

Instituto Tecnológico de Costa Rica

Escuela de Ingeniería Electrónica



**SISTEMA DE CALIBRACIÓN AUTOMÁTICA PARA MÓDULOS DE
RESISTENCIAS**

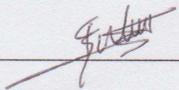
**Informe de Proyecto de Graduación para optar por el título de Ingeniero en
Electrónica con el grado académico de Licenciatura**

Marco Vinicio Delgado Umaña

Cartago, Noviembre de 2012

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA
PROYECTO DE GRADUACIÓN
TRIBUNAL EVALUADOR

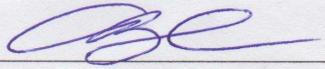
Proyecto de Graduación defendido ante el presente Tribunal Evaluador como requisito para optar por el título de Ingeniero en Electrónica con el grado académico de Licenciatura, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



Ing. Eduardo Interiano S.

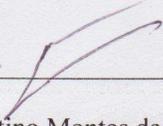
Profesor lector





Ing. Carlos Badilla Corrales.

Profesor lector



Ing. Faustino Montes de Oca M.

Profesor asesor

Los miembros de este Tribunal dan fe de que el presente trabajo de graduación ha sido aprobado y cumple con las normas establecidas por la Escuela de Ingeniería Electrónica

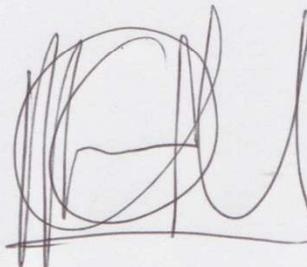
Cartago, 20 de Noviembre, 2012

Declaro que el presente Proyecto de Graduación ha sido realizado enteramente por mi persona, utilizando y aplicando literatura referente al tema e introduciendo conocimientos propios.

En los casos en que he utilizado bibliografía, he procedido a indicar las fuentes mediante las respectivas citas bibliográficas.

En consecuencia, asumo la responsabilidad total por el trabajo de graduación realizado y por el contenido del correspondiente informe final.

Cartago, 20 de noviembre 2012

A handwritten signature in dark ink, consisting of several overlapping loops and a long horizontal stroke at the bottom, characteristic of a cursive or semi-cursive style.

Marco Vinicio Delgado Umaña

Céd: 1-1337-0876

Índice General

Índice de figuras	6
Índice de tablas.....	8
Resumen.....	9
Abstract.....	10
Capítulo 1 Introducción.....	11
Capítulo 2 Meta y Objetivos.....	12
2.1 Meta	12
2.2 Objetivos	12
Capítulo 3 Marco teórico	13
3.1 Estructura jerárquica del LMVE.....	13
3.2 Descripción del proceso general de medición del LMVE	13
3.2.1 Rangos de medición	15
3.2.2 Equipo a utilizar	15
3.2.3 Método de medición.....	16
3.3 Proceso general para calibración de equipo.....	16
3.4 Calibración de resistencia	18
3.5 Validación del método de calibración con multímetro digital.....	19
3.6 Modelo matemático de medición por comparación directa para tensión, corriente y resistencia.....	20
3.7 Calibración de resistencias y cajas de resistencias.....	20
3.7.1 Puntos de medición.....	20
3.7.2 Equipo a utilizar	20
3.7.3 Fuentes de incertidumbres	21
Capítulo 4 Metodología	23
4.1 Reconocimiento y definición del problema.....	23
4.1.1 Generalidades.....	23
4.1.2 Síntesis del problema	23

4.2 Obtención y análisis de información	23
4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución	24
Capítulo 5 Descripción del <i>hardware</i>	26
5.1 Unidad central de proceso (CPU)	26
5.2 Etapa de manejo de potencia	27
5.3 Etapa de actuadores	29
5.4 Módulos de décadas de resistencia	30
5.5 Multímetro 3458A	30
Capítulo 6 Descripción de las rutinas de <i>software</i>	32
6.1 Señales de control para los actuadores.....	35
6.2 Proceso de captura de las mediciones	36
Capítulo 7 Sistema de control automático.....	37
7.1 Obtención de parámetros	37
Capítulo 8 Descripción del diseño de la estructura mecánica.	40
Capítulo 9 Montaje físico del sistema.....	43
Capítulo 10 Análisis de resultados	44
10.1 Pruebas de linealidad	44
10.2 Prueba para captura de datos por medio del puerto GPIB.....	46
10.3 Interfaz gráfica	48
10.4 Controladores de la etapa de potencia	50
Capítulo 11 Conclusiones y recomendaciones	51
Bibliografía.....	52
Apéndices	53
A.1 Glosario.....	53
Anexos	56
Anexo A Descripción de la empresa	56
Anexo B Proceso de construcción de circuitos impresos	57

Índice de figuras

Figura 3.3.1 Figura del manual de usuario de Fluke 5520A.....	18
Figura 3.3.2 Figura del manual de usuario de Fluke 5720A para la calibración de resistencia.....	19
Figura 5.0.1 Esquema general del sistema completo	26
Figura 5.2.1 Descripción del funcionamiento del puente H.....	28
Figura 5.2.2 Circuito completo para la etapa de potencia.....	28
Figura 5.4.1 Ejemplo de caja de décadas de resistencias	30
Figura 5.4.2 Diagrama eléctrico de las cajas de resistencias	30
Figura 6.0.1 Diagrama de estados del flujo del programa	32
Figura 6.0.2 Formato de archivo para la entrada de datos	33
Figura 6.0.3 Distribución de variables para la lectura de los datos de entrada	33
Figura 6.0.4 Determinación de pasos para los actuadores.....	34
Figura 6.0.5 Definición de escala	34
Figura 6.1.1 Generación de señales de control para los actuadores	35
Figura 7.0.1 Ejemplo de forma de una perilla.....	37
Figura 7.1.1 Conversión de factores.....	38
Figura 8.0.1 Pieza de acople entre el motor y la perilla	40
Figura 8.0.2 Plano de dimensiones para la pieza de acople entre el motor y la perilla	41
Figura 8.0.3 Estructura montaje de los motores	42
Figura 9.0.1 Plano físico del sistema.....	43
Figura 10.0.1 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.1	44
Figura 10.1.2 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.2	45
Figura 10.1.3 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.3	46
Figura 10.2.1 Esquema de pruebas para la captura de datos	47
Figura 10.3.1 Interfaz gráfica del sistema.....	48
Figura 10.3.2 Interfaz gráfica del sistema, pestaña información	49

Figura 10.3.3 Interfaz gráfica del sistema, pestaña datos.....	50
Figura B.1 Esquemático del circuito de potencia	57
Figura B.2 Circuito impreso de la etapa de Potencia	58
Figura B.3 Esquemático del circuito para los sensores de posición.....	58
Figura B.4 Circuito Impreso para los sensores de posición	59

Índice de tablas

Tabla 3.2.1 Rangos de medición por cada servicio.	15
Tabla 3.2.2 Equipo a utilizar por cada medición.	15
Tabla 3.7.1 Especificaciones de calibración para resistencias	20
Tabla 3.7.2 Especificaciones del equipo para calibración de resistencias	21
Tabla 5.1.1 Especificaciones técnicas del Arduino MEGA 2560.....	27
Tabla 5.2.1 Secuencia de señales digitales para generar el movimiento de los actuadores	29
Tabla 5.3.1 Especificaciones del motor paso a paso utilizado	29
Tabla 5.5.1 Especificaciones técnicas del multímetro Agilent® 3458	31
Tabla 6.2.1 Resumen de comandos GPIB utilizados.....	36
Tabla 7.1.1 Parámetros de los elementos del sistema	38
Tabla 10.1.1 Mediciones del giro del motor en función del número de pulsos generados	44
Tabla 10.1.2 Mediciones de la posición de la perilla en función del número de pulsos generados	45
Tabla 10.1.3 Mediciones de linealidad para el potenciómetro	46
Tabla 10.2.1 Mediciones obtenidas por medio de interfaz GPIB.....	47

Resumen

La utilización de técnicas de ingeniería para el diseño de procesos que automaticen un algoritmo previamente definido, surge como el principal objetivo del presente proyecto.

Específicamente, se encontrarán aspectos como diseños de etapas de manejo de potencia para controlar actuadores, así como obtención de parámetros para control a lazo cerrado.

Sin duda, las interfaces gráficas son un punto imprescindible cuando se desea vincular el diseño de hardware y la participación de los seres humanos. En el presente informe, se detallan los pasos que se siguieron para diseñar un esquema visual el cual a su vez permite ser el mando de control para el proceso que anteriormente no se encontraba automatizado.

En cuanto al marco teórico que rodea al proyecto, es necesario definir y tener claro el contexto en el cual se desarrolla el mismo, por lo tanto es necesario abarcar aspectos relacionados con calibraciones de variables eléctricas. Detalles como detalles técnicos y rutinas empleadas para realizar calibraciones, definir patrones y datos experimentales surgen como los principales puntos descritos en dentro de esa sección.

Abstract

The use of engineering techniques to design an algorithm that automate previously defined steps, has become the main objective of this project.

Specifically, aspects such as stage designs power management to control actuators and obtaining parameters for closed loop control, can be found in this document.

Undoubtedly, the graphic interfaces are an essential point when you want to link the hardware design and the involvement of human beings. In this report, details as the steps followed to design and the visual schemev of control for the process (that was not previously automated), can be found.

Regarding the theoretical framework surrounding the project, you must define and be clear about the context in which it develops, therefore it is necessary to cover aspects of electrical calibrations. Details such as technical details and routines used for calibration, and experimental data to define patterns emerge as the main points described in that section.

Capítulo 1 Introducción

El control automático, rama de la Ingeniería Electrónica, tiene múltiples campos de aplicación. Para muchos de los casos, su objetivo radica en el diseño de sistemas que realicen una tarea repetitiva, es decir, un proceso en el cual uno o más pasos son de carácter iterativo.

La calibración y medición de parámetros en equipo eléctrico, es indispensable para asegurar el buen funcionamiento de los mismos.

Es por esta razón, que surge el interés por parte del Instituto Costarricense de Electricidad (ICE) en contar con un laboratorio especializado en calibración y medición de parámetros en equipo eléctrico (impedancia, corriente y tensión eléctrica entre otras), llamado Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas (LMVE) [4].

El proceso para realizar mediciones, se encuentra validado por el Ente Costarricense de Acreditación (ECA) y lo hace mediante normas técnicas y procedimientos que incluyen la configuración de los equipos (multímetros, calibradores, etc.) las conexiones necesarias y otros detalles pertinentes. Estas normas, contienen pasos a seguir para garantizar que los resultados sean confiables.

Además de la acreditación por parte del ECA, otros procesos se encuentran validados por comparaciones inter-laboratorio. Esto consiste en la comparación de resultados con otros laboratorios que se encuentran mejor posicionados en cuanto a jerarquía.

Para el caso específico de la medición de resistencia en las cajas de décadas, el proceso se torna lento y repetitivo, debido a que se debe realizar el cambio manual en la posición de las perillas, y así variar el valor entre los terminales de la caja [11].

Es por esto, que se requiere de un sistema agilice este proceso de medición, de manera que se realice de manera autónoma, y que el usuario, en este caso el metrólogo o encargado técnico, tenga la menor interacción posible.

El prototipo diseñado e implementado, permite ahorrar tiempo cuando se realizan mediciones a las cajas de resistencias, producto de la incorporación de elementos tales como: interfaz gráfica intuitiva, conexión vía USB, automatización del proceso y facilidad de configuración.

Anteriormente, una calibración de cajas de resistencias podía tomar hasta tres días, en cambio con el sistema de calibración automática diseñado, se puede realizar en un tiempo de aproximadamente tres horas, dependiendo de la cantidad de mediciones y de los puntos de prueba requeridos por el cliente.

A continuación, se presenta un informe en cual se abarcan algunos aspectos como: el proceso de diseño en ingeniería [8] (realizado alrededor del desarrollo del sistema anteriormente descrito), metodología, resultados obtenidos, análisis y conclusiones.

Capítulo 2 Meta y Objetivos

2.1 Meta

Disminuir el tiempo destinado a la tarea de realizar mediciones con los módulos de resistencias, además de reducir el error en los datos obtenidos a partir de estas mediciones.

2.2 Objetivos

2.2.1 Objetivo General

Construir un sistema de control automático para realizar mediciones a cajas de décadas de resistencias.

2.2.2 Objetivos Específicos

1. Desarrollar una interfaz de software, que permita interactuar con el sistema.
2. Construir un prototipo que permita controlar los actuadores encargados de mover las perillas.
3. Mejorar la solución propuesta por parte del cliente.

Capítulo 3 Marco teórico

3.1 Estructura jerárquica del LMVE

El personal está compuesto por un responsable técnico, un gestor de calidad y metrólogos encargados de realizar las tareas en los laboratorios.

El responsable técnico, funge como el encargado de asegurar la validez de los resultados, y la aplicación de los procedimientos.

El gestor de calidad, se encarga de validar los procesos por medio del manual de calidad, incluyendo manuales y normas técnicas para la aplicación de procedimientos, así como ser el responsable de tomar acciones producto de las auditorías que se realicen al laboratorio.

Por su parte, los metrólogos se encargan de aplicar los conceptos ingenieriles para realizar medidas de magnitudes específicas [2].

3.2 Descripción del proceso general de medición del LMVE

A continuación, se describe el procedimiento seguido por parte del laboratorio en cuanto a su funcionamiento general.

1. El personal técnico del laboratorio recibe el OBP, efectúa una inspección visual del estado en que se encuentra el instrumento así como pruebas generales de encendido y funcionamiento.

2. El metrólogo asignado para esta calibración, debe en las veinticuatro horas siguientes al ingreso del equipo al laboratorio, realizar las siguientes operaciones básicas:

i. Si el equipo está equipado con batería, el metrólogo comprobará su estado y en caso necesario procederá a pedirle al cliente su sustitución.

ii. El laboratorio no realiza mantenimiento del dispositivo receptor de baterías (limpiezas cuando hay restos de baterías regadas o conectores oxidados).

iii. Si el equipo está equipado con fusibles con acceso externo, el metrólogo comprobará su estado y en caso necesario procederá a pedirle al cliente su sustitución.

iv. Para un OBP que ocupe alimentación para su funcionamiento, en todo momento la alimentación se realiza en tomacorrientes conectados a protección (por ejemplo UPS).

v. Siempre que sea posible se realiza la conexión a tierra para protección evitando cualquier lazo.

vi. El metrólogo comprobará al menos un punto en cada función a calibrar del OBP.

3. El metrólogo realiza las siguientes operaciones previas a la calibración del OBP:

- i. Mantener el objeto en las condiciones generales del laboratorio durante al menos tres horas antes de realizar la calibración ó lo que indique el manual de usuario. En algunos casos el objeto deberá ambientarse encendido de acuerdo a lo indicado en el manual de usuario.
- ii. En la PC que utilice para hacer la calibración, guarda el archivo con el nuevo número de certificado como nombre con el formato indicado en el procedimiento para *Uso y Manejo del Archivo de Gestión*.

4. Durante el proceso de calibración:

- i. Para minimizar los errores de lazo a tierra, se debe conectar el OBP y el patrón a la misma fuente de alimentación.
- ii. El metrólogo verifica que la temperatura ambiente esté en el ámbito máximo de $(23 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, la humedad relativa se encuentre en el ámbito de $(50 \pm 20) \%$ y la tensión de alimentación de la red eléctrica sea $(120 \pm 12) \text{V}$.

Nota: Cada área metrológica puede ajustar los ámbitos anteriormente especificados según lo indiquen las instrucciones de trabajo, los manuales de uso de los patrones del LMVE ó de los OBP.

Nota: Para la calibración de resistencias altas, la humedad relativa debe estar en el rango de $(45 \pm 5) \%$.

- iii. Solo se realizará la calibración para equipos que operen con la tensión de línea especificada o con baterías o que incorporen un transformador apropiado a estas condiciones.
- iv. El metrólogo anota para el certificado de calibración, los datos de temperatura ambiente, humedad relativa y tensión de alimentación como mínimo al iniciar la calibración.

5. Si las hojas de cálculo son creadas a partir de programas de calibración desarrollados por ó para el laboratorio ó adaptadas para ser ejecutadas según indica la IT, entonces:

- i. El metrólogo ejecuta la instrucción de trabajo correspondiente al objeto bajo prueba.
- ii. El metrólogo tomará al menos 10 lecturas para cada punto de medición de los OBP.
- iii. Para objetos como cronómetros/relojes/temporizadores, megóhmetros y/o medidores de tierra; se tomarán 5 lecturas por cada punto de medición y en caso de que no existan variaciones en la indicación de salida del objeto bajo prueba será suficiente con anotar una sola lectura. El metrólogo debe anotar si las lecturas son coincidentes.
- iv. Para las magnitudes: corriente, tensión y resistencia, en los casos en que el LMVE cuente con los certificados de calibración de sus respectivos patrones, se aplicará la corrección sistemática del error para cada uno, en los puntos de calibración correspondientes.

6. El metrólogo revisa la consistencia de los datos con la calibración anterior, si la hubo, con datos de repetición de esta calibración o si hay datos evidentemente anormales. En caso necesario repite la toma de datos de los puntos de prueba anormales. Si algún

problema persiste sigue los pasos definidos en el procedimiento para trabajos no conformes, acciones correctivas y acciones preventivas y/o oportunidad de mejora.

Nota: El cliente puede ser invitado al laboratorio para que revise los resultados y presencie la verificación de los puntos en cuestión, y tenga seguridad plena de los valores que se van a reportar.

7. Una vez finalizada la calibración, el metrólogo embala el equipo en las mismas condiciones en que llegó al ICE [2].

3.2.1 Rangos de medición

A continuación, en la tabla 3.2.1 se muestran los rangos de medición por cada servicio que brinda el laboratorio [2]:

Tabla 3.2.1 Rangos de medición por cada servicio.

Servicio de medición	Rango
Tensión directa	10 mV hasta 1 000 V
Resistencia	1 Ω hasta 1 G Ω
Corriente directa	10 nA hasta 1 A, con Multímetro digital 1 A hasta 10 A, con el <i>shunt</i> + Multímetro digital
Tensión alterna	10 mV hasta 1 000 V en Frecuencias de 1 Hz hasta 1 MHz
Corriente alterna	10 μ A hasta 1 A en frecuencias de 10 Hz hasta 100 kHz. 1 A hasta 10 A en frecuencias calibradas del <i>shunt</i> , con el <i>shunt</i> + Multímetro Digital.

3.2.2 Equipo a utilizar

A continuación, en la tabla 3.2.2 se muestran las características básicas de los instrumentos utilizados en el laboratorio, para realizar mediciones y calibraciones [3].

Tabla 3.2.2 Equipo a utilizar por cada medición.

Equipo	Especificaciones mínimas	Modelo recomendado
Multímetro digital	8 ½ dígitos	Agilent 3458 A
Shunt	10 A, 100 mV	Fluke 80J-10
Cables conectores	Tipo banana-banana	Fluke RG-58/V (738716) HP 11000 A Pomona B-4 Pomona B-18 Pomona B-36 Pomona B-40 POMONA 2BC-24 1 000 V HCK 30VCA-160VCD-30A
Computadora	MS Excel 2000 o superior, puerto USB o puerto GPIB	N.A.
Programa de calibración automatizada	Comunicación por comandos GPIB o RS-232	SMCA, METCAL u otro

3.2.3 Método de medición

1. Por comparación directa: consiste en la utilización de un instrumento de medición, es decir, se compara la magnitud a medir con una de la misma naturaleza.

2. Por comparación indirecta: se basa en generar una corriente conocida de pequeño valor mediante el objeto sujeto a calibración. Esta corriente se alimenta a un *shunt*, que está directamente conectado a las entradas de medición de tensión del multímetro digital. La corriente generada es “traducida” a un valor de tensión y matemáticamente se hace la conversión a corriente para reportar al cliente. [2] [3]

3.3 Proceso general para calibración de equipo

- Verifique que la etiqueta de calibración del equipo patrón indique que la fecha no haya vencido.

- El OBP se puede someter previo a la calibración, a un ensayo de funcionamiento:

Algunos OBP tienen incorporada un rutina de auto ensayo o auto-diagnóstico de operación, ejecútela y verifique que todo funcione bien, en caso contrario consulte el manual o informe al cliente.

Si el OBP, no tiene esta opción, antes de iniciar la calibración se pueden realizar algunos ensayos básicos para comprobar que el OBP opera normalmente y no presenta un mal funcionamiento que atente contra la integridad de los patrones, esto por ejemplo por medio de:

- i. Tensión DC: Genere un valor de tensión de 1,5 voltios y médalo con el multímetro digital.
- ii. Resistencia: Genere un valor de resistencia, por ejemplo de una serie de resistencias (1 Ω , 10 Ω , 100 Ω , 1 000 Ω , 10 k Ω , 100 k Ω) y mida con el multímetro digital a dos y cuatro hilos.
- iii. Tensión AC: Genere una tensión correspondiente a la tensión de la línea de alimentación, 60 Hz, 120 VAC y médalo con el multímetro digital.

- En caso de detectar algún mal funcionamiento no proceda con la calibración hasta tanto no se repare o solucione el problema. Se debe notificar al cliente.
- Si se realiza un cambio en las conexiones o se coloca un puente para hacer un cortocircuito, se debe esperar al menos 3 minutos o más para alcanzar un equilibrio térmico y disminuir las FEM, esto es crítico cuando se opera a tensiones muy bajas.
- Previo a la calibración y en la etapa de inspección es recomendable hacer pequeños movimientos a los cables para detectar cualquier efecto adverso en la instalación como lo son campos magnéticos externos significativos, cables de conexión inapropiados o en mal estado.
- Antes de empezar las calibraciones, algunos patrones tienen incorporada un rutina de auto ensayo o auto-diagnóstico de operación, ejecútela y verifique que todo funcione bien, esta rutina está descrita en el manual de operación del patrón.
- En cada uno de los puntos de medición definidos se tomarán 10 mediciones.
- Los conectores de salida del OBP a calibrar deben conectarse a los terminales de entrada del multímetro digital, dependiendo de la función a calibrar, siguiendo las instrucciones dadas en los manuales de operación de ambos instrumentos. Si el OBP tiene borne de guarda y borne de tierra debe hacerse una sola conexión de todo el circuito de guarda a tierra, asegurándose que haya uno y solo un punto de conexión del circuito a tierra, como se muestra en la figura siguiente, tomada como ejemplo del manual de usuario de Fluke 5520 A.

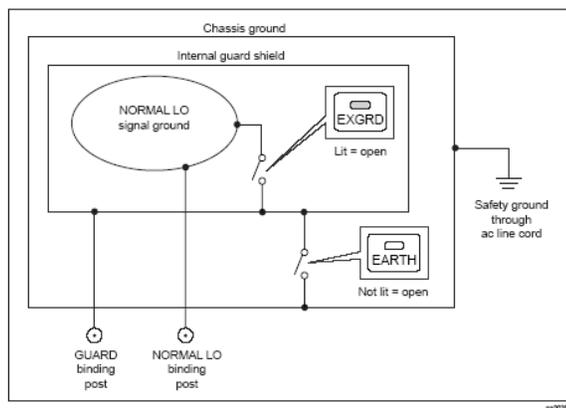


Figure 4-1. EARTH and EXGRD Internal Connections

Figura 3.3.1 Figura del manual de usuario de Fluke 5520A

- En la medida de lo posible use cables blindados, con conectores de bajo potencial termoeléctrico, preferentemente siendo su longitud tan corta como sea posible y del tipo entrelazado.
- Evite mover las conexiones durante la toma de lecturas.
- Si el OBP a calibrar tiene borne de guarda, se debe conectar a dicho borne un extremo del blindaje de los cables de medición mientras que el otro extremo debe conectarse al borne de guarda del multímetro digital.
- Los cables de alimentación tanto del multímetro digital como del OBP a calibrar deben estar conectados a la misma tierra, por lo que se recomienda que ambos sean conectados a la misma caja de tomacorrientes.
- Si es posible configurar el OBP en varias formas de generación (cambiando la resolución o la velocidad de generación, generación a dos o cuatro terminales, etc.), elija para la calibración, la que presente, según el manual del fabricante, las mejores especificaciones (que es usualmente la más lenta y con mejor resolución).
- Si se utiliza un programa comercial de calibración automatizada siga las instrucciones que indica el programa. [2]

3.4 Calibración de resistencia

Se sigue una serie de pasos específicos para la calibración de cada magnitud, se procederá a describir la correspondiente a resistencia debido a que como parte del proyecto, es la más importante.

Para realizar la calibración en resistencia se conecta la entrada de resistencia del multímetro digital a los bornes de salida de resistencia del OBP, utilizando la configuración mostrada en la siguiente ilustración.

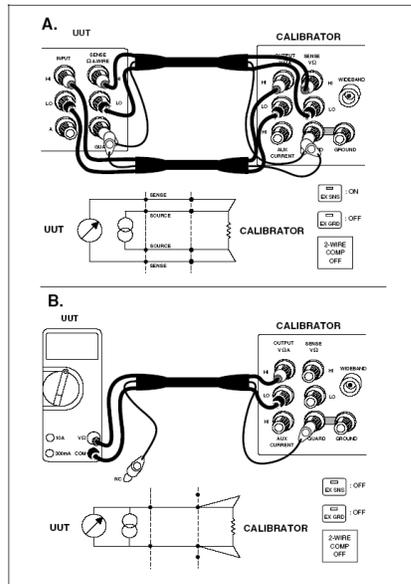


Figure 4-4. UUT Connections: Resistance

Figura 3.3.2 Figura del manual de usuario de Fluke 5720A para la calibración de resistencia

Las conexiones a realizar para la calibración del OBP en resistencia depende del tipo de OBP (si permite hacer mediciones a dos o cuatro hilos) y del valor de la resistencia. [11]

3.5 Validación del método de calibración con multímetro digital

El método de calibración con multímetro digital se puede validar a través de:

- Calibración usando patrones de referencia o materiales de referencia.
- Comparación de resultados obtenidos con otros métodos.
- Comparaciones interlaboratorio.
- Evaluación sistemática de los factores que tienen influencia en el resultado.
- Evaluación de la incertidumbre de los resultados basada en el conocimiento científico de los principios teóricos del método y en la experiencia práctica.

Este método de calibración se usa para proveer trazabilidad al SI, a los equipos que generan tensión, corriente y resistencia a través de patrones calibrados.

Inicialmente el LMVE validará el método a partir de la evaluación de la incertidumbre de los resultados, basados en el conocimiento del método y la experiencia. A su vez, se realizará la evaluación sistemática de los factores que tienen influencia en el resultado.

Por ello, la validación de métodos se respaldará mediante esta técnica, empleando exhaustivamente argumentos descritos y desarrollados, análisis de resultados de experimentos, evaluaciones, caracterizaciones y, en general, datos que permitan determinar la validez del método. [3]

3.6 Modelo matemático de medición por comparación directa para tensión, corriente y resistencia

Para cada medición, se calcula el error de la siguiente forma:

$$\%E_r = \frac{V_{apl(obj)} - V_{med(patrón)} \cdot (1 - e_{patrón})}{V_{med(patrón)} \cdot (1 - e_{patrón})} \cdot 100$$

Donde:

$V_{apl(obj)}$: Valor aplicado por el objeto sujeto a calibración.

$V_{med(patrón)}$: Valor medido por el patrón.

$\%E_r$: Porcentaje de error generado por el objeto sujeto a calibración.

$e_{patrón}$: factor de corrección del patrón. [11]

3.7 Calibración de resistencias y cajas de resistencias.

3.7.1 Puntos de medición

Tabla 3.7.1 Especificaciones de calibración para resistencias

Servicio	Rango	Observaciones
Resistencias bajas	0.1 Ω hasta 1 M Ω	Por comparación directa, en tensiones de 1V hasta 1000 V
	1 M Ω hasta 10 M Ω	
Resistencias altas	10 M Ω	Por sustitución, en 1V
	100 M Ω	Por sustitución en 1V
	1 G Ω	Por sustitución en 10V
	10 G Ω	Por sustitución en 100 V
	100 G Ω	Por sustitución en 1000 V

3.7.2 Equipo a utilizar

Tabla 3.7.2 Especificaciones del equipo para calibración de resistencias

Equipo	Especificaciones mínimas	Modelo recomendado
Multímetro digital	8 ½ dígitos	Agilent 3458 A
Teraóhmetro digital	Rango de resistencia de 100 kΩ a 100 PΩ, tensión de prueba de 1 a 1000 V	Guildline 6520
Cables conectores	Tipo BNC – N	30053-01-21 Rev. D
	Tipo Triaxial – N	30054-01-21 Rev. D
	Tipo Banana-BNC (Macho)	Pomona 3954
	Tipo Banana-Banana	Pomona B-4 Pomona B-8 Pomona B-36
	Tipo Banana- BNC (Hembra)	Pomona 3073
Conectores	Tipo N-BNC	N.A.
Computadora	MS Excel 2000 o superior, puerto USB o puerto GPIB	N.A.
Programa de calibración automatizada	Comunicación por comandos GPIB ó RS-232	SMCA o superior

En caso de duda se sustituye la resistencia o caja de resistencias por el calibrador multifunción patrón del LMVE o las resistencias patrón del LMVE. [11]

3.7.3 Fuentes de incertidumbres

A continuación, se explican las fuentes de incertidumbre asociadas a las mediciones de resistencia.

- Incertidumbre por variación estadística de los datos leídos: se tomarán como mínimo 10 lecturas en las mismas condiciones de medida. Se calculan los estimadores estadísticos que caracterizan la dispersión de los datos obtenidos. La incertidumbre típica

corresponderá a una distribución normal y su valor será: $\frac{\text{desv. estándar}}{\sqrt{n}} * t_{n-1, 68\%}$

- Incertidumbre por especificación del patrón: del manual de usuario del patrón utilizado se toma la especificación o del certificado de calibración del patrón. La incertidumbre típica corresponderá a una distribución normal y su valor será: $\frac{\text{espec. del patrón}}{k}$; tomar en cuenta el nivel de confianza de la especificación para convertirla al 68%.
- Incertidumbre por resolución del multímetro / teraohmetro: es despreciable porque los datos obtenidos por GPIB o RS-232 tienen una mayor resolución que la de pantalla del multímetro / teraohmetro, además esta resolución está muy por debajo de las especificaciones del multímetro / teraohmetro.
- Incertidumbre por errores debidos a los cables y las resistencias de contacto: para evitar incertidumbres por errores de los cables o las resistencias de contacto, usar los cables triaxial a BNC y BNC a N, para las mediciones en resistencia con el teraohmetro. Usar los cables Fluke RG-58/V (738716), para las mediciones en resistencia con el multímetro. Para uso de otros cables o uso de conectores extra, se debe medir el efecto de los cables y los conectores y tomarlo en cuenta en los cálculos de incertidumbre.
- Incertidumbre debida a la variación de temperatura durante el proceso de calibración: La temperatura del LMVE se monitoriza durante todo el proceso de calibración para garantizar que se encuentra dentro de los límites declarados (23 ± 2) °C. De las especificaciones del fabricante conocemos el coeficiente de temperatura de las resistencias patrón de alto valor, α . La incertidumbre típica corresponderá a una distribución rectangular y su valor será: $\frac{\alpha * \Delta T}{\sqrt{3}} * R_{\text{patrón}}$
- Incertidumbre debida a la deriva de la Resistencia patrón de alto valor: de su historia, de las especificaciones del fabricante o bien de otras fuentes de información como otros laboratorios. La incertidumbre típica corresponderá a una distribución rectangular y su valor será: $\frac{D}{\sqrt{3}}$
- Incertidumbre debida a la utilización de la resistencia patrón de alto valor a una tensión distinta del que fueron calibradas: se debe corregir el valor de resistencia certificado, haciendo uso del coeficiente de tensión (C_v) declarado por el fabricante, en caso de utilizar la resistencia patrón de alto valor a otro valor de tensión del que fueron calibradas. La incertidumbre típica corresponderá a una distribución rectangular y su valor será: $\frac{C_v * \Delta V}{\sqrt{3}} * R_{\text{patrón}}$ [11]

Capítulo 4 Metodología

La metodología utilizada para el desarrollo del proyecto, se basa en el proceso de diseño de ingeniería. Este método, se basa principalmente en la reevaluación de alternativas para optar por una solución, que cumpla con los requerimientos y objetivos propuestos.

Como paso número uno, se debe definir el problema, de manera que sus alcances queden delimitados.

4.1 Reconocimiento y definición del problema

4.1.1 Generalidades

Como se da a conocer en el anexo A, (Entorno del proyecto), el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas, consta de dos secciones, y el problema reside en la sección dedicada a medición de impedancia.

El problema, radica a la hora de realizar mediciones de resistencia, en particular utilizando cajas de décadas de resistencias; debido a que se cuenta con un arreglo muy grande de perillas, las cuales determinan los valores en ohmios. Esto implica realizar combinaciones de valores que se vuelven inmanejables, ya que se deben hacer manualmente.

La situación anteriormente descrita, genera problemas asociados con el tiempo destinado para la tarea de medición de estos módulos (de resistencias). Esto desencadena también en que muchas veces se comentan errores en la introducción de valores; por ejemplo, que se lleve la perilla a una posición que no es la deseada.

4.1.2 Síntesis del problema

El tiempo destinado a la elaboración de mediciones con módulos de décadas de resistencias es muy prolongado.

4.2 Obtención y análisis de información

Como un primer paso, se investigó acerca de la existencia de un artefacto que automatizara el proceso de mover perillas, sin embargo no se encontró un sistema similar.

Seguidamente, se indagó acerca de los procesos de medición utilizados en el departamento donde se realizó el proyecto. Esto para conocer acerca de los pasos seguidos cuando se disponen a realizar mediciones a este tipo de dispositivos. Este procedimiento, se detalla en la sección de marco teórico.

En cuanto a la obtención de parámetros del proceso que se desea automatizar, se hizo una medición de la longitud de los módulos, para posteriormente adaptarles el mecanismo que permita hacer girar las perillas.

Así mismo, se hicieron reuniones con los encargados del Laboratorio, para discutir sobre los requerimientos y alcances del sistema. De esta manera, se obtuvo información acerca de lo que se espera del prototipo final.

4.3 Evaluación de las alternativas y síntesis de la solución

La solución del problema, se realizó mediante el diseño de un sistema que cumpliera los requerimientos establecidos en las etapas anteriores del proceso de diseño.

Como primer paso, se dividió la solución en cuatro etapas, estas son: diseño de interfaz gráfica para interacción con el usuario, rutinas de funcionalidad del sistema (programa del microprocesador), etapa de manejo de potencia y diseño de la estructura mecánica para acoplar los módulos de resistencias con los ejes de los motores.

En cuanto a la interfaz gráfica para la interacción con el usuario, se tomaron en cuenta los requerimientos establecidos cuando se recopilación de información, de manera que los aspectos más importantes como: cargar las combinaciones deseadas, guardar los datos medidos e incluir las instrucciones de uso estuvieran presentes en el prototipo.

En cuanto a la evaluación de las alternativas para la interfaz gráfica, básicamente se definió una estructura inicialmente, y se le hicieron pequeños cambios en cuanto a forma y fondo.

Como primer modelo, se tenía un panel en el cual se seleccionaba la perilla a mover y al valor que se deseaba llevar. Sin embargo, se tenía el problema de que el funcionamiento del sistema dependía de una persona que estuviera indicando las combinaciones deseadas.

Después de realizar varias modificaciones, se obtuvo el prototipo final, el cual carga un archivo de texto con las combinaciones especificadas para cada modelo, de manera que no requiera de una persona para que indique los valores deseados.

La etapa de diseño de las rutinas para el microcontrolador, va estrechamente relacionada con el diseño de la interfaz gráfica, ya que por medio de indicadores, cuadros de introducción de texto y otros, se captura información para el funcionamiento del algoritmo.

Se evaluaron alternativas en cuanto a la introducción de los datos, asociadas principalmente a la extensión de los archivos (.txt, .csv). También, se evaluó el uso de diferentes secuencias en las rutinas, correspondientes al flujo del programa. Por ejemplo: asignaciones de pines para salidas de señales (señales de control para bobinas de motores), lectura de entradas analógicas y captura de datos.

El prototipo final de la rutina de software del microprocesador, se detalla en la sección de descripción del software.

En la etapa diseño de manejo de potencia, fue donde se tuvo mayor evaluación de alternativas. Inicialmente se utilizó la tecnología bipolar (BJT) para manejar las señales de corriente que debían pasar a través de las bobinas de los motores. Sin embargo, debido a la magnitud de la corriente, el sistema se calentaba en exceso, inclusive con la presencia de disipadores. Analizando los circuitos, se llegó a la conclusión que debido a la alta resistencia que se forma entre el emisor y colector (alrededor de 10 K Ω), a la hora de que el transistor entre en la región de saturación se disipa mucha potencia en los componentes.

Así que se cambió de tecnología, para así utilizar transistores de efecto de campo (MOSFET), los cuales presentan características favorables con los requerimientos del sistema. [9]

Debido a la implementación del sistema de manejo de potencia con transistores Mosfet, se presentaba un problema de incompatibilidad con la tecnología TTL para activar y desactivar los caminos que debía seguir la corriente según correspondiera. Es por esto, que el diseño inicial con optoacopladores activando el puente H, no funcionaba de la manera adecuada.

Aunado a esto, se presentó el problema de que las señales provenientes del microprocesador cambiaban muy rápido para los optoacopladores (*slew rate*) los cuales presentaban un tiempo de encendido y apagado en el orden de los microsegundos. En cambio por parte de los mosfet, este tiempo se reducía mucho, teniendo tiempos de apagado y encendido en el orden de los nanosegundos.

Capítulo 5 Descripción del *hardware*

El sistema completo, se dividió en tres módulos principales de hardware los cuales se interconectan para desempeñar las funciones del sistema completo.

Estos tres módulos son: Unidad central de proceso, etapa de manejo de potencia y etapa de actuadores.

Se procederá a explicar la implementación de cada uno de estos módulos, destacando características, así como entradas y salidas de cada uno.

En la figura 5.0.1, se sintetiza el modelo completo, incluyendo cada etapa de hardware, así como su relación y conexión.

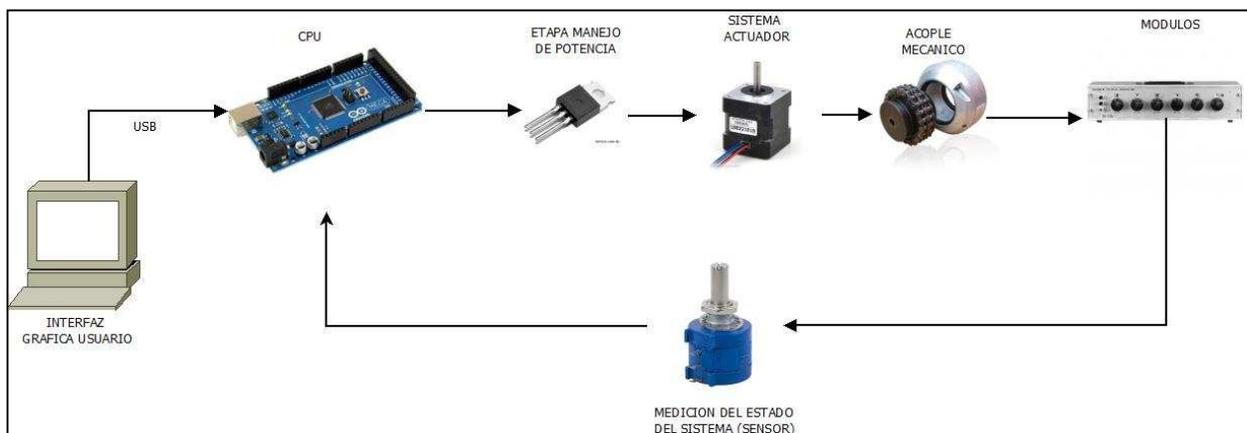


Figura 5.0.1 Esquema general del sistema completo

5.1 Unidad central de proceso (CPU)

Consiste en la parte medular del sistema, se encarga de ejecutar las rutinas de proceso.

La comunicación con la PC, se realizó por medio de una interfaz serie tipo USB, que permite la sincronización y el intercambio de datos.

La implementación de este módulo, se realizó en un kit de desarrollo marca Arduino®, específicamente el modelo MEGA 2560. Este sistema se encuentra basado en un microprocesador ATmega2560. En la tabla 5.1.1, se resumen las características más destacadas de este componente:

Tabla 5.1.1 Especificaciones técnicas del Arduino MEGA 2560

Característica	Valor
Tensión de operación	5 V
Tensión de entrada	7 – 12 V
Entradas y salidas digitales	54
Salidas PWM	14
Entradas analógicas	16
Corriente por entrada/salida	40 mA
Corriente por el pin de 3.3 V	50 mA
Memoria flash	256 KB
Memoria SRAM	8 KB
EEPROM	4KB
Frecuencia del oscilador	16 MHz

Además de estas características, destaca la protección de sobrecorriente para el puerto USB, el cual protege a la computadora de corrientes altas y de corto circuitos.

El microprocesador ATmega 2560, posee un convertidor de USB a serie, lo que permite utilizar este protocolo para generar comunicación entre la computadora y el sistema.

Posee arquitectura AVR, desarrollada por la compañía Atmel®, y además conjunto de instrucciones RISC.

Para el procesamiento de la información proveniente de los sensores, fue necesario utilizar el convertidor analógico digital, el cual posee una resolución de 10 bits, además de utilizar un multiplexor para seleccionar la entrada correspondiente a la lectura. [10]

5.2 Etapa de manejo de potencia

El diseño de esta etapa, fue necesario para manejar los actuadores, ya que la unidad central de proceso por sí sola, no es capaz de entregar la potencia necesaria para mover motores.

Dentro de las características del sistema de manejo de potencia, se debe considerar los requerimientos de los actuadores, entre los cuales destacan, una corriente por fase de dos Amperios, así como una tensión de quince voltios en corriente directa.

En cuanto a la frecuencia de conmutación, el sistema debió ser capaz de soportar una conmutación de veinte Hertz.

El modelo electrónico que se utilizó para la conmutación de la corriente en cada una de las bobinas del motor, se denomina puente H. Este modelo, se puede implementar de diversas maneras, utilizando tecnología TTL o Mosfet. El principio de funcionamiento, se basa en crear distintos caminos para la corriente en las bobinas, utilizando transistores como interruptores. [1] De esta manera, mediante la unidad central de procesamiento, se generan las combinaciones para encender y apagar los transistores de forma que el actuador genere el movimiento adecuado. [9] En la figura 5.2.1, se muestra el concepto básico de funcionamiento para el puente H.

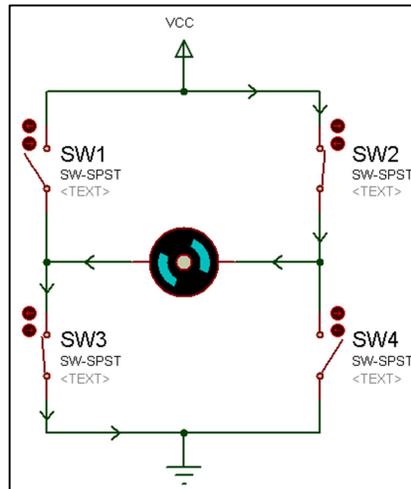


Figura 5.2.1 Descripción del funcionamiento del puente H

Utilizando como ejemplo el caso de la figura 5.2.1, se muestra la situación para uno de los posibles caminos de la corriente, en la cual el interruptor 1 y 4 (SW1 y SW4), se encuentran abiertos; mientras que el 2 y 3 (SW2 y SW3) se encuentran cerrados, permitiendo el paso de la corriente desde la fuente hasta tierra, pasando por la bobina del motor.

Para el caso de la implementación, se utilizaron transistores tipo mosfet, que por sus características eléctricas permiten drenar altas corrientes (en el orden de las decenas de amperios), además de la baja potencia que demandan en cuanto a su polarización, lo cual permite tener un sistema que maneja altas corrientes a bajas temperaturas [9].

En cuanto al diseño, se utilizó un arreglo complementario de transistores mosfet, en cada rama del puente H, lo cual facilita el control de la conmutación de estados y con esto la generación de combinaciones necesarias para dar vuelta al motor.

Ahora bien, el accionamiento del puente H en un estado u otro, se realizó por medio de transistores mosfet canal n, ya que presentan alta velocidad de respuesta, y por ende un aspecto beneficioso para el tipo de salida que presenta el control (microprocesador). A continuación se presenta el diagrama completo de la etapa de potencia.

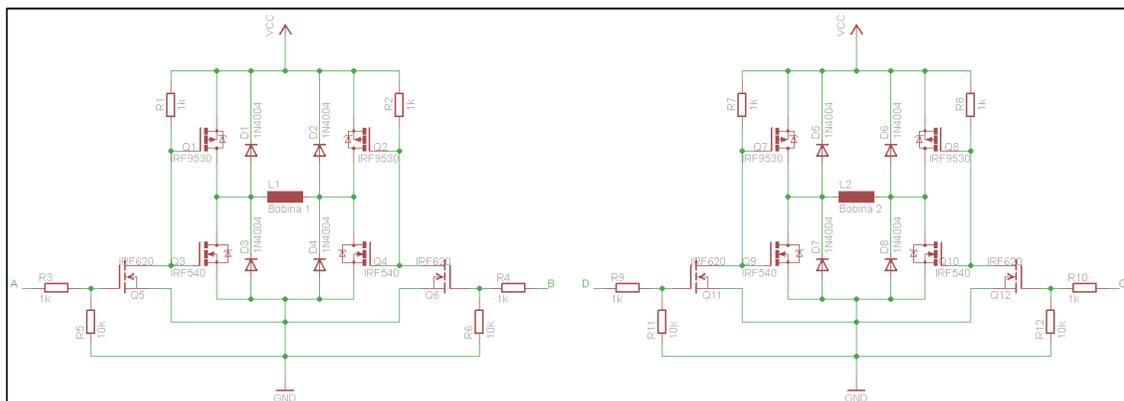


Figura 5.2.2 Circuito completo para la etapa de potencia

En cuanto a las señales de control, se utilizan las salidas digitales del microprocesador para accionar las terminales A, B, C y D. Sin embargo, se requiere de una combinación y secuencia definida para mover el motor en la dirección deseada.

En la tabla 5.2.1, se muestra la secuencia con las combinaciones para los controladores.

Tabla 5.2.1 Secuencia de señales digitales para generar el movimiento de los actuadores

Nº Combinación	A	B	C	D
1	0	0	0	0
2	0	1	0	1
3	0	1	1	0
4	1	0	1	0
5	1	0	0	1

La generación de estas señales, se detalla en la sección de descripción del software, en la parte de programación del microcontrolador.

5.3 Etapa de actuadores

Esta etapa, es la encargada de mover las perillas de las décadas hasta el valor deseado. Consiste en un arreglo de motores paso a paso bipolares, los cuales se acoplan a las perillas de los módulos mediante piezas hechas a la medida. [9]

El esquema de control utilizado, es el conocido como *Full Step Drive* (manejo de paso completo), en el cual se aprovecha el torque máximo de operación dado por el fabricante. Cabe destacar que para este tipo de control, siempre se encuentran dos fases activas.

El modelo utilizado, corresponde al PowerMax II® del fabricante Pacific Scientific®.

La tabla 5.3.1 sintetiza las características del motor:

Tabla 5.3.1 Especificaciones del motor paso a paso utilizado

Característica	Valor
Torque de mantenimiento (Holding Torque)	0.81 Nm
Tensión máxima	65 V
Corriente por fase	1.51 A
Paso	1.8°
Velocidad máxima	1500 RPM
Potencia	44 W

El uso de motores paso a paso en esquemas a lazo abierto, es altamente utilizado debido a la precisión que existe a la hora de posicionarlos en un ángulo deseado.

Sin embargo, para asegurarse del funcionamiento óptimo del sistema de control automático, se decidió implementar una realimentación de la posición del eje del motor. Esto se realizó mediante un potenciómetro de precisión, al cual se le mide la tensión entre sus terminales, variando entre cero y cinco voltios.

5.4 Módulos de décadas de resistencia

Este elemento, corresponde al sistema que se desea controlar. Consisten en cajas con perillas las cuales varían la magnitud entre los terminales (que se encuentran en la parte frontal de la caja), de acuerdo a lo que se indique.

En la figura 5.4.1, se muestra un ejemplo del módulo anteriormente descrito.



Figura 5.4.1 Ejemplo de caja de décadas de resistencias

La conexión entre los resistores internos, consiste en un arreglo en serie y variable, en la figura 5.4.2, se muestra un diagrama eléctrico equivalente de las cajas de décadas de resistencias.

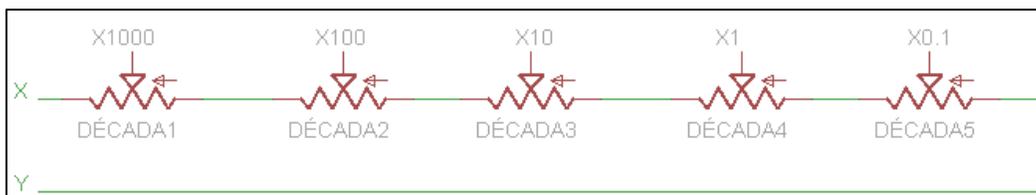


Figura 5.4.2 Diagrama eléctrico de las cajas de resistencias

Como se muestra en la figura 5.4.2, cada perilla tiene un multiplicador, con el cual, se da valor a la resistencia total que se puede medir entre los terminales X y Y.

5.5 Multímetro 3458A

Para la medición de las décadas, se utilizó un multímetro de precisión marca Agilent®, el cual posee una configuración específica para las mediciones de resistencia además de transferencia de datos para su procesamiento.

La transferencia de datos (mediciones), se realiza por medio del protocolo GPIB, correspondiente al estándar IEEE 488. El diseño del sistema correspondiente demandó una conexión entre la PC y el multímetro, esto permitió la captura de los datos para su almacenamiento y procesamiento.

Dentro de las características sobresalientes del multímetro, se encuentran resumidas en la tabla 5.5.1.

Tabla 5.5.1 Especificaciones técnicas del multímetro Agilent® 3458

Magnitud	Especificación	Valor
Tensión	Rango DC	0.1 – 1000 V
	Resolución	8.5 – 4.5 dígitos
	Sensibilidad	10 nV
	Rango AC	10 m – 1000 V
	Ancho de banda (AC)	1 – 10M Hz
Corriente	Rango DC	100n – 1 A
	Sensibilidad	1pA
	Rango AC	100μ – 1 A
	Ancho de banda (AC)	10 – 100k Hz
Resistencia	Rango	10 – 1G Ω
	Conexión	2 cables – 4 cables
	Sensibilidad	10 μΩ
Frecuencia y periodo	Frecuencia	1 – 10M Hz
	Periodo	100 n – 1 s
	Precisión	0.01 %
Velocidad	Tasa de medición	100000 lect/seg

Capítulo 6 Descripción de las rutinas de *software*

Para el diseño de la aplicación en *software*, se basó en la estructura de una máquina de estados de *Mealy*, en la cual se incluyen los pasos a seguir en el proceso de funcionamiento del sistema. [10]

A continuación, se muestra el diagrama de la máquina de estados diseñada.

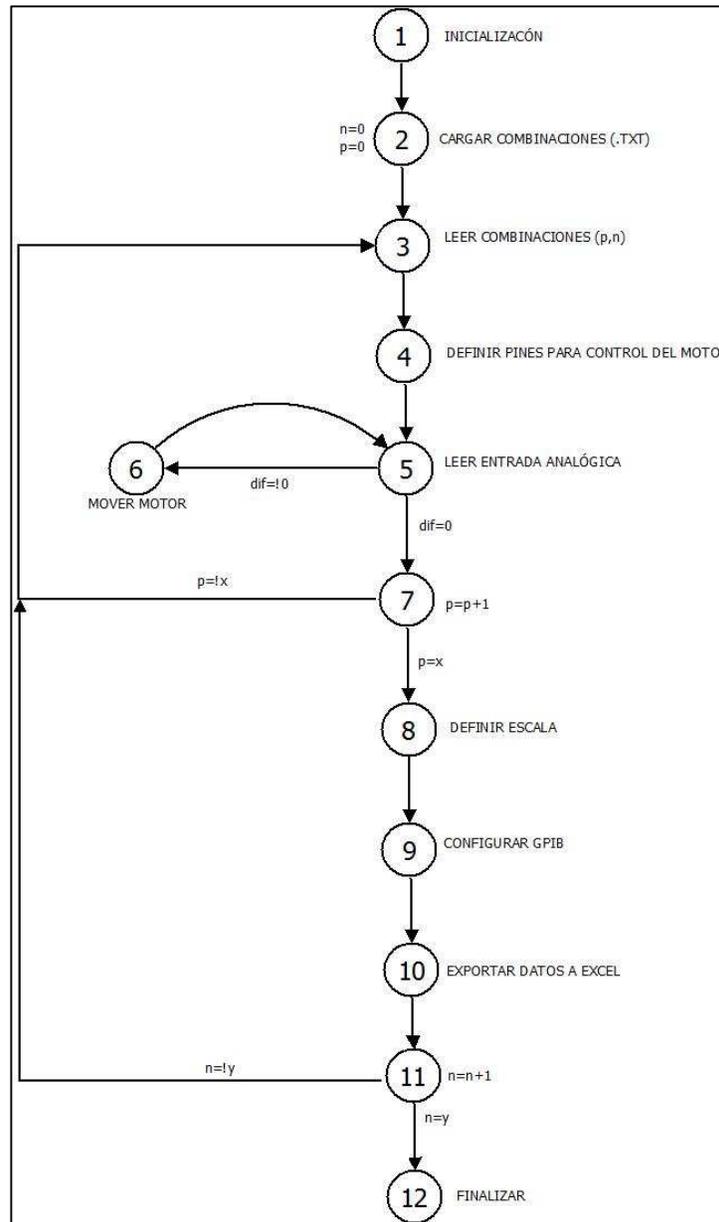


Figura 6.0.1 Diagrama de estados del flujo del programa

Inicialmente, el programa deberá configurar la unidad central de proceso, se le enviarán datos como la velocidad de comunicación (*baudrate*), el número de puerto serie para la comunicación USB (COM) y el nombre del dispositivo.

Después de haber configurado y establecido comunicación con la unidad central de procesamiento (implementada en el Arduino®), se procederá a cargar los datos indicados por el usuario.

Es por esto, que se deberá crear un archivo de texto (.txt) que contenga los valores para cada década. En la figura 6.0.2 se muestra un ejemplo del formato del archivo.

Década/Combinación	x1000	x100	x10	x1	x0.1	x0.01	x0.001
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	1	0	0	0
3	0	0	1	2	0	0	0
4	0	1	1	3	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	2	0	0	1
9	0	0	0	3	0	1	2
10	0	0	0	1	1	2	3
11	1	0	0	0	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0	1
13	0	0	1	0	0	0	0
14	1	2	3	4	5	6	7
15	0	0	0	0	4	3	2

Figura 6.0.2 Formato de archivo para la entrada de datos

Una vez cargado el archivo dentro del programa, se irán leyendo las posiciones para determinar la posición deseada.

El proceso de lectura, consiste en cargar el archivo .txt en una matriz de dos dimensiones. En las columnas, se encontrarán las décadas y las filas corresponderán a las combinaciones.

Seguidamente, se definirán las variables “x” y “y”, las cuales contendrán las dimensiones de la matriz. Adicionalmente, para recorrer la matriz se acude a la creación de las variables “n” y “p”, donde “n” indica la combinación (eje y) y “p” indica la década (eje x). Estas variables, se irán incrementando hasta completar todas las combinaciones requeridas. En la figura 6.0.3, se sintetiza el uso de las variables anteriormente descritas:

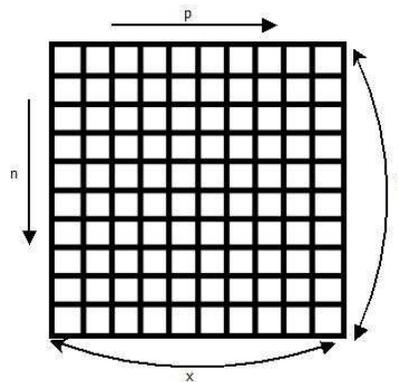


Figura 6.0.3 Distribución de variables para la lectura de los datos de entrada

Una vez determinado el valor al cual debe de ser llevado el sistema, será necesario determinar la posición actual del mismo, mediante la captura del valor instantáneo del sensor.

Mediante una resta de la posición actual y el valor indicado por el usuario, se determinarán los pasos que el actuador debe dar para alcanzar el valor deseado.

En la figura 6.0.4, se muestra el proceso anteriormente dicho.

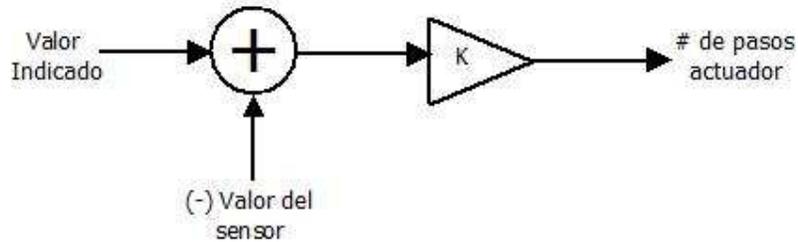


Figura 6.0.4 Determinación de pasos para los actuadores

Como siguiente paso, si ya se ha alcanzado el número del ancho del arreglo en el contador "p", es decir "p" es igual al valor de "x", quiere decir que es necesario proseguir con la definición de escala del multímetro.

Para realizar mediciones de manera satisfactoria, es necesario que para cada valor a medir se defina una escala adecuada, la cual se enviara al multímetro. Es por esto, que para cada valor de entrada, se necesita codificar la escala para de esta forma asegurarse de la validez de los datos.

Para este efecto, se desarrollo una rutina de comparación de datos, la cual genera un código binario de salida, dependiendo del rango en que se encuentre el valor. La figura 6.0.5 describe la funcionalidad.

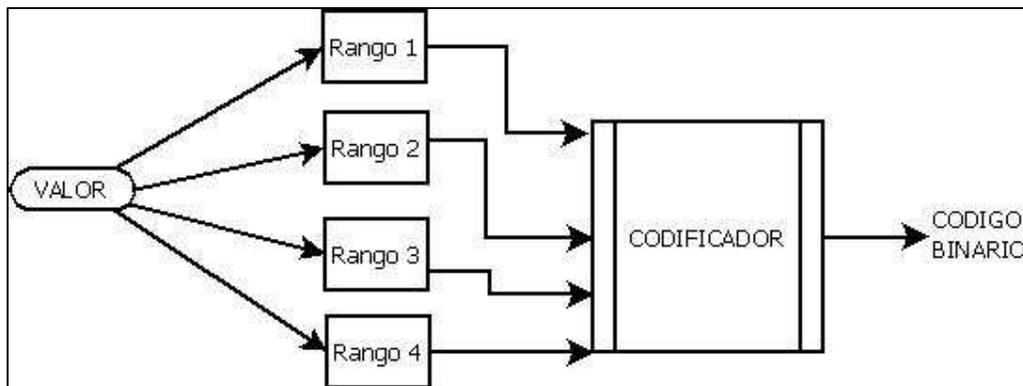


Figura 6.0.5 Definición de escala

Una vez definido el valor de la escala correspondiente, fue necesario generar las palabras de control para el dispositivo de medición (multímetro). Estas consisten en códigos en formato *string*, en los cuales se definen parámetros como tiempos de sincronización, modo de medición, variable a medir y escala. Para la conexión se utilizó un formato GPIB.

Cuando el multímetro tenga la configuración correcta, el sistema se encontrará listo para la recepción de datos. En cuanto a la captura de los datos, se utilizó un arreglo el cual va creciendo en dimensión cada vez que ingresa un dato nuevo. Para su implementación, se utilizó un bucle *for*, y el número de repeticiones corresponde al número de mediciones.

Completado en su totalidad el número de mediciones para un valor específico, se procede a incrementar el valor del contador "n", de manera que se cambie la fila en la matriz de combinaciones.

6.1 Señales de control para los actuadores

Como parte del funcionamiento del sistema, fue necesario crear un módulo de generación de las señales de control para la etapa de manejo de potencia. La rutina encargada de esto, genera la secuencia de señales de acuerdo con un número entero definido. Este número entero, corresponde a los pasos que debe dar el actuador.

Dentro de este módulo de generación de señales, se puede definir también la velocidad de cambio en la secuencia. Esto se realiza variando el tiempo de espera entre cada combinación, de manera que aumentando el tiempo de espera, se disminuya la velocidad de rotación del actuador, y en caso contrario, se aumente.

El módulo, se diseñó con una memoria y un contador. La memoria, contiene las combinaciones de las cuatro señales para los actuadores, mientras que el contador define el orden de la secuencia necesaria.

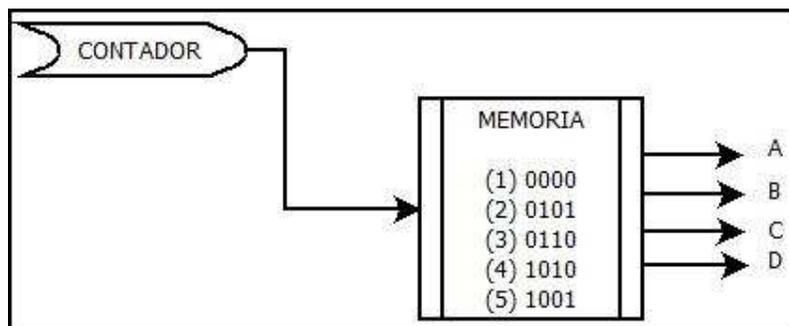


Figura 6.1.1 Generación de señales de control para los actuadores

6.2 Proceso de captura de las mediciones

Como se mencionó en el apartado de implementación de la solución, en la sección de metodología; la captura de las mediciones del valor de los módulos de décadas, se realiza mediante el protocolo GPIB, correspondiente al estándar IEEE 488.

Para capturar los datos, es necesario configurar en una primera instancia el dispositivo de medición, en este caso el multímetro.

Ahora bien, para comunicarse desde la PC con el multímetro ya sea para recibir datos así como para enviarle comandos de configuración, fue necesario implementar rutinas para inicialización, escritura y lectura para el puerto GPIB. [3]

El conjunto de instrucciones necesario para configurar el multímetro se resume en la tabla 6.2.1.

Tabla 6.2.1 Resumen de comandos GPIB utilizados

Comando	Descripción
RESET	Inicializa el dispositivo a su configuración por defecto
NPLC (Number of power line cycles)	Especifica el tiempo de integración del convertidor A/D en términos de ciclos de la línea de potencia. El tiempo de integración, equivale al tiempo que el A/D mide la señal de entrada.
OHM	Indica al dispositivo que se va a realizar una medición de resistencia eléctrica.
OCOMP OFF/ON	Habilita o deshabilita la función de compensar las mediciones de resistencia eléctrica.
DELAY	Tiempo de retardo.
TRIG SGL	Realizar medición.

Estos comandos, se envían en formato *string* hacia el módulo de configuración del puerto GPIB, concatenado y separado por puntos y coma.

Cada vez que se desea capturar un dato medido del multímetro, se debe enviar el comando TRIG SGL. Para efectos de implementación, se utilizó un ciclo *for*, con 10 repeticiones (equivalente a las 10 mediciones), dentro de este ciclo, se envía el comando TRIG SGL cada vez que se repite.

Capítulo 7 Sistema de control automático

En cuanto al diseño del esquema de control automático, debido a que no hubo especificaciones en cuanto a tiempo de estabilización ni sobreimpulso máximo, se decidió implementar un esquema de lazo cerrado donde se realimentó el estado actual del sistema mediante un sensor de posición, incorporando únicamente un control proporcional. [6]

Para generar congruencia entre las comparaciones de valores de referencia y realimentados, se llevaron los valores a una unidad común, mediante la aplicación de factores de conversión.

Entre las unidades involucradas, se tienen: el valor de la magnitud según el módulo a controlar (Ohmios), grados, pasos del motor y tensión eléctrica a la salida del sensor de posición.

Los factores mencionados anteriormente, se determinaron mediante las características de cada módulo a controlar. Estos módulos, presentan perillas y sus valores vienen dados por factores enteros, que se indican por medio de pasos. La figura 7.0.1, muestra un ejemplo de la forma de una perilla:



Figura 7.0.1 Ejemplo de forma de una perilla

7.1 Obtención de parámetros

Como se aprecia en la figura 7.0.1, las perillas tienen once posibles posiciones. Estas se encuentran espaciadas en aproximadamente treinta grados en cada valor.

Otro elemento que forma parte de la definición de las constantes, consiste en el parámetro del motor correspondiente a los grados por paso, especificado por el fabricante.

Se utilizaron dos tipos de motores paso a paso, uno presenta el factor de 1.8° por cada paso, el otro presenta 0.9° por paso.

Por último, los sensores utilizados para determinar la posición de las perillas, consisten en potenciómetros de precisión, los cuales se encuentran variando entre cero y cinco

Voltios. En la tabla 7.1.1, se resumen los parámetros anteriormente mencionados, por cada elemento.

Tabla 7.1.1 Parámetros de los elementos del sistema

Elemento	Parámetro
Perillas	Paso (0-10)
Sensor de posición	0 – 5 Voltios
Motor	0.9° / paso y 1.8° / paso.

Con todos los elementos en combinación, se tiene el esquema mostrado en la figura 7.1.1:

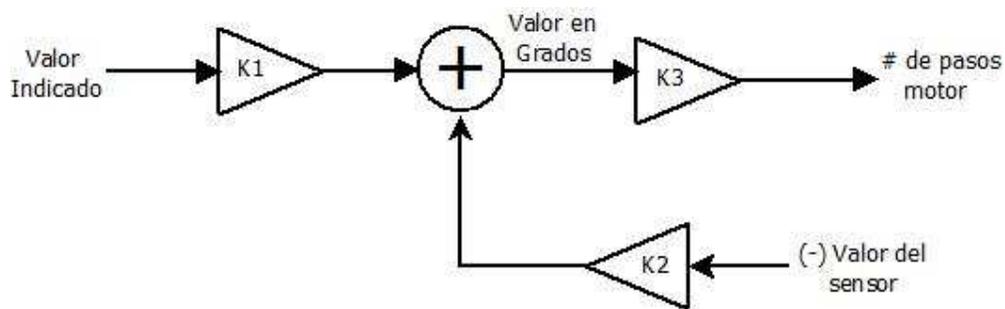


Figura 7.1.1 Conversión de factores

El valor indicado, corresponde a la referencia del sistema de control, es decir, al valor que se desea llevar el sistema. A su vez, se relaciona con los posibles valores de las perillas en los módulos de décadas.

El valor del sensor, corresponde a una señal que varía entre cero y cinco Voltios, dependiendo de la posición angular.

Para poder relacionar ambas variables, y poder restarlas; se necesita llevarlas a una unidad común. En este caso, se utilizó el valor en grados correspondiente a la posición de la perilla. Mediante la utilización de factores proporcionales (K_1 y K_2), y tomando en cuenta el rango en que las señales varían, se genera un valor que varía de -360° hasta 360° .

El valor de K_1 , se obtuvo mediante el siguiente despeje:

$$12 \text{ valores} \cdot K_1 = 360^\circ$$

$$K_1 = 30 \frac{\text{valor}}{\text{valor}}$$

El valor de K_2 , se obtuvo similarmente:

$$5 \text{ V} \cdot K_2 = 360^\circ$$

$$K_2 = 72 \frac{\circ}{V}$$

Finalmente, para obtener el número de pasos para los motores, se debe mencionar que se utiliza el factor de \circ/paso dado por el fabricante.

En ambos casos ($0.9^\circ/\text{paso}$ y $1.8^\circ/\text{paso}$), se divide el valor en grados producto de la diferencia Valor indicado – Valor del sensor, para obtener como resultado el número de pasos correspondiente. De manera que el valor de K_3 , varía según el motor.

La ecuación que representa el proceso anteriormente descrito, se muestra a continuación:

$$\# \text{ de pasos motor} = \frac{K_1 \cdot (\text{Valor indicado}) - K_2 \cdot (\text{Valor del sensor})}{K_3}$$

Capítulo 8 Descripción del diseño de la estructura mecánica.

Sin lugar a duda, por la naturaleza del sistema, el montaje de la estructura mecánica, es parte crítica en el funcionamiento del mismo.

El diseño de esta estructura, cumple una parte fundamental para cumplir los requerimientos del sistema.

Para describir el sistema mecánico de forma detallada, se divide en tres partes: las piezas de acople entre el eje del motor y la perilla, la estructura de montaje de los motores y el sistema de acople entre el eje del motor y el eje del sensor (potenciómetro).

Inicialmente, se tomó en cuenta que para determinar la posición del motor, se utilizaría un potenciómetro. Es decir, se requería acoplar el eje del motor con el eje del potenciómetro. Para lograr el cometido, se consultó con un experto encargado de un taller de precisión y sugirió la implementación de engranajes para acoplar los dos ejes.

Este engranaje, debía cumplir la característica de que por cada vuelta que diera el motor, el potenciómetro completara su cantidad de giros, que corresponden a un total de tres (relación 3:1).

Para el acople del eje del motor con las perillas de los módulos de resistencias, se diseñó una pieza que simulara el agarre natural que se da cuando una persona da vuelta a la perilla. La pieza implementada finalmente, tuvo la mostrada en la figura 8.0.1.

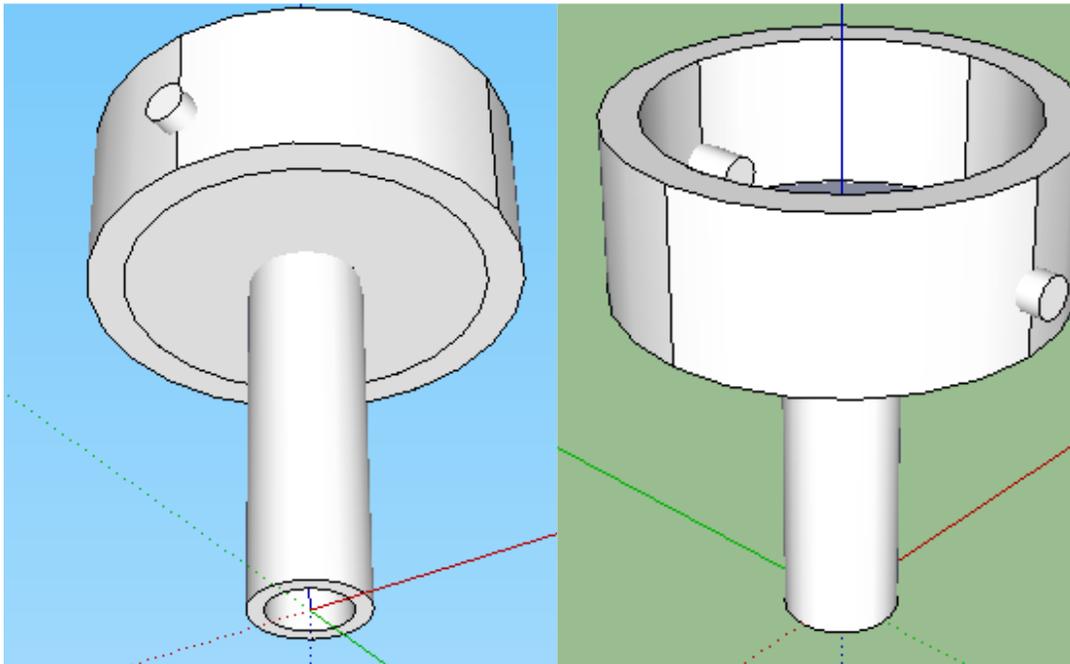


Figura 8.0.1 Pieza de acople entre el motor y la perilla

En la figura 8.0.2, se detallan las dimensiones de la pieza:

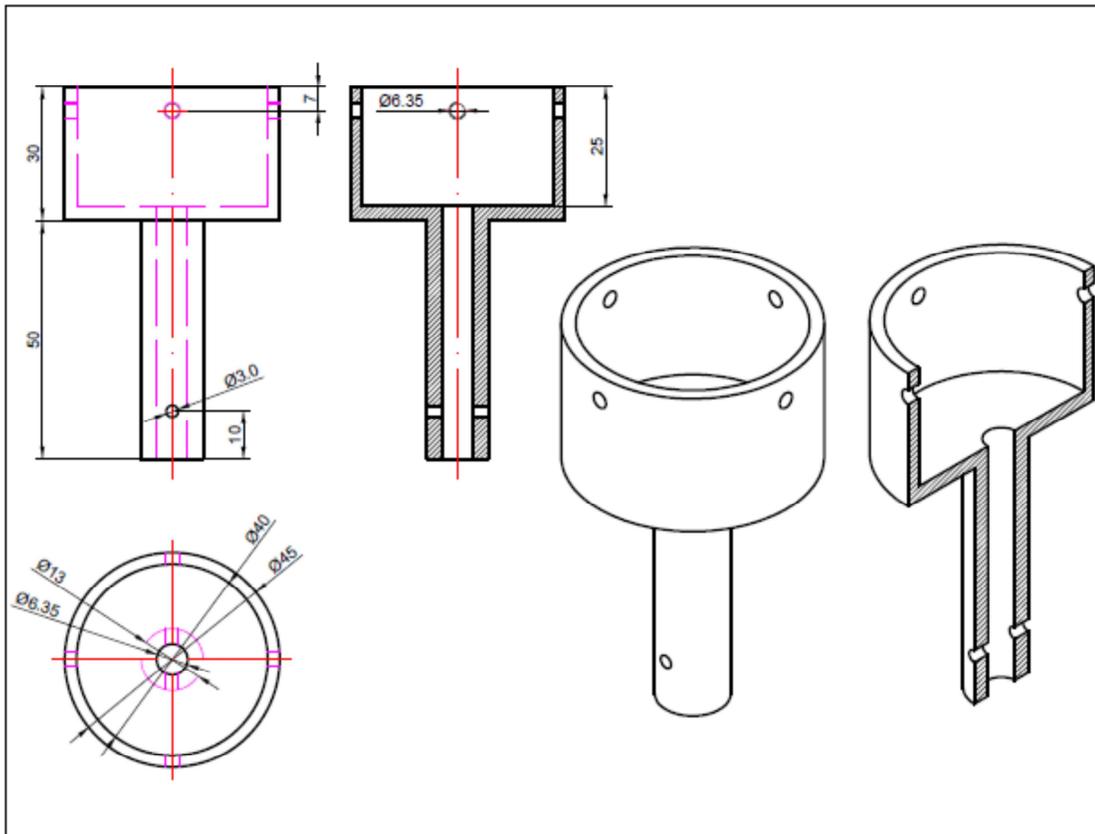


Figura 8.0.2 Plano de dimensiones para la pieza de acople entre el motor y la perilla

Para el montaje de los motores, se tuvo en cuenta que la distancia entre las perillas de los módulos, era variable. De esta manera, se debió implementar una especie de guía para mover horizontalmente y poder centrar el eje del motor con el centro de la perilla. También se debió tener en cuenta que el sistema se colocaría finalmente en un estante de metal. De manera que se diseñó una estructura con la forma obtenida en la figura 8.0.3.

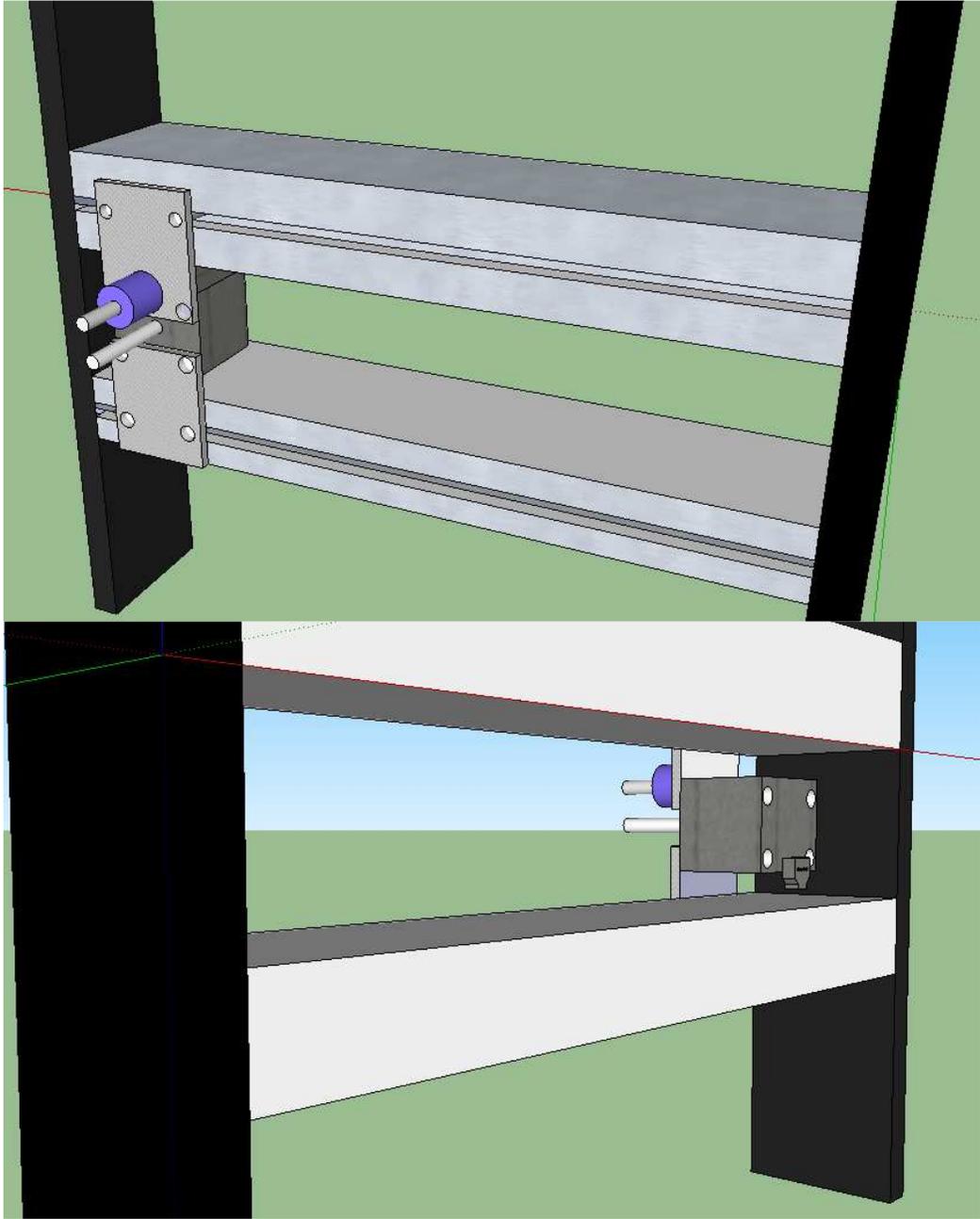


Figura 8.0.3 Estructura montaje de los motores

Capítulo 9 Montaje físico del sistema

Debido a que un punto crítico del sistema es el montaje físico, se decidió realizar un diseño del montaje de cada uno de los módulos encargados del funcionamiento. El sistema completo, se puede dividir en cuatro módulos:

- Actuadores y sensores: Este módulo corresponde a los motores paso a paso, acoplados mecánicamente a los potenciómetros que determinan su posición.
- Fuente de poder: Suple la alimentación que demanda cada una de las partes requeridas.
- Unidad central de control: Integrada por el kit de desarrollo Arduino®.
- Etapa de manejo de potencia: Corresponde a los circuitos integrados encargados de mover los actuadores.

Es importante destacar que los actuadores y sensores se encuentran colocados sobre una estructura descrita en la sección de Diseño de la Estructura mecánica. En la figura 9.0.1, se muestra el diagrama de disposición de los módulos anteriormente descritos.

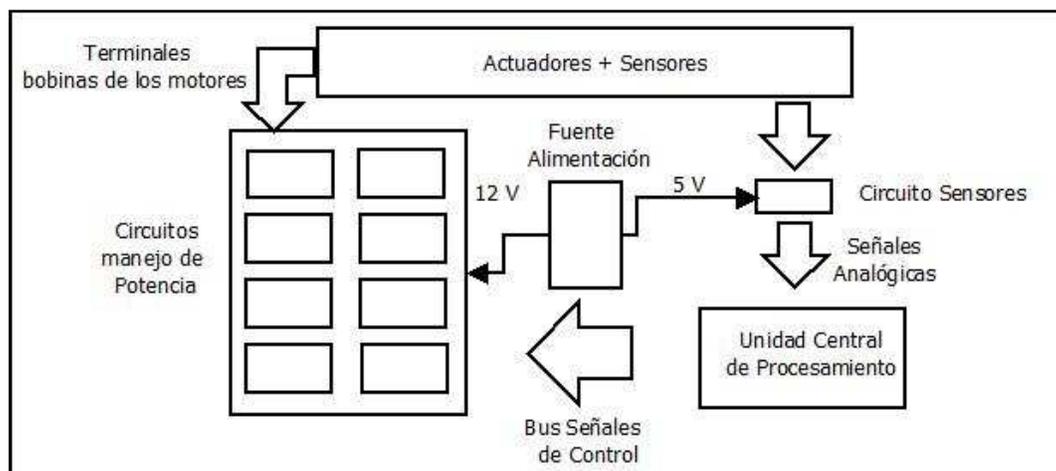


Figura 9.0.1 Plano físico del sistema

Para disponer todos los módulos, se tuvieron en cuenta factores como la cercanía de señales y las interconexiones entre módulos.

En cuanto al diseño de los circuitos integrados, se realizaron dos. Uno encargado de manejar la etapa de potencia (del cual se construyeron nueve para abarcar la cantidad de motores presentes) y el otro encargado de alimentar los sensores y generar un bus de salidas analógicas para la Unidad central de procesamiento. La experiencia de construcción de los mismos, se detalla en el Anexo B.

Capítulo 10 Análisis de resultados

10.1 Pruebas de linealidad

Como primer punto, se analizará la linealidad del sistema, realizando mediciones sobre los componentes del mismo. [6]

Inicialmente, se desarrolló una aplicación la cual genera secuencialmente las señales de control para el controlador de potencia de los actuadores. Ahora bien, esto permitió realizar mediciones en torno al giro del eje del motor.

Tabla 10.1.1 Mediciones del giro del motor en función del número de pulsos generados

Posición Angular (°)	Número de pulsos generados
45	24
90	54
135	77
180	104
225	126
270	151
315	176
360	202

El gráfico de dispersión correspondiente, se muestra en la figura 10.1.1.

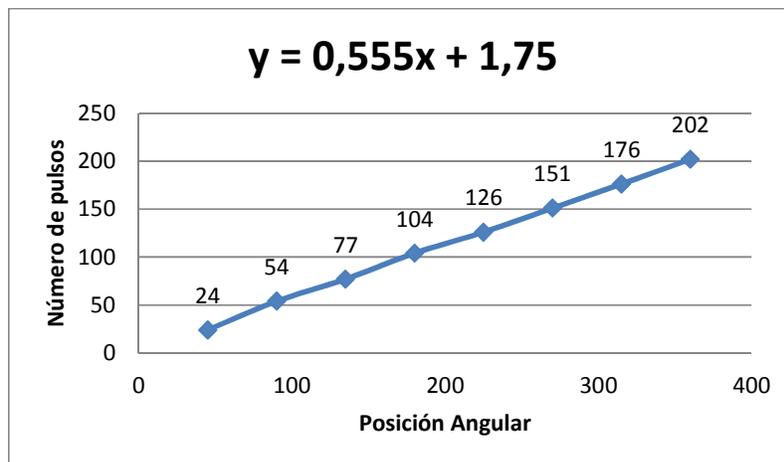


Figura 10.0.1 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.1

Como se muestra en la figura 10.1.1, el comportamiento del motor es aproximadamente lineal. De manera que se utiliza una ecuación de primer grado, para aproximar el valor necesario de pasos para llegar a una posición angular específica.

En cuanto a la posición de la perilla, se realizó una medición de la posición de la misma en función del número de pulsos necesarios para llevarla a tal posición. Esta medición, se realizó con ayuda de la pieza que acopla el eje del motor con la perilla, mostrada y descrita en el Capítulo 8.

En la tabla 10.1.2 se muestran las mediciones de la posición de la perilla en función del número de pulsos.

Tabla 10.1.2 Mediciones de la posición de la perilla en función del número de pulsos generados

Posición de la perilla	Número de pulsos generados
1	17
2	34
3	50
4	66
5	87
6	104
7	119
8	136
9	153
10	170

El gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.2, se muestra en la figura 10.1.2.

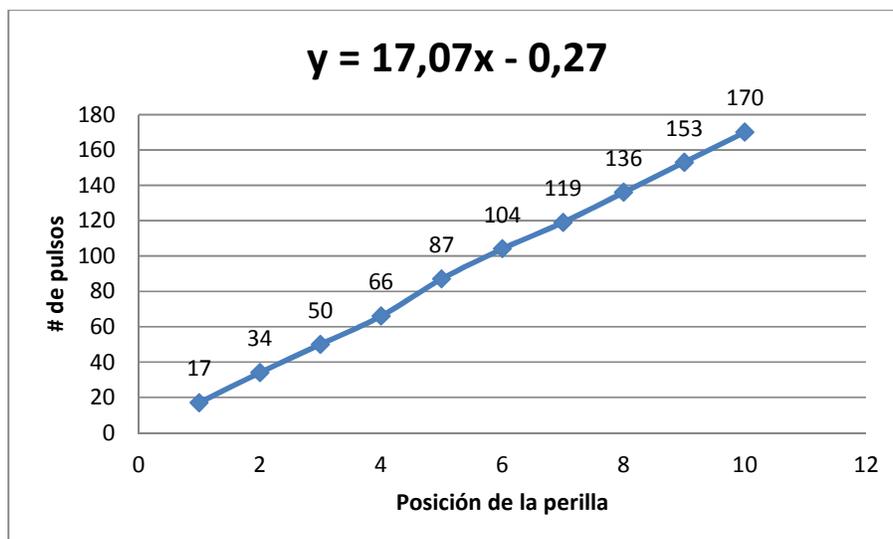


Figura 10.1.2 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.2

Por parte de los sensores de posición angular (potenciómetros), se realizó la prueba de linealidad del mismo, al someterlo a una tensión eléctrica de cinco voltios y mover el brazo en distintas posiciones para determinar su valor a la salida. El potenciómetro utilizado, tiene 3 vueltas en totalidad (1080°).

En la tabla 10.1.3, se muestran las mediciones realizadas para este caso.

Tabla 10.1.3 Mediciones de linealidad para el potenciómetro

Posición angular del brazo (°)	Tensión entre sus terminales (V)
0	0
180	0,841
360	1,678
540	2,498
720	3,335
900	4,167
1080	5,01

El gráfico de dispersión correspondiente a la tabla 10.1.3, se muestra en la figura 10.1.3.

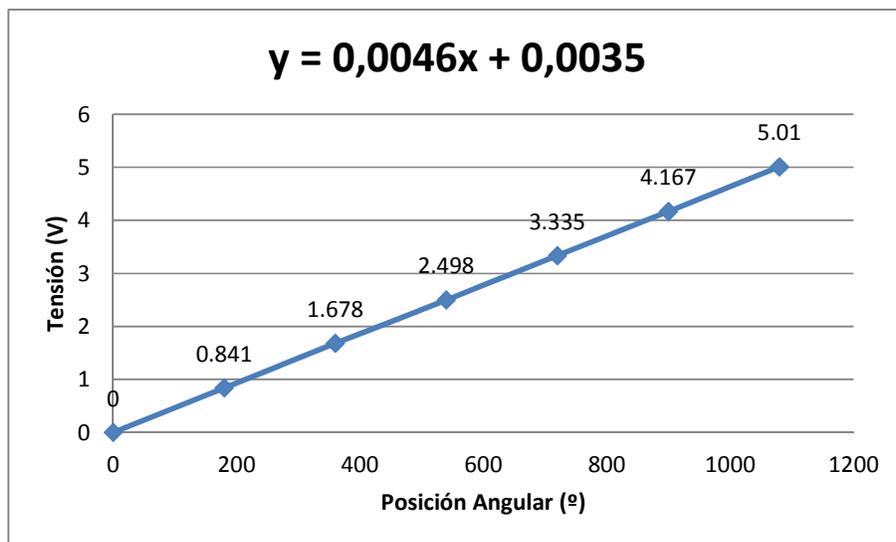


Figura 10.1.3 Gráfico de dispersión de los datos mostrados en la tabla 10.1.3

Como se muestra en las figuras anteriores, todos los elementos involucrados en el esquema de control, presentan una característica entrada – salida lineal. De manera, que no es necesario hacer aproximaciones para linealizar.

10.2 Prueba para captura de datos por medio del puerto GPIB

Se realizó una prueba de medición, en la cual se implementó un esquema como el que se muestra en la figura 10.2.1.

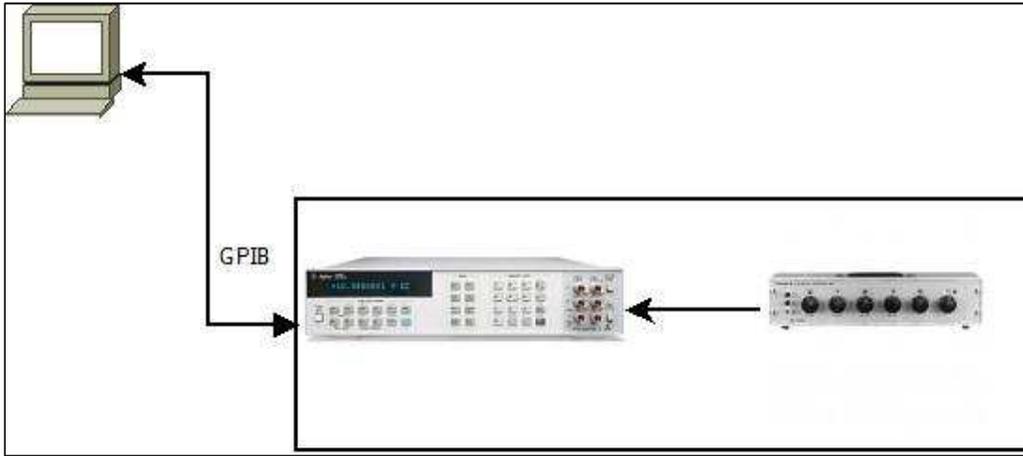


Figura 10.2.1 Esquema de pruebas para la captura de datos

Se incluye una PC, un multímetro marca Agilent® modelo 3458 y una caja de décadas de resistencias.

Como parte de la solución del problema, y como parte del diseño del *hardware* del mismo, se utilizó una configuración para el instrumento de medición mencionado anteriormente, por lo tanto el sistema deberá ser modificado si el dispositivo de medición fuese diferente.

La década se puso en un valor de 10 K Ω , y se procedió a realizar mediciones con el multímetro. La captura de datos por medio del puerto GPIB, se realizó mediante una aplicación, en la cual se configuran aspectos como la conexión entre el multímetro y la década (2 hilos, 4 hilos), la escala y la cantidad de mediciones que se desean realizar.

Para este caso, se realizó una medición a 4 hilos, la conexión se detalla en la parte de marco teórico, se capturaron 10 datos y la escala se estableció en 10 K Ω .

Los datos obtenidos, se muestran en la tabla 10.2.1.

Tabla 10.2.1 Mediciones obtenidas por medio de interfaz GPIB

Valor (Ω)
9.99997559E03
9.99997636E03
9.99997476E03
9.99997433E03
9.99997498E03
9.99997514E03
9.99997388E03
9.99997384E03
9.99997510E03
9.99997381E03

10.3 Interfaz gráfica

Como parte del desarrollo del proyecto, se debía desarrollar una interfaz gráfica que cumpliera con los requerimientos del cliente.

Dentro de estos requerimientos, destacan la posibilidad de cargar un archivo con las combinaciones de perillas que se desean hacer, selección del modelo de década y seleccionar una ruta para guardar los datos que se capturan por GPIB.

El archivo del cual se extraen las combinaciones requeridas, tiene extensión .txt (archivo de texto), mientras que los datos se guardan en un archivo de MS Excel® (.xls).

El diseño de la aplicación, se realizó de manera básica de manera que no presentara complicaciones para su uso.

En la figura 10.3.1, se muestra el modelo final implementado.



Figura 10.3.1 Interfaz gráfica del sistema

Como se puede observar, la aplicación se presenta de manera bastante intuitiva en la cual el usuario tendrá que indicar las dos rutas de datos explicadas anteriormente y cuando esté listo para empezar el proceso, simplemente deberá presionar el botón Aceptar.

Además, la aplicación permite observar el estado del sistema, seleccionando la pestaña de información y de datos. En la figura 10.3.2 y en la 10.3.3, se muestran los campos contenidos en información y datos respectivamente.

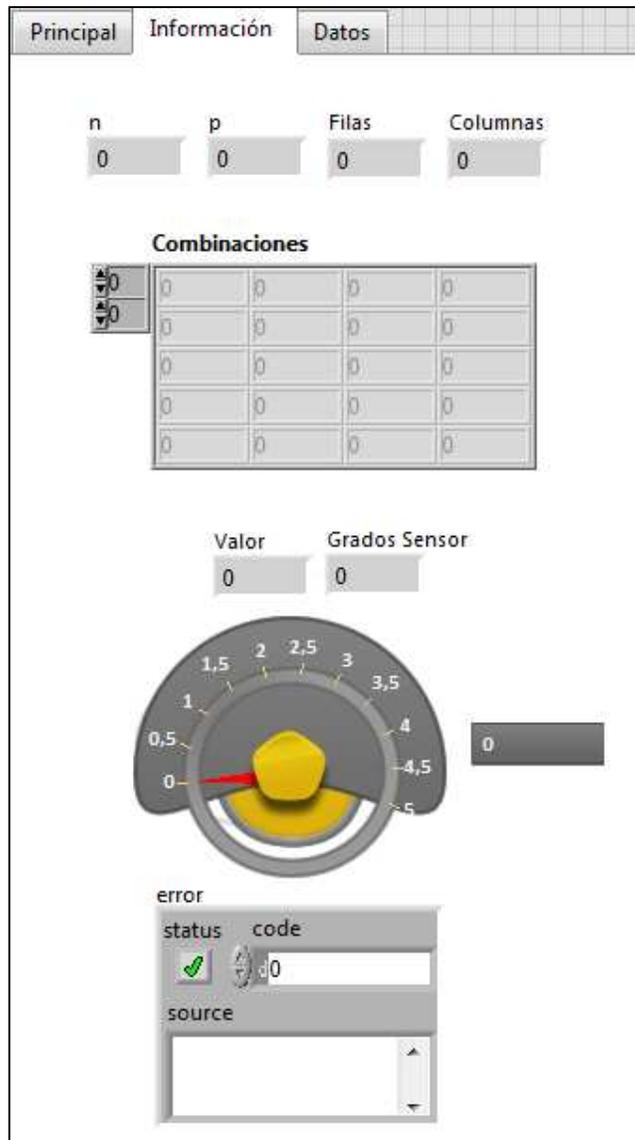


Figura 10.3.2 Interfaz gráfica del sistema, pestaña información

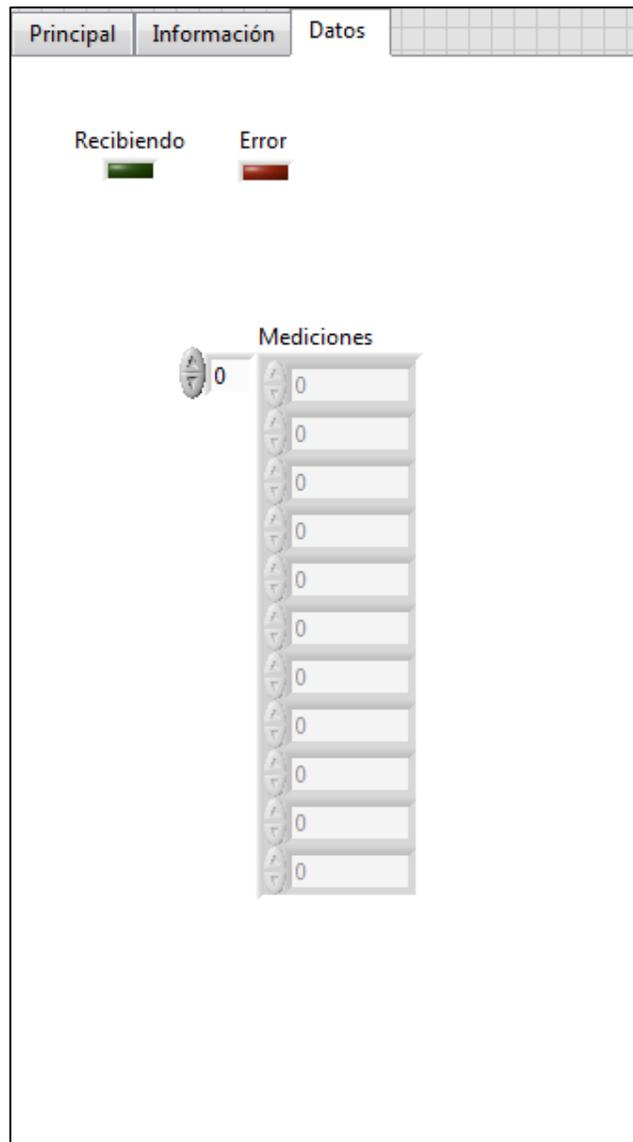


Figura 10.3.3 Interfaz gráfica del sistema, pestaña datos

10.4 Controladores de la etapa de potencia

Los resultados obtenidos a partir del controlador de potencia implementado con transistores mosfet, fueron satisfactorios, ya que cumplieron con las expectativas de conmutar a la frecuencia de operación del sistema, además de no presentar un incremento en su temperatura cuando se demandan altas corrientes.

Como un modelo inicial, se utilizaron transistores BJT para controlar la conmutación de las entradas digitales (sección 5.2), sin embargo no cumplieron con los tiempos de respuesta necesarios para el cambio de las señales. Por lo tanto, se acudió a utilizar transistores mosfet para controlar los puentes H, obteniendo resultados satisfactorios.

Capítulo 11 Conclusiones y recomendaciones

Conclusiones

- En cuanto al diseño de la interfaz gráfica, se obtuvo un producto final el cual además de ser intuitiva para su uso, incorpora elementos que permiten corroborar el estado del sistema. Lo anterior se pudo concretar con: indicadores del estado del sistema (ocupado y moviendo), valor del sensor de posición, combinaciones solicitadas por el cliente y valores capturados por la interfaz GPIB.
- El diseño y la incorporación de circuitos de potencia, así como rutinas para el manejo digital de los mismos; permitió el control de los actuadores encargados del movimiento de las perillas. Al final, se obtuvo como producto, un sistema (implementado con motores paso a paso y puentes H como controladores) que presenta una precisión de 34 pasos por cada valor en las perillas.
- Tomando en cuenta la solución del cliente, el sistema se mejoró relacionado a la automatización completa del proceso. Incorporando la previa generación del archivo .txt con las combinaciones solicitadas con el cliente, el usuario del sistema ya no requiere indicar cuando realizar un cambio. Esta mejora, se refleja en el tiempo que lleva realizar una medición completa a una caja de resistencias, pasando de un tiempo aproximado de tres días a tres horas.

Recomendaciones

- Para diseños posteriores, considerar la incorporación de diferentes configuraciones para dispositivos de medición, lo anterior de acuerdo con la definición de la cantidad de mediciones, precisión de los datos y conexiones (2 hilos, 4 hilos)
- Considerar el factor de velocidad de respuesta, a la hora de manejar etapas Mosfet con tecnología BJT, ya que los tiempos de respuesta de los dispositivos BJT presentan tiempos de encendido de hasta 100 veces más grandes que los especificados por Mosfet.
- Valorar la incorporación de circuitos integrados para la etapa de manejo de potencia, en vez de construir circuitos con elementos discretos.
- Realizar ciclos de pruebas en la calibración de las cajas de resistencias con varios modelos y marcas.

Bibliografía

- [1] S. J. Chapman, "Capítulo 10. Motores monofásicos y motores especiales," *Máquinas Eléctricas*, 3º ed. México: Mc Graw Hill, 2000.
- [2] O. Fallas Cordero. Manual general de calibración. Instituto Costarricense de Electricidad, LMVE. 2012.
- [3] O. Fallas Cordero. Calibración con multímetro digital. Instituto Costarricense de Electricidad, LMVE. 2011.
- [4] Grupo ICE, "Funciones del LMVE," vol. 2012, 02/05/12, 2012. Disponible en: "http://www.grupoice.com/wps/portal!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os3qjg2CT4BBHX0djJw9TA08vE3M_UwMjAwNHM6B8pFI8iJehv4ezhYmBQYClq4GnmauvZZCZq4GBqQkxuq1wAEcDARR9PPJzU_ULckMjyh0VFQE6oajM/dl3/d3/L2dJQSEvUUt3QS9ZQnZ3LzZfMkdOQTJVQU1BQjFCRjBJUDJKNTINSTA4TjE!/#.UK5SjeT8LpV"
- [5] Grupo ICE, "Historia del ICE," vol. 2012, 03/05/12, 2012. Disponible en: "http://www.grupoice.com/wps/portal/gice/acerca_ice/acerca_ice_asi_somos/acerca_ice_asi_somos_historia!/ut/p/c5/04_SB8K8xLLM9MSSzPy8xBz9CP0os_qQL0N_D2cLEwN_Vy8XA08zY09TUzNTi1BnI6B8JC55gwBjE5J0GwRYugLIXX0tg8xcDQwMiNjtgAM4GhDQ7eeRn5uqX5AbGhpR7qgIAPkP--s!/dl3/d3/L2dBISEvZ0FBIS9nQSEh/#.UK5SouT8LpV"
- [6] B. C. Kuo, *Sistemas De Control Automático*, 7º ed. México: Prentice Hall, 1996.
- [7] F. Navarro Henríquez, "NORMAS GENERALES DEL PROYECTO DE GRADUACIÓN DE LA ESCUELA DE INGENIERIA ELECTRONICA DEL ITCR " 2012.
- [8] F. Navarro Henríquez, "Características del proceso de diseño en ingeniería incorporadas en el Proyecto de Graduación," 2005.
- [9] M. Rashid, "Transistores de potencia," *Electrónica De Potencia*, 3rd ed. México: Prentice Hall, 1997.
- [10] R. Tocci, *Sistemas Digitales: Principios y Aplicaciones*. México: Pearson Educacion, 2003.
- [11] H. Vargas Sánchez. Calibración de resistencias y cajas de resistencias 2008.01.09. Instituto Costarricense de Electricidad, LMVE. 2008.

Apéndices

A.1 Glosario

Arduino®	Plataforma libre de hardware, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo.
Baud rate	En español, corresponde a tasa de baudios, y es una medida de unidades de una señal en específico por unidad de tiempo. Un baudio puede contener varios bits.
FEM	Fuerza electromotriz.
Formato String	Tipo de datos en programación el cual, corresponde a un conjunto de caracteres.
IT	Instrucción de Trabajo.
LMVE	Siglas del Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas.
Máquina de estados Mealy	Corresponde a una máquina de estados en la cual, la transición de un estado a otro no depende únicamente del estado presente, sino también del valor de sus entradas.
Memoria EEPROM	Siglas correspondientes a Electrically Erasable Programmable Read Only Memory o memoria eléctricamente borrable programable de sólo lectura.
Memoria Flash	Tipo de memoria derivada de la EEPROM, Sin embargo, a diferencia de esta, permite ser escrita, además de ser más densa.
Memoria SRAM	Siglas correspondientes a Static Random Access Memory. Memoria volátil, no requiere refrescamiento.
MS	Siglas del distribuidor de software Microsoft®.
OBP	Siglas de Objeto Bajo Prueba.
PC	Corresponde a computadora personal (Personal Compute en inglés).
Precisión	Para el caso de instrumentación, se denomina precisión a la capacidad de un instrumento de dar el mismo resultado en mediciones diferentes realizadas en las mismas condiciones. Esta cualidad debe evaluarse a corto plazo.

Protocolo GPIB	Corresponde al estándar IEEE 488.1. Las siglas corresponden a General Purpose Instrumentation Bus, traducido al español Bus de propósito general para instrumentación. Es utilizado mayoritariamente en equipos de medición.
PWM	Siglas correspondientes al tipo de modulación de ancho de pulso.
Resolución	En el campo de la digitalización corresponde a la cantidad de bits en una palabra.
RISC	Siglas correspondientes a Reduced Instruction Set Computer, traducido como Computador con Conjunto de Instrucciones Reducidas. Corresponde a un tipo de diseño de arquitectura de microprocesador.
Región de saturación	Para el caso de BJT, la caída de tensión entre el colector y emisor es muy baja, cercana a cero, ya que se encuentran directamente polarizadas. La corriente se delimita por medio de la fuente de poder. Equivale a un interruptor cerrado. Aplicación en situaciones de conmutación.
Sensibilidad	Para el caso de instrumentación, sensibilidad es la capacidad de detectar ondas o señales de forma más precisa.
Shunt (derivador)	En electrónica, un shunt es una carga resistiva a través de la cual se deriva una corriente eléctrica. Generalmente la resistencia de un shunt es conocida con precisión y es utilizada para determinar la intensidad de corriente eléctrica que fluye a través de esta carga, mediante la medición de la diferencia de tensión a través de ella.
Slew Rate	Efecto no lineal en la amplificación, se presenta cuando un elemento es incapaz de seguir una señal de entrada debido a su velocidad de cambio.
Sobreimpulso Máximo:	En la teoría de análisis de señales, sobreimpulso máximo, se define generalmente como una especificación máxima permitida de excedente en la magnitud de salida con respecto a la referencia que se desea alcanzar.
Tasa de medición	Para el caso de instrumentación, consiste en un factor de cantidad de mediciones por unidad de tiempo. (Cantidad de mediciones/s)

Tecnología MOSFET	Siglas de Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor, en español Transistor de efecto de campo metal óxido semiconductor.
Tecnología TTL	Corresponde a Transistor Transistor Logic, su característica básica, radica en que las entradas y salidas de los componentes que están implementados en esta tecnología poseen transistores BJT.
Teraóhmetro	Instrumento utilizado para medir resistencias de alto valor (orden de Megaohmios hasta Teraohmios).
Tiempo de estabilización	En la teoría de análisis de señales, se define como el tiempo en el cual el sistema alcanza su estado estable, dentro de un margen de error establecido.
UPS	Siglas correspondientes a Uninterruptible Power Supply, traducido al español como Fuente de Poder Ininterrumpida.
USB	Siglas correspondientes al estándar de comunicación serial (Universal Serial Bus en inglés).

Anexos

Anexo A Descripción de la empresa

Entorno del problema

El Instituto Costarricense de Electricidad, es una empresa estatal; fundada en el año 1949. Inicialmente surgió como una respuesta del gobierno a solucionar los problemas de escasez de energía eléctrica.

A partir de la década de los sesenta, específicamente en 1963, se planteó una nueva tarea que la institución debía cumplir; se trata del establecimiento, mejoramiento, extensión y operación de los servicios de comunicaciones en el país. Específicamente servicios de comunicaciones telefónicas, radiotelegráficas y radiotelefónicas.

Con el pasar de los años, la institución evolucionó en lo que hoy es un grupo de empresas estatales, llamado Grupo ICE; integrado por el ICE y sus empresas: Radiográfica Costarricense S.A. (RACSA) y la Compañía Nacional de Fuerza y Luz (CNFL). [5]

Como institución dedicada a la Electricidad y las Telecomunicaciones, es imprescindible mencionar la estrecha relación entre sus funciones y la tecnología. Es por esto que la institución cuenta con laboratorios especializados, que cuentan con equipos de medición y generación de diversas variables las cuales deben de ser consideradas en proyectos afines.

Es precisamente, en este departamento de la empresa donde se desarrollará el proyecto. Específicamente, en el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas.

Este laboratorio, fue creado con el objetivo de mantener los patrones primarios de las magnitudes físicas fundamentales. Estas magnitudes, están relacionadas con la energía eléctrica y las infocomunicaciones, apegadas a las normas dictadas por el Sistema Internacional de Unidades de Medida (SI). Ahora bien, el objetivo de realizar estas mediciones, radica en la necesidad de asegurar niveles de calidad estandarizados para los servicios que brinda el ICE.

El laboratorio, respalda sus mediciones mediante acreditaciones internacionales, específicamente en la base de datos del Buró Internacional de Pesas y Medidas (BIPM), con esto se logra validar cualquier medición realizada dentro del laboratorio.

Desde el año 2006 el Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas del ICE cuenta con un certificado de acreditación de calibraciones No. LC-036, ya que el mismo ha cumplido con el procedimiento de evaluación y acreditación y los requisitos correspondientes conforme con la Norma INTEC-ISO/IEC 17025:2005. [4]

El Laboratorio Metrológico de Variables Eléctricas, divide sus funciones en dos departamentos, en uno se realizan mediciones temporales y de frecuencia, mientras que en el otro se encarga de las variables: impedancia y potencia eléctrica. En este último departamento es específicamente donde se realiza el proyecto.

Anexo B Proceso de construcción de circuitos impresos

Para el diseño de los circuitos impresos, se utilizó la herramienta de software Eagle®. Además se utilizó la técnica de implementación en placas fotosensibles. El proceso consiste en una serie de pasos:

- Determinar las dimensiones de los componentes a utilizar.
- Realizar un esquemático con las conexiones entre los componentes mencionados anteriormente.
- Diseñar el circuito impreso en donde se montarán los componentes.
- Imprimir en una filmína (lámina transparente), el diseño del circuito impreso.
- Exponer las placas fotosensibles a luz ultravioleta, utilizando la filmína para imprimir el diseño en la placa.
- Revelar el circuito impreso con hidróxido de potasio.
- Desgastar el cobre de la placa con percloruro férrico.
- Realizar orificios en las guías donde se encuentran los componentes a las placas.
- Soldar los componentes a la placa.

El esquemático generado en la herramienta Eagle, producto del diseño preliminar del circuito de potencia se muestra en la figura B.1:

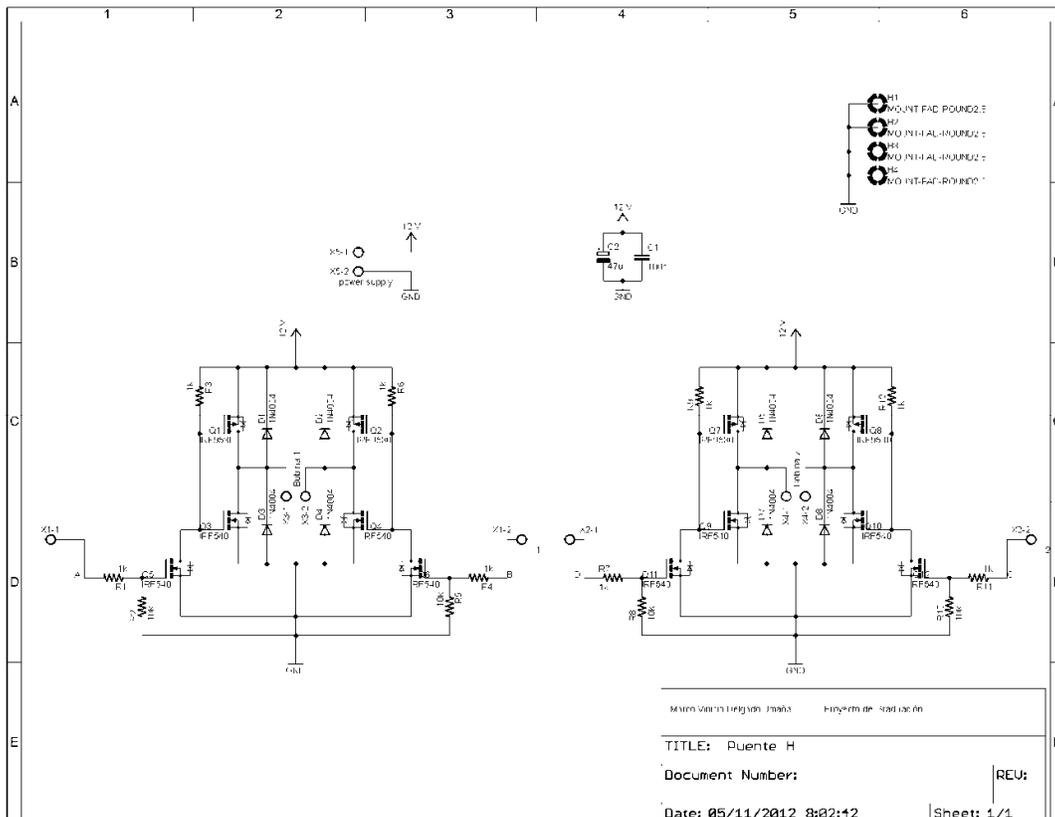


Figura B.1 Esquemático del circuito de potencia

El diseño del circuito impreso, correspondiente a la disposición física de los componentes en la placa, surge de las conexiones hechas en la etapa del esquemático. En la figura B.2, se muestra el acomodo final de los componentes en la placa.

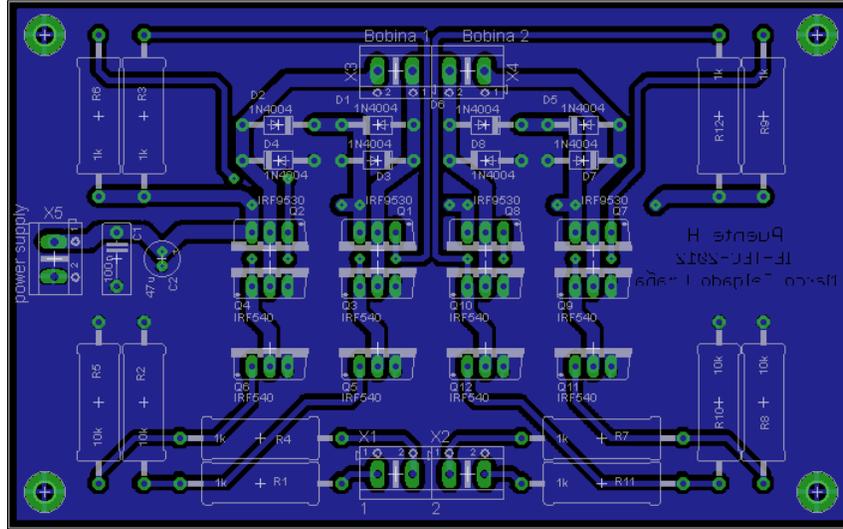


Figura B.2 Circuito impreso de la etapa de Potencia

Además del circuito de potencia, se implementó un circuito para alimentar los potenciómetros (sensores de posición), y generar un bus de señales analógicas. En la figura B.3, se muestra el esquemático del diseño, mientras que en figura B.4, se muestra de manera similar el circuito impreso.

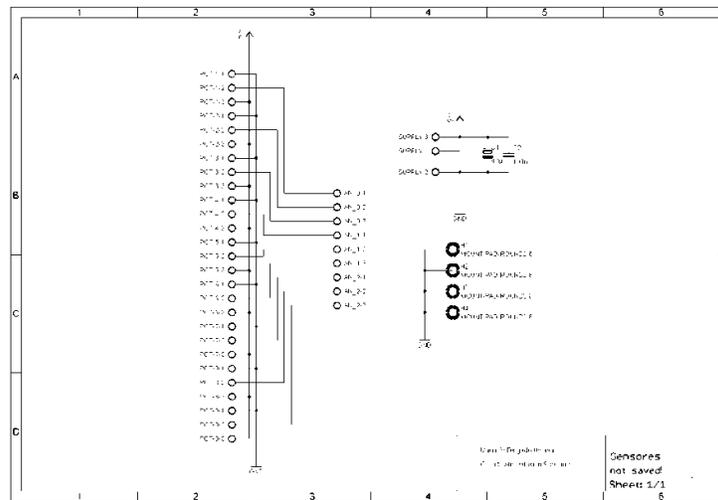


Figura B.3 Esquemático del circuito para los sensores de posición

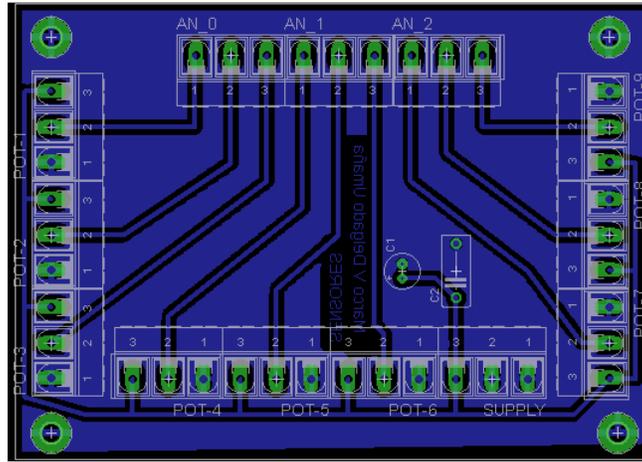


Figura B.4 Circuito Impreso para los sensores de posición