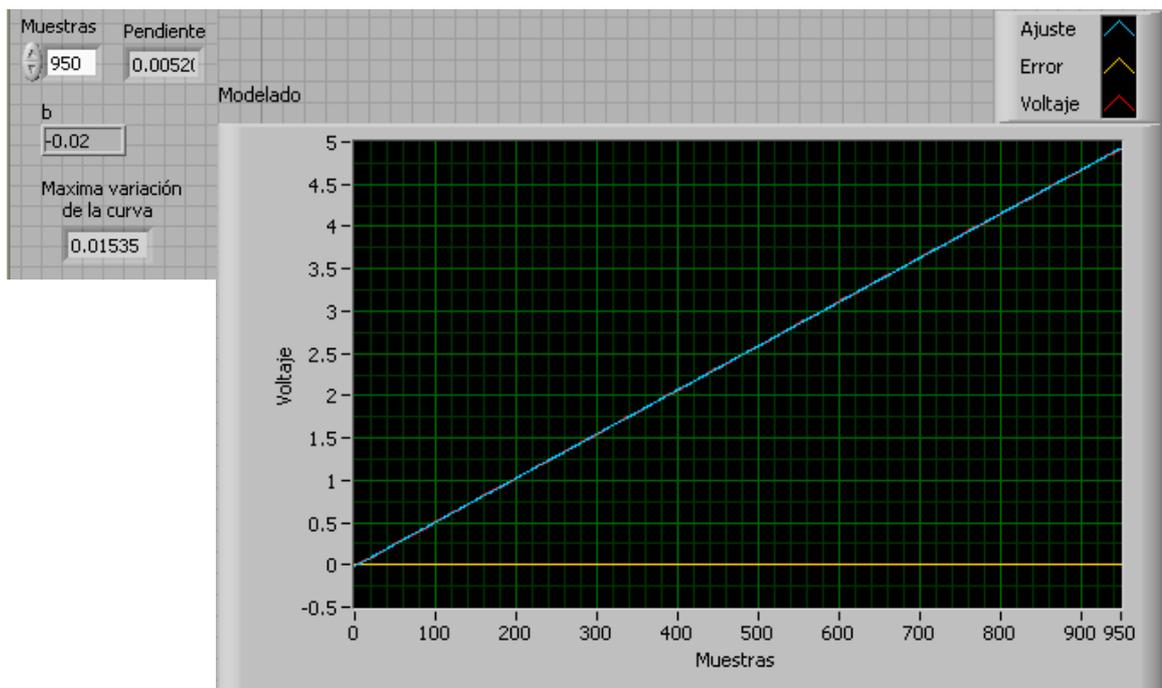


Figura 4.27: Modelado del potenciómetro multivoltas de 2 KΩ a 15°C.

En la figura 4.28 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

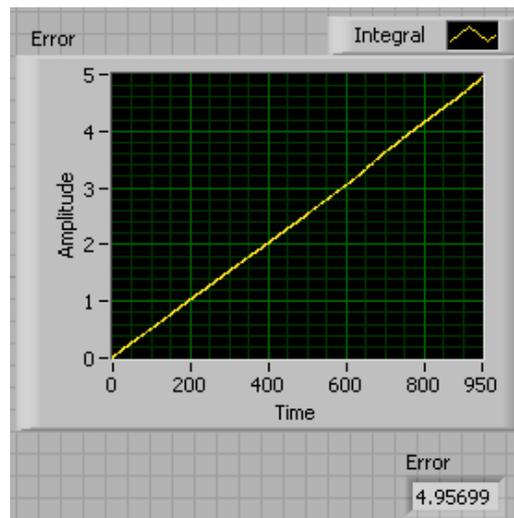


Figura 4.28: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.5.2 Experimento 2

En la figura 4.29 se muestra el comportamiento real del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$  a 112°C. El ADC nos entrega un muestreo de 0 a 255 en el eje "Y", por lo que se escalo a 5 volts, y eje "X" muestra el número de pasos del motor al hacer el escalamiento nos da 3.7 muestras por paso.

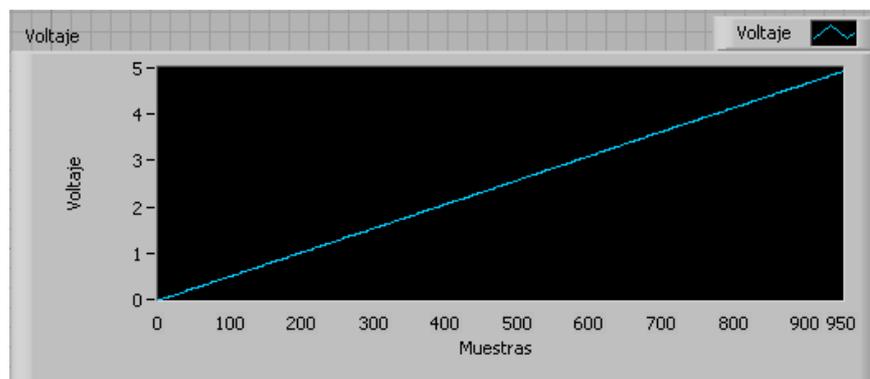


Figura 4.29: Comportamiento real de potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$  a 78°C.

En la figura 4.30 se muestra la temperatura sensada del potenciómetro en el momento en el que se realizo el experimento.



Figura 4.30: Temperatura del potenciómetro multivoltas de 2 K $\Omega$ .

En la siguiente gráfica se observa el procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión que se le conoce como método de regresión por mínimos cuadrados, mayor información en apéndice C.

Esta medida trata de resumir la disparidad entre lo observado y lo estimado, es decir, trata de medir la diferencia promedio entre lo observado y lo estimado ó esperado.

La figura 4.31 nos muestra el modelado del potenciómetro:

- Línea roja es el comportamiento real de potenciómetro: podemos observar que sigue conservando una muy buena linealidad
- Línea azul es la recta del método de regresión por mínimos cuadrados consiste en ajustar una recta a un conjunto de datos presentados, en la cual obtenemos los siguientes datos: Una pendiente de 0.0052 y el coeficiente  $b_0 = -0.02$
- La línea amarilla es la suma de todas las desviaciones.
- Su máxima desviación de recta o linealidad es: 0.0148
- Su modelado matemático de acuerdo a la ecuación de la recta es la siguiente:  

$$Y = 0.0052x + (-0.02).$$

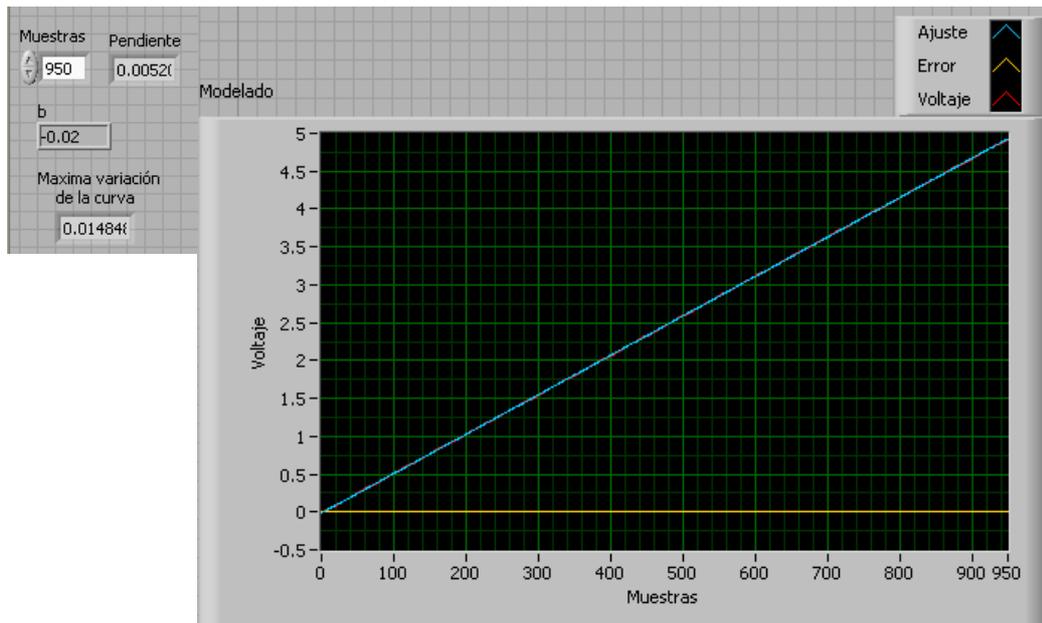


Figura 4.31: Modelado del potenciómetro multivuelas de 2 K $\Omega$  a 78°C.

En la figura 4.32 se muestra el área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

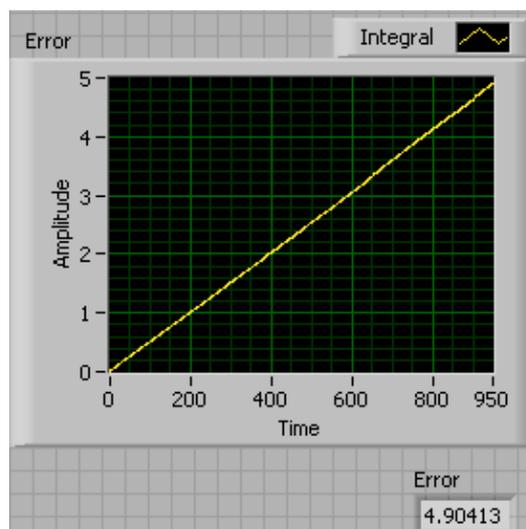


Figura 4.32: Área bajo la curva de la suma de todas las desviaciones.

#### 4.6 Conclusiones

En este capítulo se probó el recorrido de cuatro potenciómetros sometidos a dos diferentes pruebas se observó que mantiene su mismo comportamiento al aplicarle calor, por lo tanto se concluye que siguen siendo condiciones de trabajo aceptables.

---

---

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES

#### 5.1 Conclusiones

En el presente trabajo se realizó el análisis de 4 distintos potenciómetros, con la finalidad de evaluar su eficiencia.

Los potenciómetros lineales de caña de  $1\text{K}\Omega$ ,  $5\text{k}\Omega$  y  $100\text{k}\Omega$  no muestra grandes cambios al someterlo a temperaturas elevadas lo que nos indica que son robustos a cambios térmicos, pero tienen una linealidad aceptable, una problemática inherente en este tipo de potenciómetros es que tienen una zona muerta al inicio de su recorrido.

El potenciómetro Multivoltas de  $2\text{K}\Omega$  tiene una linealidad buena ya que muestra un índice de error bajo y no presenta una zona muerta además tiene un buen comportamiento al someterlo a temperaturas elevadas.

Los potenciómetros lineales de caña tienen una buena respuesta a altas temperaturas, pero tienen partes de nula resistencia, y por lo tanto se podría decir que tienen una mala resolución y una aceptable linealidad.

Los potenciómetros multivoltas son los mejores ya que tienen una muy buena linealidad y una buena resolución y además tienen un buen comportamiento a altas temperaturas, la única desventaja en este tipo de potenciómetros es su costo.

#### 5.2 Metodología desarrollada

Para la realización del presente trabajo se siguieron las siguientes etapas:

- Se acoplan la flecha del motor y el eje de potenciómetro por medio de una banda.
- Se identifica el modelo matemático de los potenciómetros usados.
- Instrumentación del motor y microcontrolador.
- Se diseña un circuito para sensor la temperatura.
- Se realiza un programa en CodeWarrior para enviar pulsos al motor, y hacer las adquisiciones.
- Se realiza un programa en LabVIEW para obtener la caracterización y modelado del potenciómetro.
- Implementación del prototipo con los diferentes circuitos y el microcontrolador MBOARD9S12GC de Motorola.
- Se realizan 2 pruebas a cada potenciómetro en el prototipo, una a temperatura ambiente y otra sometiéndolo a elevadas temperaturas.

- Se realiza el análisis de las 2 pruebas.

### **5.3 Aportaciones**

Se desarrollo una metodología para caracterizar y modelar potenciómetros.

Se desarrollo un prototipo, el cual nos permite evaluar de manera automática la eficiencia de los potenciómetros.

Desarrollo de un conjunto de programas para modelar potenciómetros

### **5.4 Trabajos a futuro**

Evaluar la eficiencia de cualquier resistor variable, ya sea un, trimpot, preset, reóstato, etc.

---

---

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Ayuda de LabVIEW
  
- [2] Bolton, W., *"Meca trónica, Sistemas de Control Electrónico en la Ingeniería Mecánica y Eléctrica"*, Editorial Alfaomega, 2a Edición, México, agosto 2001. ISBN: 970-15-0635-9
  
- [3] Características principales de LabVIEW  
<http://es.wikipedia.org/wiki/LabVIEW>
  
- [4] Características de los potenciómetros  
<http://compean.mx.tripod.com/Archivos/Potenciometro.htm>
  
- [5] Circuito integrado L293B  
<http://www.x-robotics.com/motorizacion.htm>
  
- [6] Clasificación de los potenciómetros  
[http://www.nib.fmed.edu.uy/Senales\\_fisiologicas\\_1.pdf](http://www.nib.fmed.edu.uy/Senales_fisiologicas_1.pdf)
  
- [7] Clasificación de resistencias variables.  
<http://www.monografias.com/trabajos7/inba/inba2.shtml>
  
- [8] Como utilizar un ADC en LabVIEW.  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6333>
  
- [9] Diccionario  
[http://www.google.com/search?hl=es&defl=es&q=define:MOSFET&sa=X&oi=glossary\\_definition&ct=title](http://www.google.com/search?hl=es&defl=es&q=define:MOSFET&sa=X&oi=glossary_definition&ct=title)
  
- [10] Gopel W .,J. Hesse and J.N. Zemel. "Sensors a Comprehensive Suervey". Vol 6.Ed VCH.p. 356-396.1992.
  
- [11] Hoja de datos del L293b  
<http://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=L293B>

- 
- 
- [12] Hoja de datos del LM35,  
<http://www.ortodoxism.ro/datasheets/nationalsemiconductor/DS005516.PF>
- [13] LabVIEW Bookshelf Nacional Instruments 2000-2004
- [14] Manual del microcontrolador MC9s12E64CPV  
[http://www.racom.com.mx/admin/uploads/pdfs/sistdesarrollolsis9s12E10\\_0ct\\_2005.pdf](http://www.racom.com.mx/admin/uploads/pdfs/sistdesarrollolsis9s12E10_0ct_2005.pdf)
- [15] Manual de la tarjeta UBoard MC9S12C  
[http://www.racom.com.mx/admin/uploads/pdfs/MC9S12C128V1\(new\).pdf](http://www.racom.com.mx/admin/uploads/pdfs/MC9S12C128V1(new).pdf)
- [16] Prácticas  
[http://www2.ate.uniovi.es/13996/Lecciones/Lecci%F3n\\_01.pdf](http://www2.ate.uniovi.es/13996/Lecciones/Lecci%F3n_01.pdf)
- [17] Potenciómetros  
<http://www.pisotones.com/Potes/Potes.htm>
- [18] Prácticas de LabVIEW  
<http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/6332>
- [19] Resistores  
<http://profesores.sanvalero.net/%7Ew0320/TEMA%20%20RESIST.pdf>
- [20] Resistencias  
<http://www.directindustry.es/prod/mf-power-resistor/resistencia-de-potencia-variable-39029-295332.html>
- [21] Resistencias variables  
[http://www.unicrom.com/Tut\\_resistenciavariabile.asp](http://www.unicrom.com/Tut_resistenciavariabile.asp)
- [22] Resistencias variables  
<http://www.monografias.com/trabajos7/inba/inba.shtml>

- [22] Robótica.  
<http://www.x-robotics.com/sensores.htm>
- [23] Sensores  
[http://www.tecnun.es/automocion/proyectos/sensor\\_desplazamiento/memoria.pdf](http://www.tecnun.es/automocion/proyectos/sensor_desplazamiento/memoria.pdf)
- [24] Sinclair, Ian R., "Sensors and Transducers". Newnes Ed., 3<sup>rd</sup> Edition, 2001, ISBN: 0-750-64932-1
- [25] Tutorial de LabVIEW  
<http://www.esi2.us.es/~jdedios/asignaturas/LCPCP1.pdf>
- [26] Tutorial sobre motores a pasos  
<http://www.todorobot.com.ar/informacion/tutorial%20stepper/stepper-tutorial.htm>
- [27] Transductores resistivos  
<http://bioinstrumentacion.eia.edu.co/docs/bio/2006/Cap2.Sensores>  
Transductores

## GLOSARIO

- Baquelita:**  
Fue la primera sustancia plástica totalmente sintética, creada en 1909.
- Cermet:**  
Es un material compuesto de cerámica y materiales metálicos.
- Helicoidal:**  
Que tiene forma de hélice.
- Linealidad:**  
El punto de peor desviación de la línea recta ideal, determina el porcentaje de linealidad del potenciómetro.
- Memoria EEPROM:**  
Son las siglas de electrically-erasable programmable read-only memory. Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente.
- Microcontrolador:**  
Es un circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de una computadora: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado.
- Mosfet:**  
Son las siglas de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor. Consiste en un transistor de efecto de campo basado en la estructura MOS.
- Motor:**  
Maquina eléctrica que convierte energía en mecánica.
- Óhmetro:**  
Es un instrumento para medir la resistencia eléctrica
- Potenciómetro:**  
La palabra se deriva de “voltaje potencial” y “potencial” era usado para referirse a “fuerza”, es un instrumento de medición de potencia.

Potencia:

Es la cantidad de trabajo efectuado por unidad de tiempo. Esto es equivalente a la velocidad de cambio de energía en un sistema o al tiempo empleado en realizar un trabajo

Reóstato:

Recibe comúnmente este nombre en vez del de potenciómetro al tratarse de un dispositivo capaz de soportar tensiones y corrientes muchísimo mayores, y de disipar potencias muy grandes.

Resolución:

Es el límite al cambio mínimo de resistencia posible que es igual a la resistencia de una vuelta del alambre.

Sensor:

Es un dispositivo que detecta manifestaciones de cualidades o fenómenos físicos, como la energía, velocidad, aceleración, tamaño, cantidad, etc.

Tiempo real:

El concepto de tiempo real viene del procesamiento digital de señales. En una descripción muy corta un sistema de tiempo real es aquel capaz de procesar una muestra de señal antes de que ingrese al sistema la siguiente muestra.

---

---

## LISTA DE ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

$R$ :	Resistencia.
$\rho$ :	Resistividad
$L$ :	Longitud
$S$ :	Sección
$R_t$ :	Resistencia de referencia
$R_o$ :	Coefficiente olveriano de temperatura
$\Delta T$ :	Diferencia de temperatura.
$W$ :	El watt es la unidad de potencia.
$V_o$ :	Voltaje de salida
$V$ :	Voltaje
$\Omega$ :	Omega
CD:	Corriente Directa.
CA:	Corriente Alterna.
$R_n$ :	Resistencia nominal.
$r_f$ :	Resistencia residual de fin de pista.
$r_c$ :	Resistencia de contacto.
$T_n$ :	Temperatura nominal de funcionamiento
$T_{max}$ :	Temperatura máxima de funcionamiento.
$P_n$ :	Potencia nominal
$V_{max}$ :	Tensión máxima de funcionamiento
TTL:	La primera tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales que existió (de <b>T</b> ransistor- <b>T</b> ransistor <b>L</b> ogic).
ADC:	Convertidor analógico digital
RAM:	Random Access Memory Module (memoria de acceso aleatorio).
Hz:	El hercio, hertzio o hertz es la unidad de frecuencia.
Seg.	Segundos.
°C:	Celsius: Designa a unidad de de temperatura.
PC:	Computadora personal.
PWM:	Pulse-Width-Modulated: Modulación de Ancho de Pulso.
$\alpha$ :	Coefficiente de temperatura.

## APÉNDICE A

### LABVIEW

#### A.1 INTRODUCCIÓN A LABVIEW

Es un sistema de programación gráfica para aplicaciones de adquisición, control, análisis y presentación de datos.

LabVIEW es un lenguaje de programación gráfico para el diseño de sistemas de adquisición de datos, instrumentación y control. LabVIEW permite diseñar interfaces de usuario de forma gráfica (figura A1), y es a la vez es compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, como por ejemplo Matlab, CodeWarrior, etc. Tiene la ventaja de que permite una fácil integración con el hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición, procesamiento de datos y microcontroladores.

Este lenguaje de programación permite desarrollar de una forma muy rápida cualquier aplicación, especialmente de instrumentación, en comparación con lenguajes de programación tradicionales basados en texto. Sin embargo, si se desea una aplicación sencilla, como un programa que suma dos números, construirlo bajo LabVIEW es más complicado de realizar. Sería más sencillo mediante un programador de texto donde simplemente se incluiría una línea. Pero para un programa más complejo se puede diseñar un prototipo y modificarlo de una manera más rápida con LabVIEW gracias a que es un lenguaje de programación gráfico.

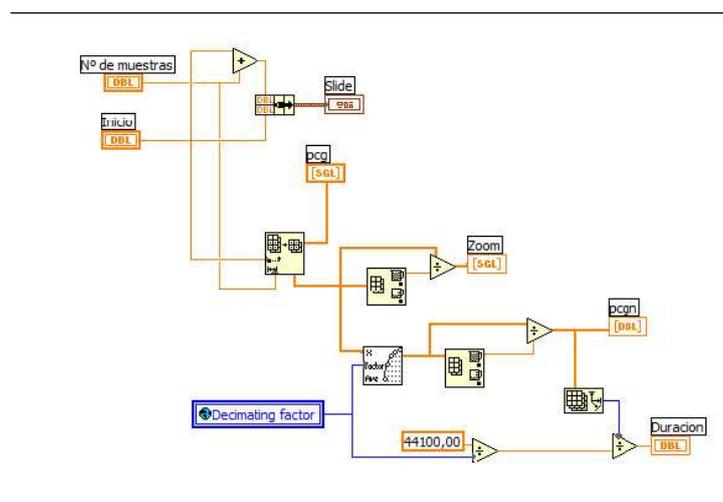


Figura A.1 Código gráfico

### **Características de LabVIEW**

Una de las características de LabVIEW en su modularidad, es decir, la capacidad de utilizar bloques funcionales. LabVIEW permite conectarse a otras aplicaciones mediante un intercambio de datos como Active X, librerías dinámicas, base de datos, Excel y/o a protocolos de comunicación como DataSocket, TCP/IP, UDP, y RS-232, entre otros. Una de las características de las funciones consiste en que se pueden utilizar en cualquier parte de otro programa, dándole a LabVIEW una estructura jerárquica.

Otra característica se encuentra en el flujo de datos, que muestra la ejecución secuencial del programa, es decir, una tarea no se inicia hasta no tener todas sus variables de entrada y además se tendrán que haber ejecutado las tareas predecesoras debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuentan LabVIEW es más versátil, ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido

### **Programación gráfica con LabVIEW**

Cuando se diseña un programa con LabVIEW se está trabajando siempre bajo un instrumento virtual denominado VI. Se pueden crear VI's a partir de los diagramas a bloques, y estos VI's pueden utilizarse en cualquier otra aplicación como una subfunción dentro de un programa general. Los VI's se caracterizan por ser un cuadrado con su respectivo símbolo relacionado con su funcionalidad, tener una interfaz con el usuario, tener entradas con su color de identificación de dato, tener salidas con su color de identificación de dato, tener una o varias salidas y, por supuesto, ser reutilizables.

### **Aplicaciones de LabVIEW**

LabVIEW tiene su mayor aplicación en sistema de medición, como monitoreo de procesos y aplicaciones de control. Un ejemplo de esto pueden ser sistemas de procesos de control industrial, adquisición de señales, laboratorios para clases en universidades, etc. También es muy utilizado en procesamiento de señales.

### **Diseño de la interfaz de usuario**

En el ambiente de trabajo de LabVIEW existen dos paneles, el panel frontal y el panel de programación. En el panel frontal (figura A.2) se diseña la interfaz de usuario, y en el panel

de programación (figura A.1) se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan en si cómo funciona el programa o el sistema.

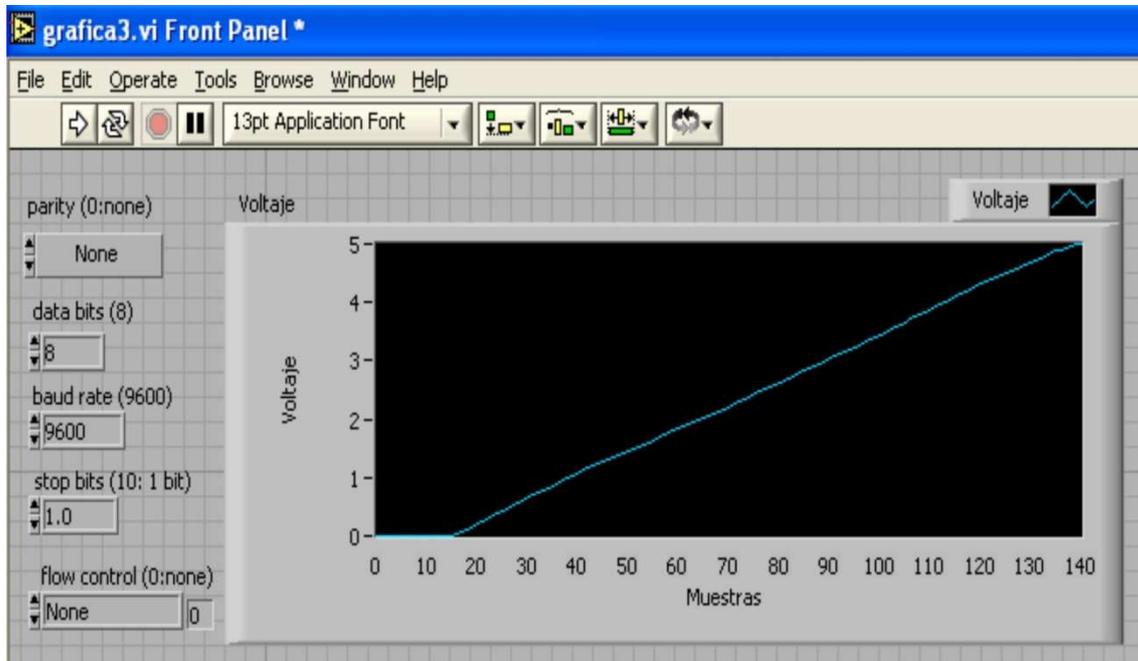


Figura A.2. Interfaz con el usuario

En el panel de programación se puede diseñar de manera gráfica, y como si fuera un diagrama a bloques, el funcionamiento del sistema. La programación gráfica, se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representan los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que se deben realizar (VI's). Uniendo estos iconos mediante una conexión simple se enlazan para determinar una operación y/o una función.

Al diseñar el programa de forma gráfica, se hace visible una programación orientada al flujo de datos, donde se tiene una interpretación de los datos también de forma gráfica. Cada tipo de datos (figura A.3) se identifica con un color diferente dentro de LabVIEW. Por ejemplo un dato booleano se caracteriza por ser una conexión verde. También es necesario tener en cuenta que cuando se realiza una conexión a un VI esta conexión se identifica con un tipo de dato específico, que debe coincidir con el tipo de dato de la del VI, permitiendo una concordancia en el flujo de datos.

Éste va de izquierda a derecha en el panel de programación y está determinado por las operaciones o funciones que se realizan. Es fácil observar en el panel de programación

como se calculan los datos en cada parte del programa cuando se realiza una ejecución del programa paso a paso. En LabVIEW, las variables se representan mediante una figura tanto en el panel frontal como en el panel de programación. De esta forma se puede observar su respuesta en la interfaz del usuario y en el flujo de datos del código del programa.

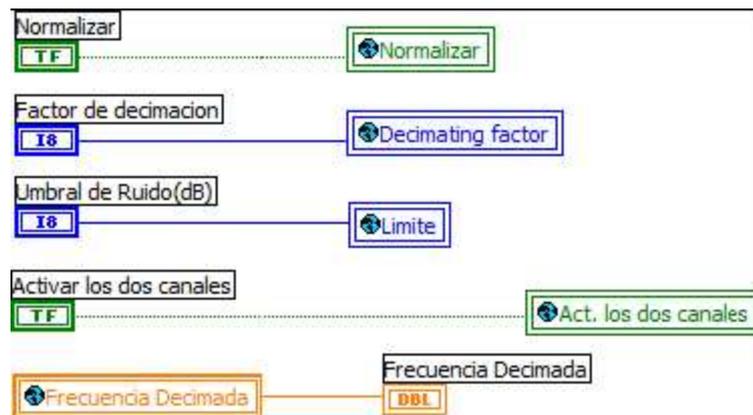


Figura A.3 Tipos de datos

### Modularidad

Cuando se ha terminado de diseñar la aplicación, ésta se puede definir como un VI, y de esta forma se puede reutilizar en un nuevo programa. Esto se hace mediante la selección del diagrama funcional y la opción *Crear VI*. También se puede diseñar el símbolo que represente su aplicación y definir las entradas y las salidas.

### Controles

La programación G (gráfica) de LabVIEW consta de un panel frontal y un panel de código como se mencionó antes. En el panel frontal es donde se diseña la interfaz de usuario y se ubican los controles e indicadores (figura A.4). En el panel de código se encuentran las funciones. Cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código.

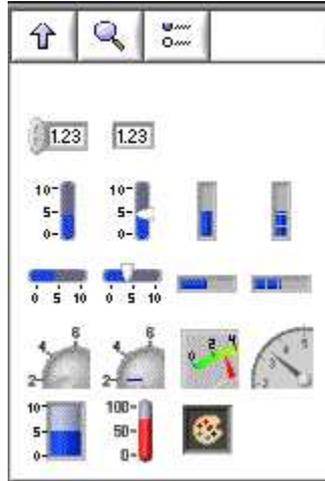


Figura A.4 Panel de controles

Los controles pueden ser booleanos, numéricos, strings, un conjunto matricial de éstos o una combinación de los anteriores; y los indicadores pueden ser como para el caso de los controles, pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, entre otros.

### Funciones

Las funciones pueden ser prediseñadas (figura A.5) y reutilizadas en cualquier aplicación. Estos bloques funcionales constan de entradas y salida. Igual que en un lenguaje de programación estándar las funciones procesan las entradas y devuelven una o varias salidas, estos VIs pueden también estar formados de otros sub-VIs y así sucesivamente. De esta forma se pueden representar como un árbol genealógico donde un VI se relaciona o depende de varios sub-VIs. LabVIEW tiene VIs de adquisición de datos e imágenes, de comunicaciones, de procesamiento digital de señales, de funciones matemáticas simples, y también otras más complejas como "nodos de fórmula", que se utilizan para la resolución de ecuaciones editando directamente éstas como en lenguajes de programación tradicionales y definiendo las entradas y las salidas.

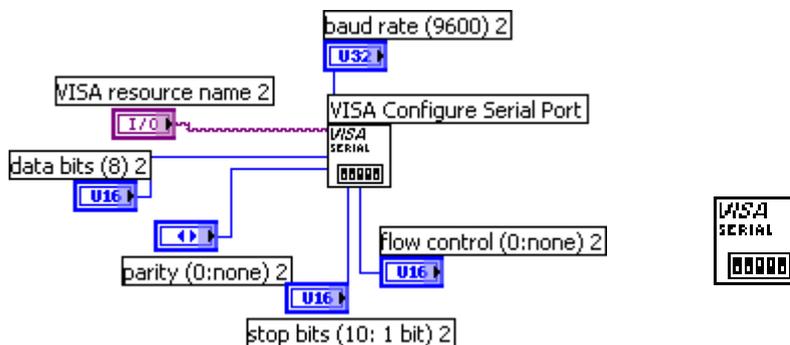


### Programar en LabVIEW

Se debe tener en cuenta que siempre se trabaja en paralelo en el panel de programación y el panel frontal. Además siempre se debe tener presente la paleta de herramientas, que tiene lo necesario para realizar una programación gráfica, en la que, por ejemplo, la herramienta de conexión esta representada por un carrito. Para ejecutar y depurar el programa se tienen varios iconos en la parte superior de los dos paneles, que permiten iniciar la ejecución del programa, detenerlo, depurarlo paso a paso y efectuar las demás funciones de un depurador clásico. Una forma de conocer más a LabVIEW y comprender su potencialidad es conocer cada uno de los elementos que se presentan en la paleta de controles y la paleta de funciones, ya que nos da la versatilidad del programa, ayudándonos a conseguir mas fácilmente los elementos que necesitamos, además de ahorrarnos tener que diseñar VIs que cumplan una tarea para la cual ya existe otro VI.

#### A.2 Funciones utilizadas de LabVIEW

En esta sección se muestran las funciones utilizadas.



#### Configuración puerto serie

Esta función inicializa el puerto serie especificado por VISA nombre de recurso a la configuración especificada.



Se coloca la función VISA Write, localizada en la paleta Funcions>>All Funcions>>Instrument I/O >> VISA, en el diagrama de bloques. Esta función escribe una cadena al instrumento.



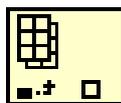
Coloque la función VISA Read, localizada en la paleta Funcions>>All Funcions>>Instrument I/O >> VISA, en el diagrama a bloques. Esta función lee datos desde el instrumento.



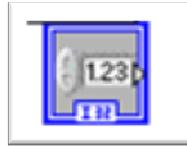
Coloque la función VISA Close, localizado en la paleta Funcions>>All Funcions>>Instrument I/O >> VISA>>VISA advanced, en el diagrama de bloques. Esta función cierra la sesión con el instrumento y libera cualquier recurso del sistema que haya sido usado.



Esta función espera el número de milisegundos que uno le indique y devuelve el valor de los milisegundos en tiempo. Por lo tanto, no se completa hasta que la ejecución haya transcurrido el tiempo especificado.



Index Array- puede extraer una fila o una columna de arreglos, para crear un sub-arreglo del sub arreglo. Puede cablear entradas a ambos terminales index para crear un índice de un elemento o puede cablear solo un terminal para extraer una fila o columna de datos.



El control numérico permite insertar antes o durante el proceso una variable de control desde el panel frontal.



Esta función convierte una cadena de caracteres en un vector.



Convierte un número a un número flotante.



Esta función permite hacer una diferencia entre dos señales y el resultado será la respuesta de la resta.



Esta función permite dividir una señal entre la otra



Esta función permite la multiplicación de dos señales y la salida sera el producto de estas.



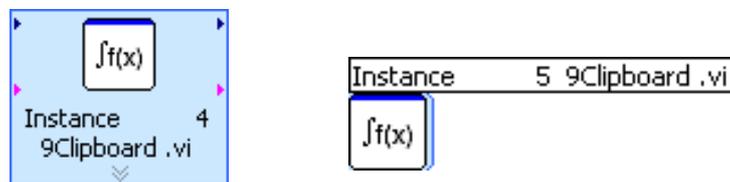
Calcula la raíz cuadrada de la entrada de valor



Usted puede comparar una matriz o un grupo de un tipo de datos a un escalar del mismo tipo de datos y producir una matriz o conjunto de valores binarios.



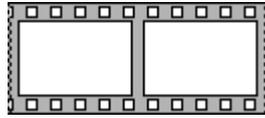
Este icono permite graficar en el panel frontal datos de tipo escalar almacenándolos en un archivo temporal en un rango establecido previamente.



Esta función integra una señal en tiempo continuo, al darle clic pueda ser configurado como Derivador, Diferencia, Integración o Sumatoria, en nuestro caso es ocupada como integrador o derivativo.



Muestra la temperatura sensada. El sensor suministra un voltaje proporcional a la temperatura. Por ejemplo, si la temperatura es de 23C, el voltaje de salida del sensor es 0.23V.



Consta de una o más subdiagramas, o marcos, que ejecutan secuencialmente. Fotogramas en una estructura plana Secuencia ejecutar en el orden y cuando todos los datos a la estructura cableada están disponibles. Los datos dejan cada marco acabados como marco de ejecución.



Esta función repite las funciones que se encuentren dentro de este, hasta que una condición lo decida. Esta condición círculo rojo es de tipo booleana, es decir mientras la condición no sea verdadera continua repitiendo la rutina, de otra manera no se detendrá. La iteración i, es el contador de ciclos.

### A.3 Programa

En este programa realizar el análisis de nuestras señales tanto de voltaje como temperatura que fueron previamente adquiridas. A continuación se muestra el diagrama de flujo (Figura A.6) y el diagrama de bloques (Figura A.7).

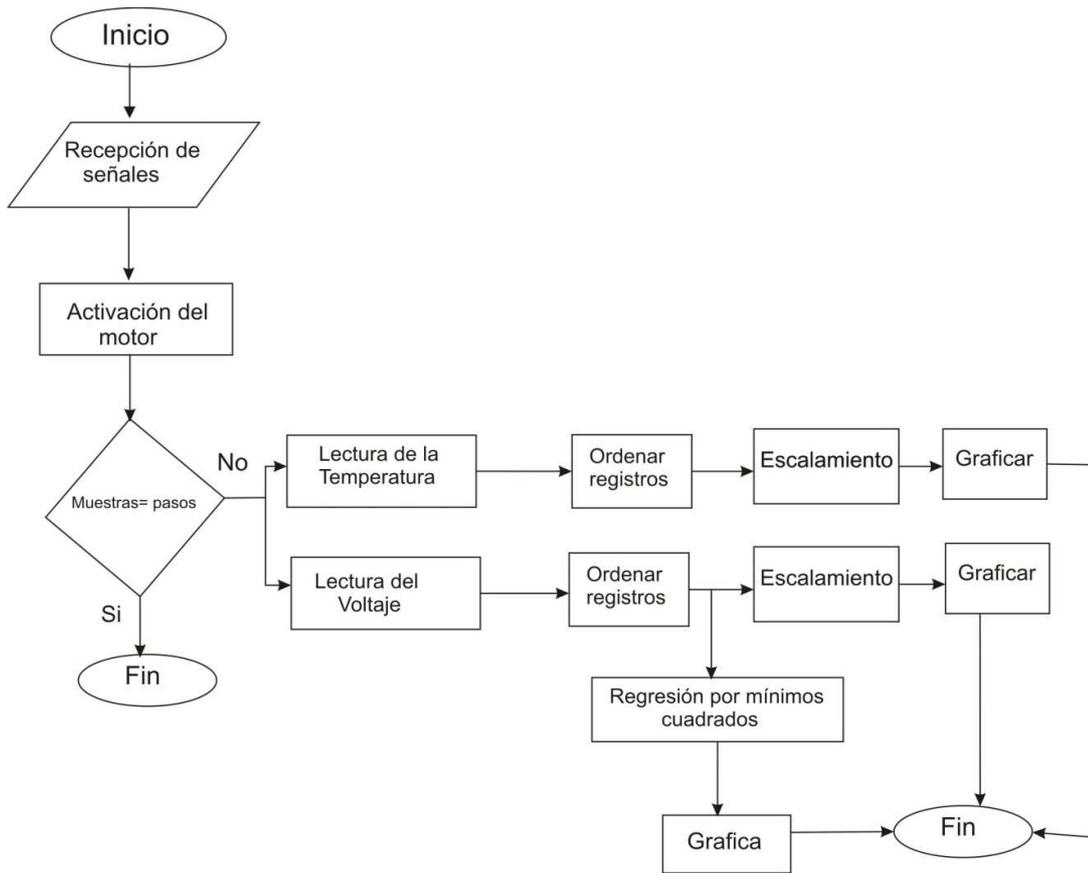


Figura A.6 Diagrama de flujo del programa que procesa las señales.

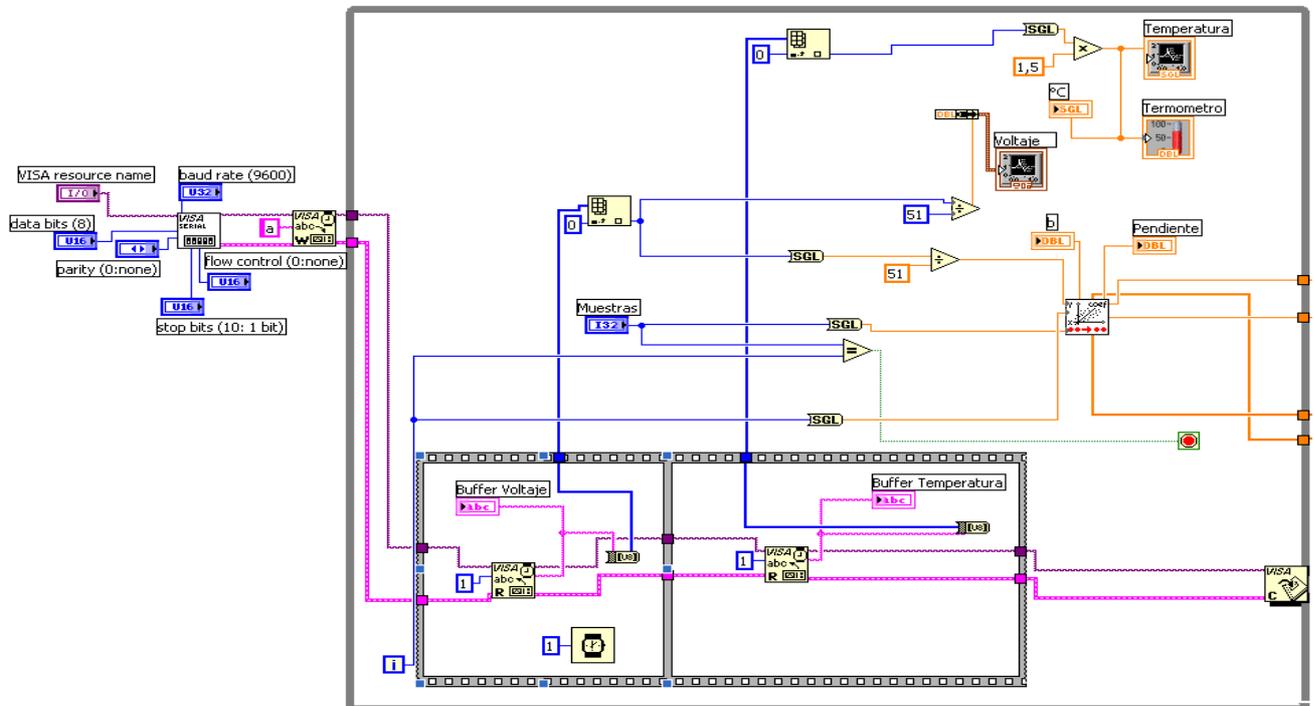


Figura A. 7 Programa que procesa las señales extraídas del sistema físico.

En la figura A.8 se muestra el programa final

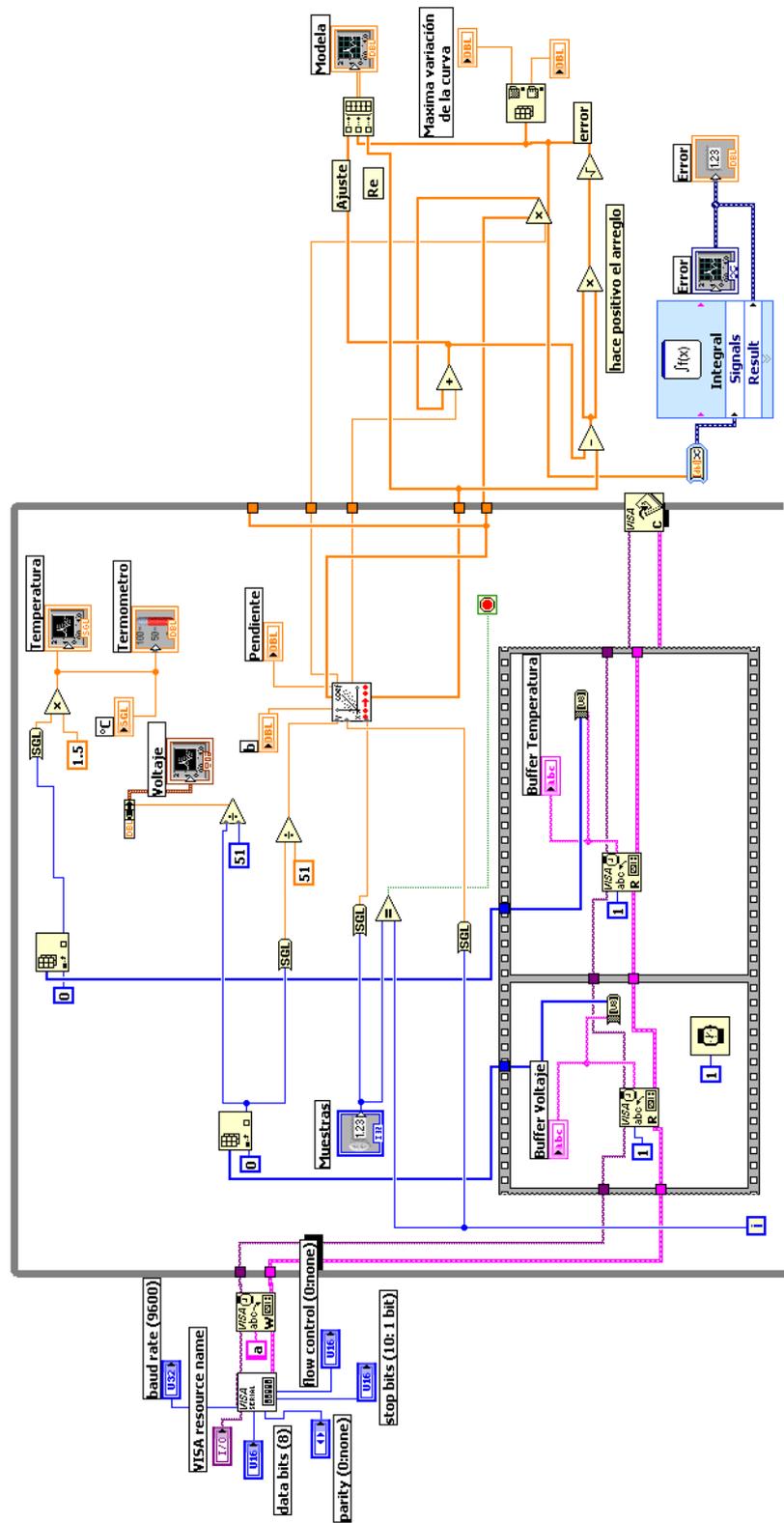


Figura A.8 Programa final.

El proceso de tratamiento de las señales se explica a continuación:

1. Primero inicializamos el puerto serie con la función VISA y se configuran sus parámetros.
2. Se envía un carácter a través del puerto serie para activar la generación de pasos el motor.
3. Se reciben las señales de temperatura y voltaje y se hacen pasar por un arreglo.
4. La señal de voltaje se escala para que en su grafica tenga una resolución de 0 a 5 volts, y se grafica en tiempo real como se puede observar.
5. La señal de temperatura se escala para que en su grafica tenga una resolución de 0 a 100 grados centígrados, y se grafica en tiempo real como se puede observar.
6. Se extrae la señal de voltaje y se procede al modelado y la caracterización, que se explica en el apéndice C.

---

---

## APÉNDICE B

### CODEWARRIOR

#### **B.1 Introducción a CodeWarrior**

El programa de computadora CodeWarrior es un ambiente integrado del desarrollo (IDE) de la compañía Freescale, compañía subsidiaria de Motorola. La compañía original CodeWarrior fue desarrollada al lado de la compañía Metrowerks, que fue comprada en el año de 1999 por Motorola y Freescale. CodeWarrior puede proporcionar el software para muchas aplicaciones. CodeWarrior ofrece la posibilidad de escribir también en el mismo ambiente del desarrollo en cuatro diversos lenguajes de programación Java, C, C++ y PASCAL. Éstos se dejan entonces para 11 diversas plataformas, Windows el piloto 95/NT, OS del mac, OS X de mac, BeOS, PlayStation, palm entre otras cosas. CodeWarrior está disponible para los sistemas operativos MacOS, BeOS y Windows.

- **Ventajas de usar CodeWarrior**

En comparación con los componentes usados dentro de estos productos, las beans proporcionan la encapsulación del hardware en la forma de estándar de plataforma independiente. Los productores de cada microprocesador al año introducen muchas familias o derivados de microprocesador. Mientras que la complejidad de microprocesadores aumenta, los programadores deben manejar más y más registros para conseguir la funcionalidad requerida. Las herramientas de desarrollo clásicas no apoyan generalmente la fase prototipo de rápido diseño y los lenguajes de programación clásicos no pueden describir eficientemente la estructura. Por otra parte, los productores de los microprocesadores necesitan acelerar los procesos el aprender, del diseño y de codificación para sus clientes. Para el diseñador, el experto del procesador y sus características de la generación de la configuración y del código eliminan totalmente la necesidad que se ocupará con dependencias del hardware. El Processor Expert podría incluso sugerir al miembro adecuado de una familia del microprocesador para el uso específico.

Imagine la posibilidad de apoyar a clientes con los componentes que proporcionan una interfaz de software de estándar que permita construir y utilizar fácilmente nuevas características del dispositivo de hardware.

El ambiente Processor Expert permite esto a los clientes, pueden descargar fácilmente nuevos componentes del Internet e instalarlos en Processor Expert.

- **Productores del hardware de los sistemas del microprocesador**

Los tableros del microprocesador que deben ser programados por un cliente se deben apoyar bien por el software. El Processor Expert puede manejar la configuración del

software y la generación de los conductores para los dispositivos de microprocesador y los dispositivos periféricos.

El Processor Expert puede cooperar con las otras herramientas e IDEs porque trabaja en un nivel más alto de la abstracción. Los surtidores de las herramientas pueden aumentar la atracción de su herramienta con las características del Processor Expert.

Para comprender la programación que se realizó en CodeWarrior, es necesario conocer su entorno.

Processor Expert fue originalmente desarrollado como un producto independiente. Ahora, proporciona un ambiente más eficiente y más cómodo de desarrollar, lo integramos como una plataforma de Metrowerks CodeWarrior.

La plataforma Processor Expert genera código en el que los beans y CodeWarrior maneja los archivos de proyecto, compila y elimina errores del uso.

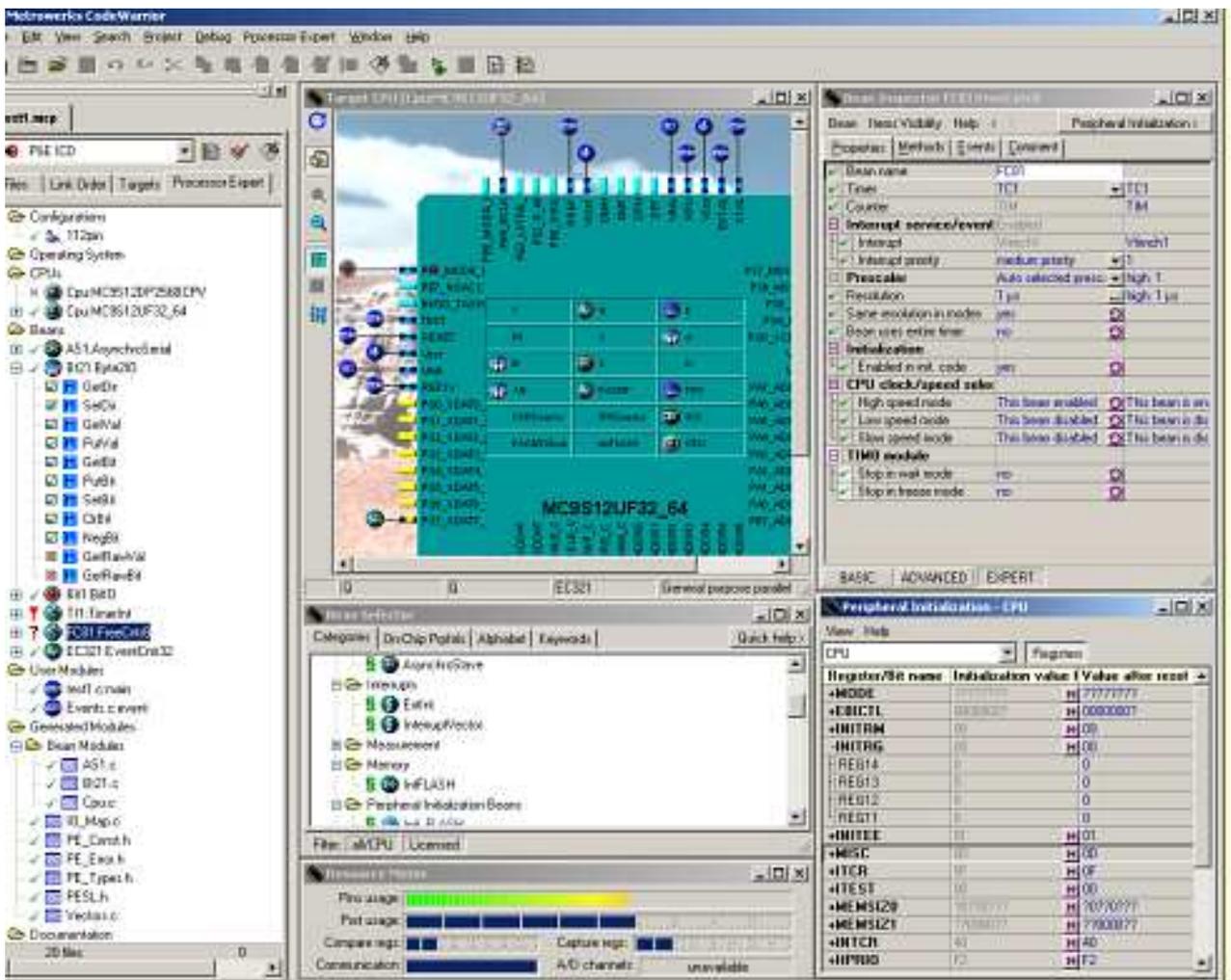


Figura B.1 CodeWarrior con la plataforma Processor Expert

- **Processor Expert**

El Processor Expert tiene definiciones internas del CPU con todas sus unidades y periférico integrados. Las unidades y los periféricos del CPU se encapsulan en los componentes configurables llamados beans, cada uno de ellos proporcionan al Processor Expert un sistema de características útiles, los métodos y los acontecimientos. Es una interfaz intuitiva y de gran alcance que permite que el usuario defina el comportamiento del sistema en varios pasos. Un sistema simple puede ser creado apenas seleccionando los Beans necesarios, fijando sus características.

- **Bean**

El Componente Bean es la encapsulación de una función. Por ejemplo el Bean TimerInt encapsula todos los recursos del CPU que proporcionen la sincronización y el hardware que interrumpe el CPU.

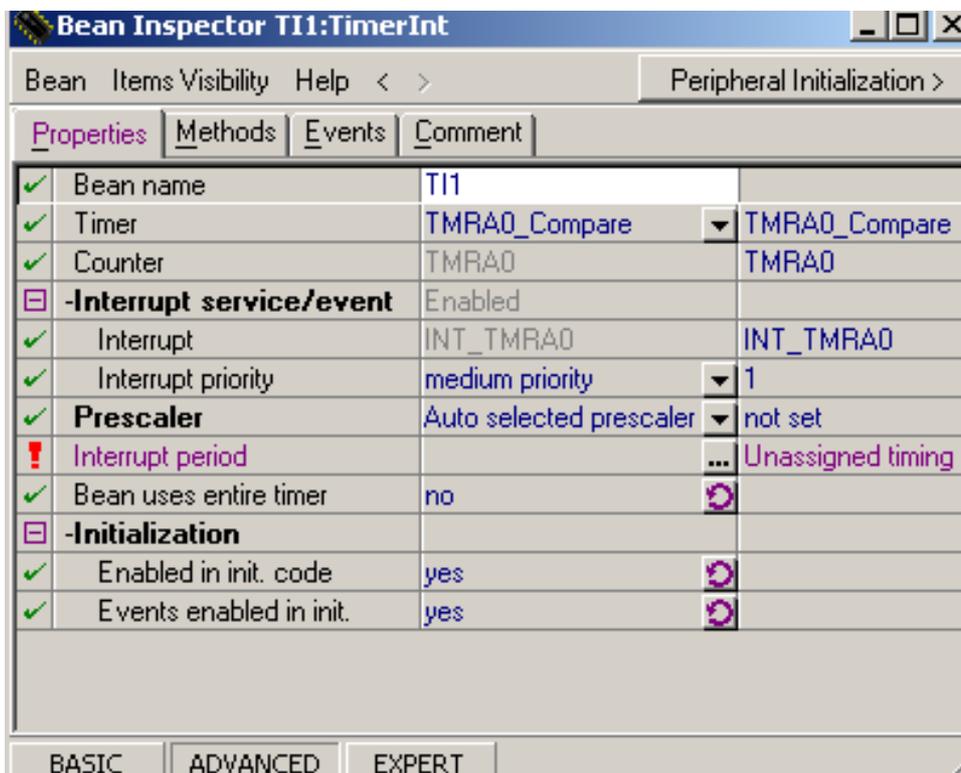


Figura B.2 Ejemplo del Bean TimerInt

La creación de una aplicación con Processor Expert en cualquier microcontrolador es sencillo. Primero se elige el Cpu, se agregan Beans, y se modifican sus características, se definen los acontecimientos y se genera el código. El Processor Expert genera todo el código según sus ajustes. Esto es, por supuesto una única parte del código del uso que fue

creado por el "ingeniero de aplicación virtual". Estas soluciones se seleccionan y se configuran en el proceso de generación del código. Introduzca su código para los acontecimientos deseados, proporcione el código principal, agregue las fuentes existentes y construya la aplicación usando las herramientas clásicas. Estos son pasos típicos al trabajar con Processor Expert. Otras Beans le ayudan a incluir muy rápidamente cuadros, archivos, sonidos, y listas de la secuencia en su aplicación. Las otras Beans pueden ser obtenidas de la página [www.processorexpert.com](http://www.processorexpert.com).

## B.2 Beans de CodeWarrior utilizadas

En este apartado se muestran las funciones utilizadas para el diseño del software de la secuencia del motor y la adquisición de datos del potenciómetro.

### Bean BitsIO

Este Bean implementa un puerto de entrada/salida.

1. Si usted desea utilizar 1 bit solamente, seleccione BitIO.
2. Si usted desea utilizar 8 bits, seleccione ByteIO.

Este Bean se localiza en el Bean Selector dentro de Cpu Internal Peripherals-Port I/O-  
BitsIO

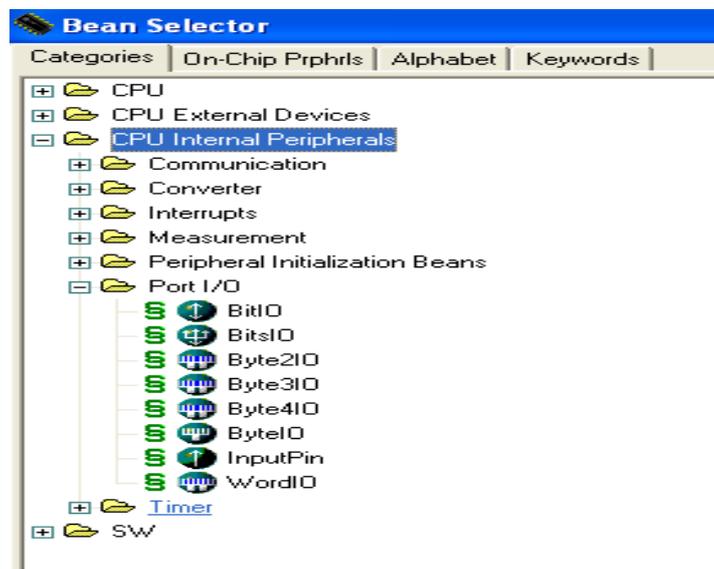


Figura B.3 localización del Bean port I/O.

Para agregar este Bean a nuestro proyecto se da doble clic sobre  BitIO

Para configurar sus puertos se da doble clic sobre el Bean y en la ventana de Bean Inspector, se configuran las salidas deseadas.

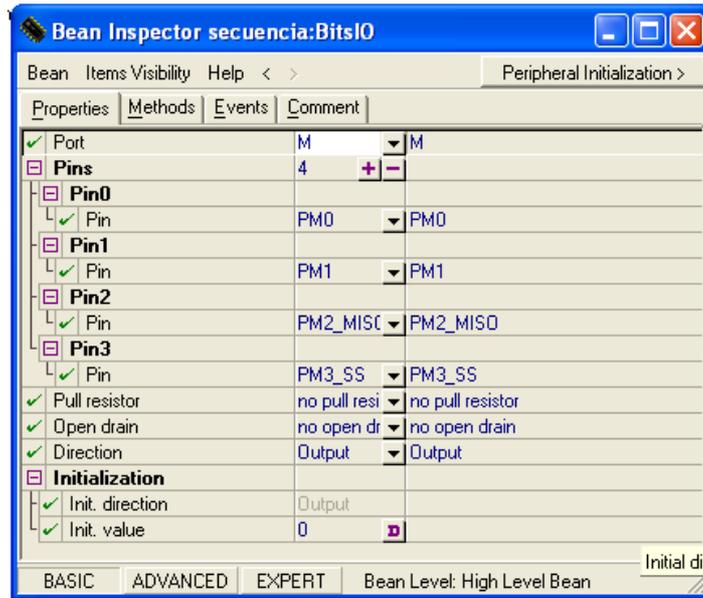


Figura B.4 Configuración puertos de entrada-salida port I/O.

### Bean Convertidor Analógico/Digital (ADC)

Este Bean implementa un convertidor Analógico/Digital

Este Bean se localiza en el Bean Selector dentro de Cpu Internal Peripherals- Converter-ADC.

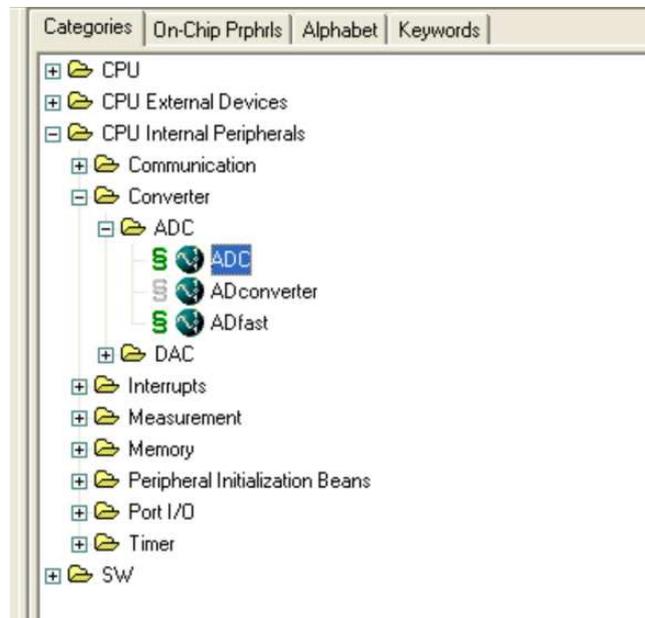


Figura B.5 localización del Bean ADC.

Para agregar este Bean a nuestro proyecto se da doble clic sobre 

Para configurar sus puertos se da doble clic sobre el Bean y en la ventana de Bean Inspector, se configuran sus propiedades.

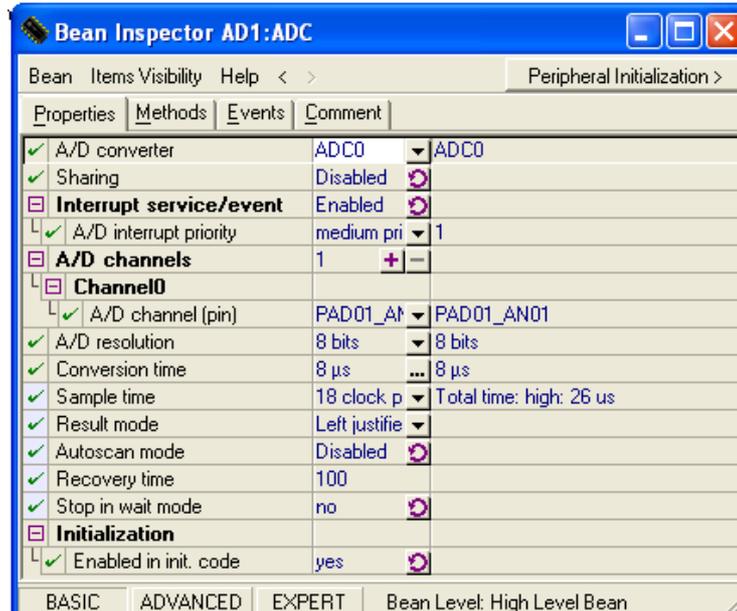
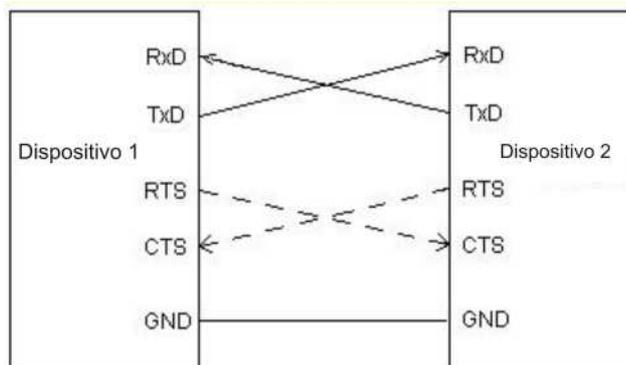


Figura B.6 Configuración del ADC en el Bean Inspector

**Bean Comunicación serial asíncrona**

Este Bean nos permitirá la comunicación por la interfase RS232. Pone una comunicación en ejecución serial asíncrona, se pueden configurar varias características como bits de parada, paridad, es necesario que los 2 dispositivos tengan las mismas configuraciones.

En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de la conexión entre 2 dispositivos de interfaz RS232



B.7 Conexión de 2 dispositivos de interfaz RS232

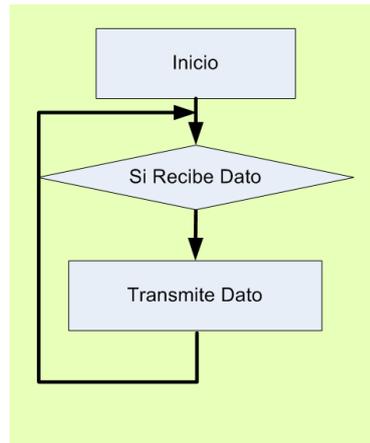


Figura B.8 Diagrama a flujo del puerto serie RS232.

Este Bean se localiza en el Bean Selector dentro de Cpu Internal Peripherals-Communication-AsynchroSerial

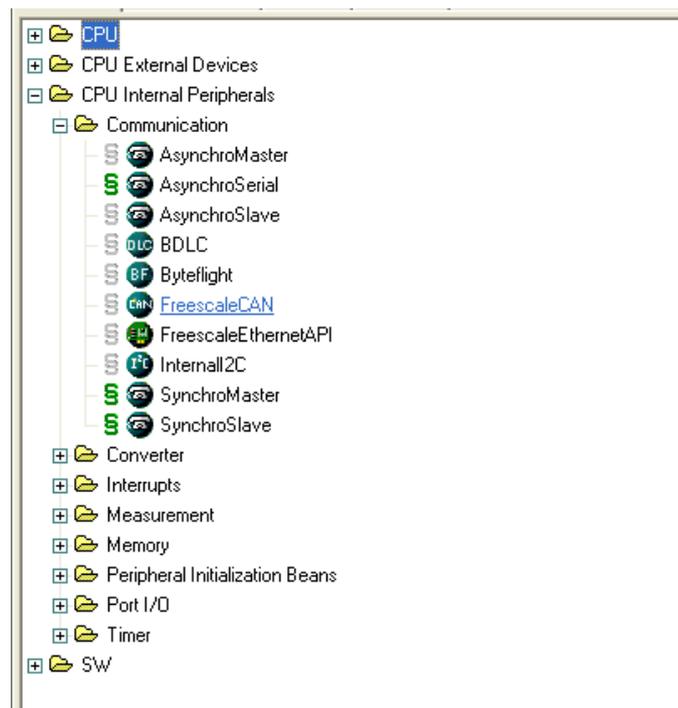


Figura B.9 Ubicación del Bean AsynchroSerial.

Para agregar este Bean a nuestro proyecto se da doble clic sobre  AsynchroSerial

La configuración del Bean AsynchroSerial se realizará de la siguiente manera:

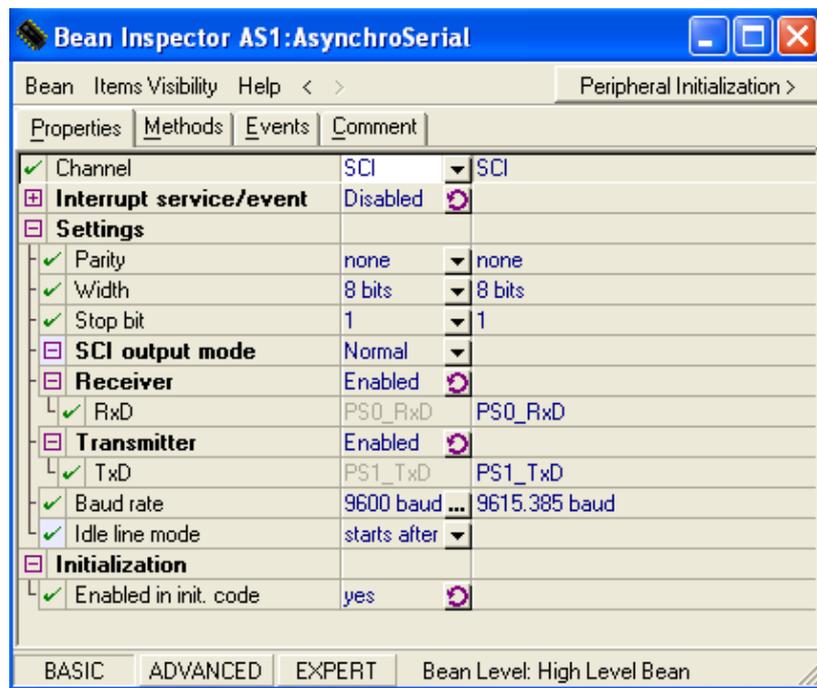


Figura B.10 Configuración del Bean AsynchroSerial.

### B.3 Métodos utilizados en el programa

#### Método AD1\_GetChanValue8 (bean ADC)

Este método envía el valor por el canal requerido.

#### Método AS1\_SendChar (bean AsynchroSerial)

Este método envía un carácter al canal, el método SendChar almacena datos en una memoria intermedia de salida.

#### Método Bits\_PutVal (bean BitsIO)

Este método envía o escribe un valor de salida.

#### Método AD1\_Start (bean ADC)

Este método comienza la conversión continua de los canales del ADC.

#### Método AS1\_RecvChar (bean AsynchroSerial)

Si algún dato es recibido, este método regresa un carácter, sino es así regresa un error de código.

### B.4 Programa

Se desarrollo un programa en CodeWarrior para controlar el microcontrolador, que va ser el encargado instrumentar nuestro sistema, el proceso se explica a continuación:

- Se envía una secuencia al controlador L293 (Figura 3.7) del motor a pasos para su activación, de esta manera moverá uniformemente el eje del potenciómetro que esta acoplado en un sistema banda polea a la flecha del motor (Figura 3.20).
- El potenciómetro es alimentado con 5 volts, la señal es extraída del cursor del potenciómetro y se procesa a través del convertidor A/D del microcontrolador en el canal 0.
- La señal obtenida es enviada a través del puerto serie al software creado en el lenguaje de programación Labview (Apéndice A), el análisis y procesamiento de esta señal se puede ver en el apéndice A.3.
- La señal extraída del sensor de temperatura LM35 (Figura 3.15) se procesa en el canal 1 del convertidor A/D y envía la conversión A/D por el puerto serie, esta conversión a su vez va a ser recibida por el software Labview (Apéndice A), el análisis y procesamiento de esta señal se puede ver en el apéndice A.3.

A continuación se muestra el diagrama de flujo del programa (Figura B.11).

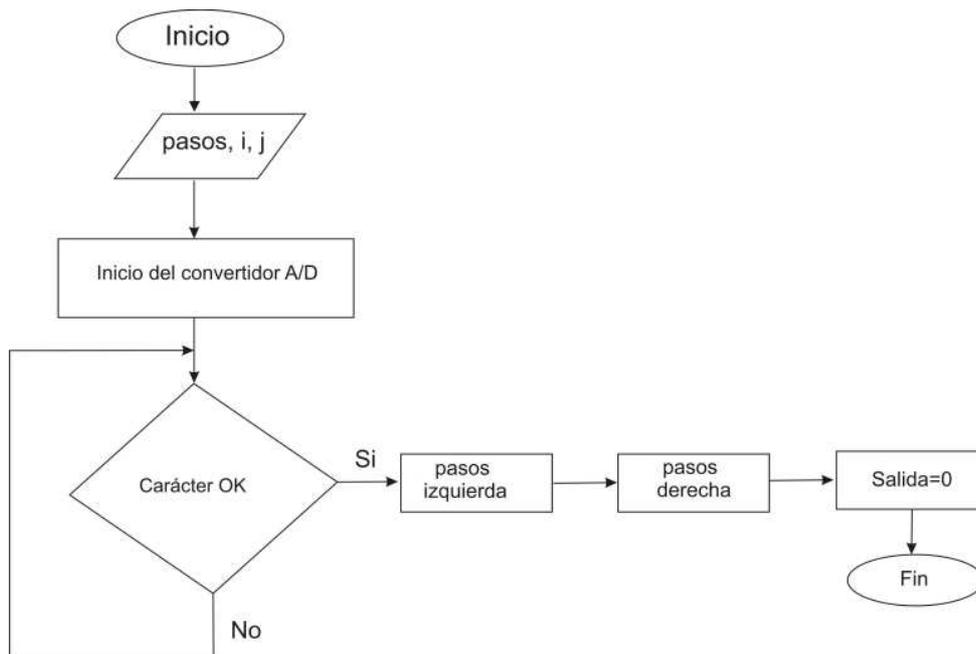


Figura B.11 Diagrama de flujo del programa de instrumentación

A continuación se muestra el diagrama de flujo de la función para generar pasos a la izquierda (Figura B.12a) y el diagrama de flujo para generar pasos a la derecha (Figura B.12b).

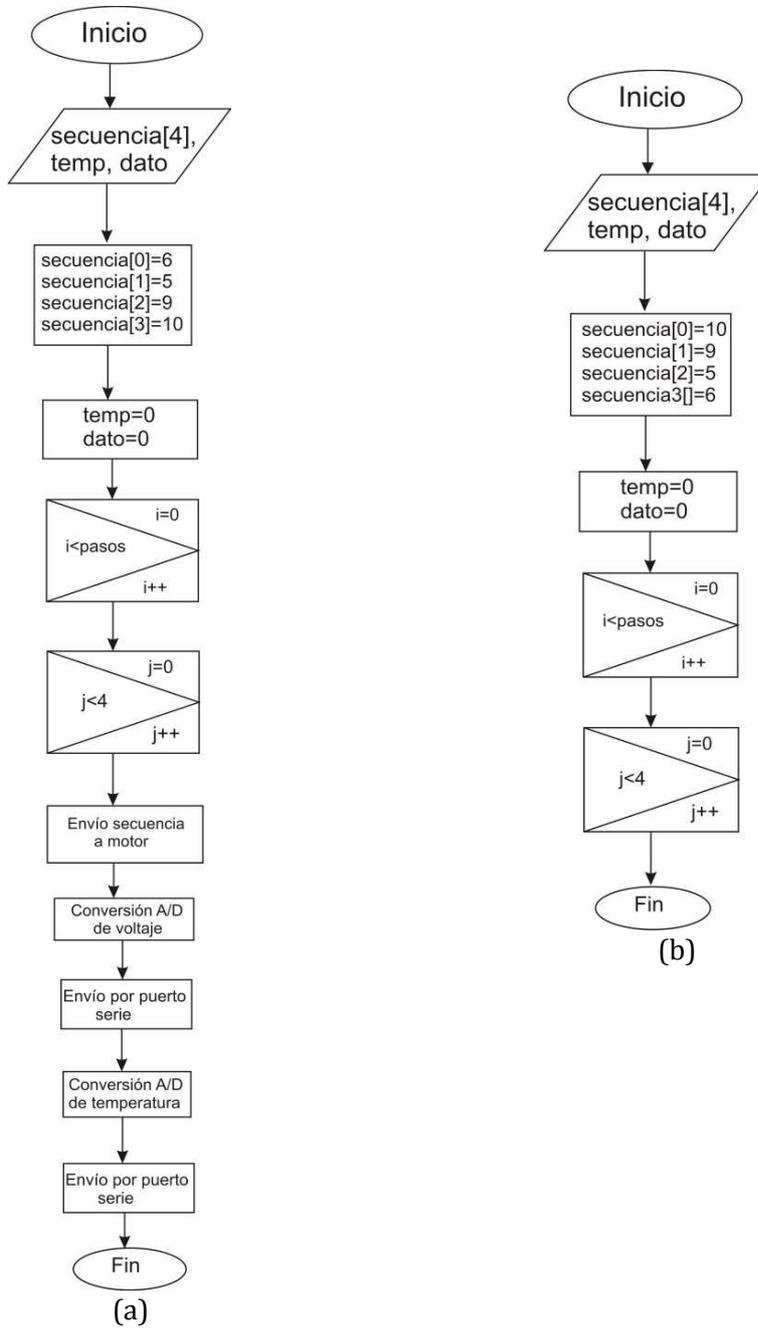


Figura B.12(a) Diagrama de flujo de la función pasos izquierda.

Figura B.12(b) Diagrama de flujo de la función pasos derecha.

A continuación se muestra el código fuente de la instrumentación.

```

/**
#####
#####
**  Filename : resistores.C
**  Project  : resistores
**  Processor : MC9S12GC32CPB16
**  Version  : Driver 01.10
**  Compiler : Metrowerks HC12 C Compiler
**  Date/Time : 18/06/2007, 07:16 p.m.
**  Abstract :
**    Main module.
**    Here is to be placed user's code.
**  Settings :
**  Contents :
**    No public methods
**
**  (c) Copyright UNIS, spol. s r.o. 1997-2004
**  UNIS, spol. s r.o.
**  Jundrovska 33
**  624 00 Brno
**  Czech Republic
**  http   : www.processorexpert.com
**  mail   : info@processorexpert.com
**
#####
#####*/
/* MODULE resistores */

/* Modulos usados para compilación */

#include "Cpu.h"
#include "Events.h"
#include "secuencia.h"
#include "AD1.h"
#include "AS1.h"
/* Modulos compartidos que se utilizan en el proyecto*/
#include "PE_Types.h"
#include "PE_Error.h"
#include "PE_Const.h"
#include "IO_Map.h"

/*Variables globales*/
int i,j;
unsigned int pasos;

/*Función retardo*/
Se crea una función retardo para controlar la velocidad del proceso
void retardo(unsigned int mseg)
{
  unsigned int i,j;
  for(i=1; i<mseg;i++)

```

```

    for(j=1;j<4600;j++);
}

```

*/\*Función pasosizq ( ) \*/*

- Crea una secuencia dando de alta el puerto secuencia:BitsIO en los pines 15, 16, 17 y 18 y se configuran de la manera siguiente: PM0, PM1, PM2/MISO y PM3/SS. Este puerto me envía la secuencia al circuito de control L293 (Figura 3.12), que a su vez activa las bobinas del motor, y genera los pasos requeridos.
- Se realiza la Adquisición de muestras de temperatura y voltaje a través del método AD1\_GetChanValue8(canal, & variable), y se envían a por el puerto serie a través del método AS1\_SendChar( variable).

```

void generador_pasosizq(unsigned int pasos )
{

```

```

    unsigned char dato, temp;
    unsigned int secuencia[4];

```

*/\*secuencia de pulsos \*/*

*Secuencia necesaria para hacer girar el motor a la izquierda*

```

    secuencia[0]= 6;

```

```

    secuencia[1]= 5;

```

```

    secuencia[2]= 9;

```

```

    secuencia[3]= 10;

```

*/\*inicialización de variables\*/*

```

    dato=0;

```

```

    temp = 0;

```

```

    for(i=0;i<pasos;i++ )

```

```

    {

```

```

        for(j=0;j<4;j++ )

```

```

        {

```

*/\*Envío de secuencia al motor a través del puerto bitsIO\*/*

```

            secuencia_PutVal(secuencia[j]);

```

```

            retardo(7);

```

```

            AD1_GetChanValue8(0,&dato); /*Conversión A/D del voltaje en canal 0*/

```

```

            retardo(5);

```

```

            AS1_SendChar(dato); /*Envío de la lectura del voltaje a través del puerto serie */

```

```

            retardo(5);

```

```

            AD1_GetChanValue8(1,&temp); /*Conversión de temperatura en canal 1*/

```

```

            AS1_SendChar(temp); /*Envío de la lectura de la temperatura a través del puerto

```

*serie \*/*

```

        }

```

```

    }

```

```

}

```

*/\*Función pasosder( )\*/*

Crea una secuencia dando de alta el puerto secuencia:BitsIO en los pines 15, 16, 17 y 18 y se configuran de la manera siguiente: PM0, PM1, PM2/MISO y PM3/SS. Este puerto me envía la secuencia al circuito de control L293 (Figura 3.12), que a su vez activa las bobinas del motor, y genera los pasos requeridos.

```

void generador_pasosder(unsigned int pasos )
{

```

```

{

```

```

    unsigned char dato;

```

```

    unsigned int secuencia[4];

```

```

/*Secuencia de pulsos */
Secuencia necesaria para hacer girar el motor a la derecha
secuencia[0]= 10;
secuencia[1]= 9;
secuencia[2]= 5;
secuencia[3]= 6;

for(i=0;i<pasos;i++ )
{
    for(j=0;j<4;j++ )

        { /*Envío de secuencia al motor a través del puerto bitsIO*/
            secuencia_PutVal(secuencia[j]);
            retardo(5);
        }
}
}

/*Cuerpo principal del programa*/
void main(void)
{
    /*** Processor Expert inicio interno, no mover este código!!! ***/
    PE_low_level_init();
    /*** Final del inicio interno Processor Expert . ***/

    /* Inicio del convertidor A/D */

    for(;;){AD1_Start()
    /* Evalua la llegada de un carácter desde el puerto serie */
    if(AS1_RecvChar(&r)==ERR_OK)
        {
            generador_pasosizq(40); /*Genera 40 pasos a la izquierda */
            generador_pasosder(40); /* Genera 40 pasos a la derecha */

        }

    /*Finaliza la secuencia que se envía al motor a través del puerto bitsIO*/
    secuencia_PutVal(0);
}
/*** Processor Expert end of main routine. NO MODIFICAR ESTE CÓDIGO!!! ***/
for(;;){}
/*** Processor Expert end of main routine. NO MODIFICAR ESTE CÓDIGO!!! ***/
}
/*** End of main routine. DO NOT MODIFY THIS TEXT!!! ***/
/* END resistores */
#####
#####
**
** This file was created by UNIS Processor Expert 2.95 [03.62]
** for the Freescale HCS12 series of microcontrollers.
**
**
#####
#####
*/

```

## APÉNDICE C

### MODELADO MATEMÁTICO

#### C.1 Introducción

En múltiples ocasiones en la práctica nos encontramos con situaciones en las que se requiere analizar la relación entre dos variables cuantitativas. Los dos objetivos fundamentales de este análisis serán, por un lado, determinar si dichas variables están asociadas y en que sentido se da dicha asociación (es decir, si los valores de una de las variables tienden a aumentar o a disminuir; al aumentar los valores de la otra); y por otro, estudiar si los valores de una variable pueden ser utilizados para predecir el valor de la otra.

Nuestro objetivo será modelar dicha relación y usar una de las variables para explicar la otra. Para tal propósito se recurrirá a la técnica de regresión.

Si sabemos que existe una relación entre una variable denominada dependiente y otras denominadas independientes.

Cuando solo existe una variable independiente, esto se reduce a una línea recta:

$$y = b_1 x + b_0$$

Donde los coeficientes  $b_0$  y  $b_1$  son parámetros que definen la posición e inclinación de la recta. El parámetro  $b_0$ , conocido como la ordenada en el origen, nos indica cuánto es  $Y$  cuando  $X = 0$ . El parámetro  $b_1$ , conocido como la Pendiente, nos indica cuánto aumenta  $Y$  por cada aumento de una unidad en  $X$ . Nuestro problema consiste en obtener estimaciones de estos coeficientes a partir de una muestra de observaciones sobre las variables  $Y$  y  $X$ . En el análisis de regresión, estas estimaciones se obtienen por medio del método de mínimos cuadrados.

#### C.2 Estimación de la Recta de Regresión

En la práctica, los cálculos relacionados con un análisis de regresión se efectúan por medio de programas de computadora. El procedimiento más objetivo para ajustar una recta a un conjunto de datos presentados en un diagrama de dispersión se conoce como "el método de los mínimos cuadrados".

Para poder crear un modelo de regresión lineal, es necesario que se cumpla con los siguientes supuestos:

1. La relación entre las variables es lineal.
2. Los errores son independientes.
3. Los errores tienen varianza constante.
4. Los errores tienen una esperanza matemática igual a cero.
5. El error total es la suma de todos los errores.

Para estimar los coeficientes por medio de mínimos cuadrados, se utilizan las siguientes fórmulas:

$$b_1 = \frac{\sum_{i=1}^n XY - \bar{y} \sum_{i=1}^n X}{\sum_{i=1}^n x^2 - \bar{x} \sum_{i=1}^n X} \quad b_0 = \bar{y} - b_1 \bar{x}$$

$$y = \frac{\sum_{i=1}^n Y}{n} \quad x = \frac{\sum_{i=1}^n X}{n}$$

Se realizo un ejercicio en el cual se alimento con 5 volts un potenciómetro lineal y se vario el voltaje en 25 ocasiones y se tomaron las 25 muestras con volmetro, en el cual la variación del voltaje era Y y las muestras X.

Si entre estas variables existiera una relación lineal perfecta, entonces todos los puntos caerían a lo largo de la recta de regresión, que también ha sido trazada y que muestra la relación promedio que existe entre las dos variables. En la práctica, se observa que la mayoría de los puntos no caen directamente sobre la recta, sino que están dispersos en torno a ella. Esta dispersión representa la variación en Y que no puede atribuirse a la variación en X.

En nuestro ejemplo, aplicando las fórmulas de la Recta de Regresión obtenemos lo siguiente:

$$b1 = \frac{\sum \text{Muestras} * \text{Voltaje} - \text{Voltaje\_promedio} * \sum \text{Muestras}}{\sum \text{Muestras} * \text{Muestras} - \text{Muestras\_promedio} * \sum \text{Muestras}}$$

$$b0 = \text{Voltaje\_promedio} - b1 * \text{Muestras\_promedio}$$

$$Y = \frac{\sum \text{Voltaje}}{n} \quad X = \frac{\sum \text{Muestras}}{n}$$

Por tanto la ecuación que caracteriza la línea de nuestro potenciómetro es la siguiente:

$$Y = .1934 - 0.1888 X$$

Muestras	Voltaje	Muestras*Voltaje	Muestras*Muestras	Muestras-promedio	Voltaje-promedio
1	0	0	1	13	2,3264
2	0,2	0,4	4		
3	0,39	1,17	9	<b>b1</b>	<b>b0</b>
4	0,58	2,32	16	0,193476923	-0,1888
5	0,77	3,85	25		
6	0,96	5,76	36	<b>Y</b>	<b>X</b>
7	1,16	8,12	49	2,3264	13
8	1,35	10,8	64		
9	1,56	14,04	81		
10	1,75	17,5	100		
11	1,94	21,34	121		
12	2,14	25,68	144		
13	2,34	30,42	169		
14	2,52	35,28	196		
15	2,73	40,95	225		
16	2,9	46,4	256		
17	3,12	53,04	289		
18	3,31	59,58	324		
19	3,5	66,5	361		
20	3,69	73,8	400		
21	3,87	81,27	441		
22	4,06	89,32	484		
23	4,25	97,75	529		
24	4,44	106,56	576		
25	4,63	115,75	625		
<b>325</b>	<b>58,16</b>	<b>1007,6</b>	<b>5525</b>		

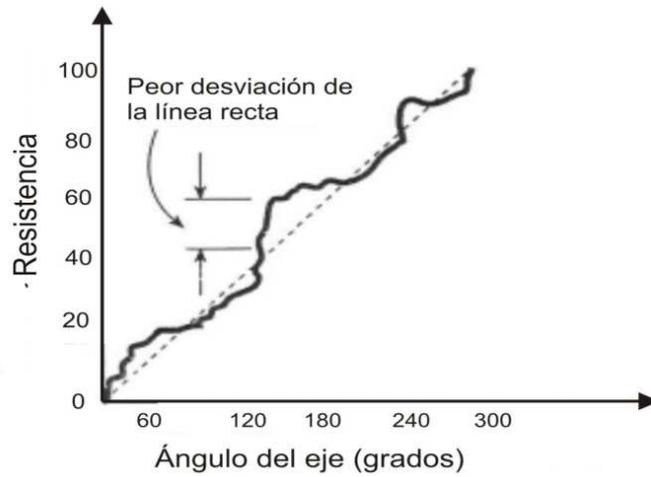


Figura C.1 Representación del comportamiento de un potenciómetro

### C.3 Modelado de potenciómetros.

El procedimiento para modelar el potenciómetro es el que se muestra a continuación:

- Se realiza la adquisición con el prototipo.
- Dichos resultados se envían al software que se creó en Labview.

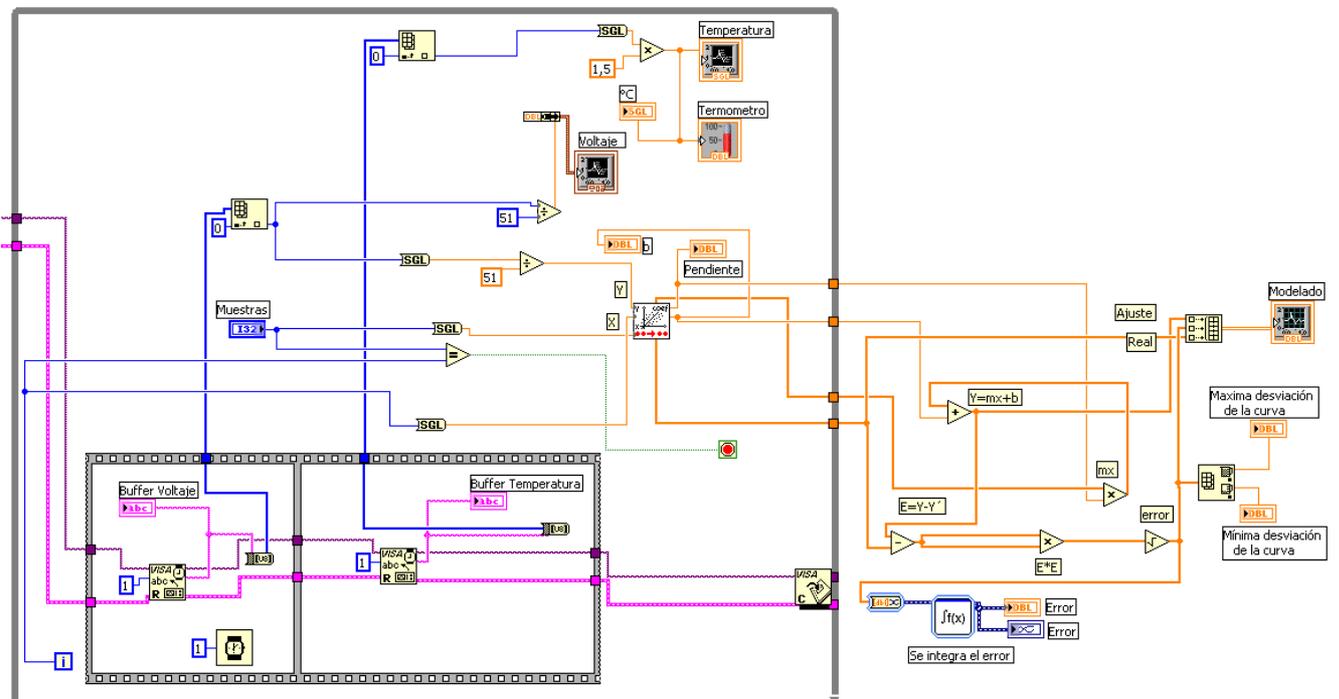


Figura C.2 Programa en Labview, para el análisis del comportamiento del potenciómetro

La caracterización del potenciómetro se muestra en la siguiente gráfica:

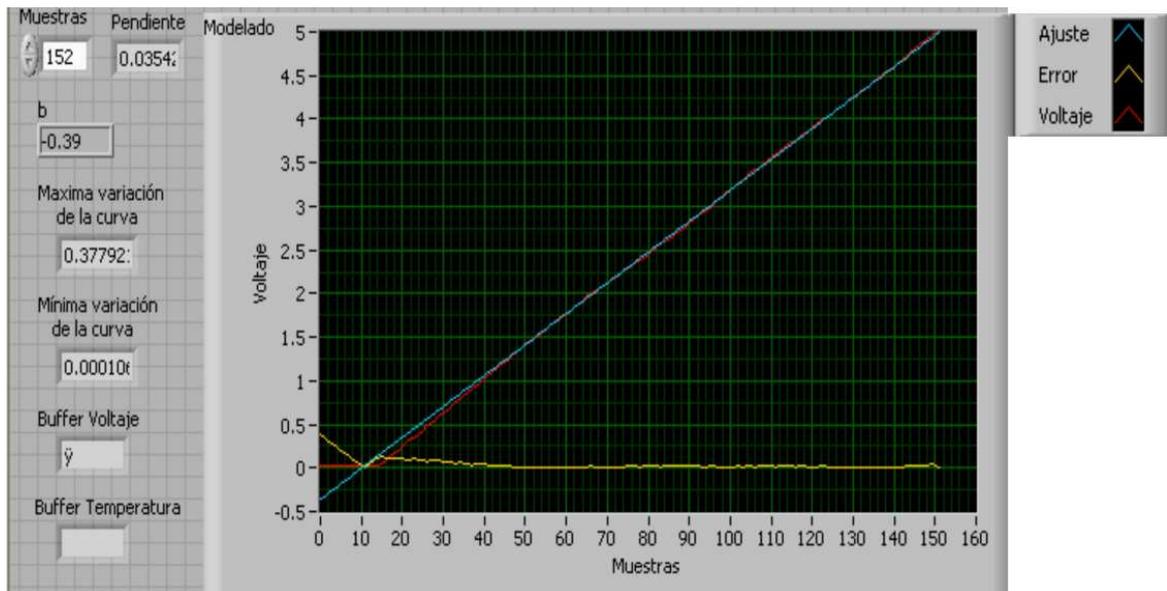


Figura C.3 Caracterización del potenciómetro

El modelado del potenciómetro sería el siguiente:

$$Y = 0.0352 X - 0.39$$