

*Benemérita Universidad  
Autónoma de  
Puebla*

*Facultad de Ciencias de la Electrónica*



*Tesina:*

*Automatización de una barra de calibración de transductores de desplazamiento utilizando Labview.*

*Presentada como requisito para obtener el grado de licenciado en electrónica.*

*Por*

*Arturo Hernández Bonfil*

*H. Puebla de Zaragoza*

*Noviembre Del 2014*

En agradecimiento a mis padres por su esfuerzo y cariño

A mi hijo que lo es todo para mí

A mi familia



## Índice

|                                                                                  |    |
|----------------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>Introducción</b>                                                              | i  |
| <b>Capítulo 1 Metrología</b>                                                     | 1  |
| 1.1 Introducción a la metrología                                                 | 2  |
| 1.1.2 Historia de la metrología.                                                 | 2  |
| 1.2 Unidades                                                                     | 6  |
| 1.3 Tipos de metrología                                                          | 10 |
| 1.3.1 Metrología científica                                                      | 10 |
| 1.3.2 Metrología industrial.                                                     | 10 |
| 1.3.3 Metrología legal                                                           | 11 |
| 1.4 Léxico                                                                       | 11 |
| 1.5 Longitud en la metrología                                                    | 12 |
| 1.5.1 Longitud en metrología                                                     | 13 |
| 1.5.2 Historia de la definición internacional de la unidad de medida de longitud | 13 |
| <b>Capítulo 2 Labview</b>                                                        | 16 |
| 2.1 Programación grafica                                                         | 17 |
| 2.2 Labview                                                                      | 17 |
| 2.2.1 Características de Labview                                                 | 18 |
| 2.2.2 Aplicaciones de Labview                                                    | 19 |
| 2.2.3 Programación grafica con Labview                                           | 19 |
| 2.2.4 Diseñando la interfaz de usuario a partir de su código                     | 20 |
| 2.2.5 Modularidad                                                                | 21 |
| 2.2.6 Compilador gráfico                                                         | 22 |
| 2.3 Controles                                                                    | 22 |

|       |                                                       |    |
|-------|-------------------------------------------------------|----|
| 2.4   | Funciones                                             | 23 |
| 2.5   | Adquisición de datos                                  | 24 |
| 2.6   | Análisis de datos                                     | 25 |
| 2.7   | Presentación de datos Panel de control                | 26 |
|       | <b>Capítulo 3 Caracterización de la barra Thomson</b> | 27 |
| 3.1   | Introducción                                          | 28 |
| 3.2   | Configuración                                         | 28 |
| 3.2.1 | Control por servo o controlador por pasos             | 28 |
| 3.2.2 | Posicionamiento básico                                | 29 |
| 3.2.3 | Encoder de esclavo a maestro                          | 29 |
| 3.2.4 | Control a través del puerto serial                    | 30 |
| 3.3   | El poder y la flexibilidad de Omnidrive               | 31 |
| 3.4   | El software Omnilink                                  | 32 |
| 3.5   | Servo controlador Omnidrive                           | 34 |
| 3.6   | Servo motor                                           | 35 |
|       | <b>Capítulo 4 Conclusiones de la automatización</b>   | 38 |
| 4.1   | Automatización                                        | 39 |
| 4.1.1 | Objetivos de la automatización                        | 39 |
| 4.2   | Jerarquías                                            | 41 |
| 4.3   | Descripción del software                              | 42 |
| 4.3.1 | Configuración                                         | 44 |
| 4.3.2 | Control                                               | 46 |
| 4.3.3 | Estado                                                | 46 |
| 4.3.4 | Lectura de datos                                      | 46 |
| 4.3.5 | Adquisición                                           | 46 |
| 4.3.6 | SubVI                                                 | 47 |
| 4.3.7 | Generador de reporte                                  | 52 |
| 4.3.8 | Lógica del programa                                   | 54 |
| 4.4   | Hardware                                              | 57 |
| 4.5   | Procedimiento para uso del sistema                    | 59 |
|       | <b>Conclusiones</b>                                   | 61 |
|       | <b>Apéndice A Léxico</b>                              | 64 |
|       | <b>Apéndice B DAQ CARD</b>                            | 69 |
|       | <b>Referencias bibliográficas</b>                     | 71 |



## Índice de tablas

|           |                                                    |    |
|-----------|----------------------------------------------------|----|
| Tabla 1.1 | Medidas y sus unidades.                            | 6  |
| Tabla 1.2 | Unidades adicionales aceptadas para uso con el SI. | 8  |
| Tabla 3.1 | Entradas y salidas configurables.                  | 32 |
| Tabla 3.2 | Características del servo drive.                   | 35 |
| Tabla 3.3 | Características del motor.                         | 36 |
| Tabla 4.1 | Entradas y salidas utilizadas en la DaqCard.       | 57 |
| Tabla 4.2 | Entradas y salidas del conector J1.                | 58 |



## Índice de figuras

|            |                                             |    |
|------------|---------------------------------------------|----|
| Figura 2.1 | Ejemplo de código grafico.                  | 18 |
| Figura 2.2 | Icono de un VI.                             | 20 |
| Figura 2.3 | Interfaz con el usuario.                    | 20 |
| Figura 2.4 | Paleta de controles.                        | 22 |
| Figura 2.5 | Paleta de funciones.                        | 23 |
| Figura 2.6 | Análisis de datos.                          | 25 |
| Figura 3.1 | Diagrama de control por seguidor de pasos.  | 29 |
| Figura 3.2 | Diagrama de control por indexado.           | 29 |
| Figura 3.3 | Configuración encoder de esclavo a maestro. | 30 |
| Figura 3.4 | Control por puerto serial.                  | 30 |
| Figura 3.5 | Ventana principal de omniling.              | 33 |
| Figura 3.6 | Ventana de drive set up.                    | 33 |
| Figura 3.7 | Servo drivers de Industrias Thomson.        | 34 |
| Figura 3.8 | Curva de velocidad contra torque.           | 37 |

|             |                                                             |      |
|-------------|-------------------------------------------------------------|------|
| Figura 4.1  | Diagrama a bloques del sistema de la barra Thomson.         | 4-1  |
| Figura 4.2  | Jerarquías de los VI's utilizados en el programa principal. | 4-5  |
| Figura 4.3  | Ventana del programa principal de calibración.              | 4-3  |
| Figura 4.4  | Ventana de configuración.                                   | 4-8  |
| Figura 4.5  | VI de adquisición.                                          | 4-12 |
| Figura 4.6  | VI encomendado a la creación de la tabla.                   | 4-13 |
| Figura 4.7  | VI designado al control de movimiento.                      | 4-14 |
| Figura 4.8  | VI measure encomendado a la lectura de datos.               | 4-15 |
| Figura 4.9  | VI position-motion.                                         | 4-16 |
| Figura 4.10 | Diagrama de flujo del ciclo automático.                     | 4-20 |
| Figura 4.11 | Diagrama de flujo del ciclo automático (continuación)       | 4-21 |
| Figura 4.12 | Diagrama del hardware.                                      | 4-23 |
| Figura 4.13 | Sensor montado sobre la barra Thomson.                      | 4-24 |



## Introducción

En los finales del siglo XX y principios del siglo XXI la competencia entre las organizaciones productivas es cada día mas fuerte, percibiéndose al interior de cada una de ellas, aplicando la mejora continua en cada uno de sus procesos, haciendo más con menos, llevando con esto a implementar mejoras en cada uno de sus procesos para disminuir gastos e incrementar ganancias.

Por tanto el presente trabajo se realizó con la finalidad de eficientar un sistema semi-manual de calibración de transductores. La meta es mejorar un sistema Thomson para procesos de calibración de transductores de desplazamiento y de esta forma pasar de un sistema manual a un sistema automatizado, utilizando Instrumentación Virtual (Labview), es decir, que el sistema mande instrucciones al controlador de la barra, mida desplazamientos, genere un reporte y se obtenga un resultado afirmativo o negativo sobre el estado de un transductor. Expresado en otras palabras que el sistema realice una calibración de un transductor y después transfiera los resultados a un archivo en formato HTML.

Para cumplir lo antes descrito se plantearon los siguientes objetivos

Objetivo general:

Automatizar una barra Thomson del laboratorio de calibraciones de la planta VW Puebla para procesos de calibración, utilizando Labview.

Objetivos específicos:

- Analizar las características de funcionamiento de la Barra Thomson.
- Aplicar el software Labview como herramientas de I.V.
- Construir el panel principal del programa.
- Construir el hardware para comunicación con la *DAQCard*.
- Desarrollar la totalidad del software.
- Construir el generador de reportes.

Algunas ventajas que nos brinda la automatización del sistema Thomson son:

- 1) reducción de costos
- 2) evitar la indisponibilidad de sensores por periodos largos de tiempo
- 3) evitar la pérdida, robo o deterioro de sensores por tener que salir de la planta de producción
- 4) generación automática de reportes
- 5) menor tiempo-hombre por sensor, entre otras ventajas

Es importante mencionar que el sistema Thomson compuesto por una barra de desplazamiento, un servo motor y un servo drive tienen una exactitud de 0.01% en un metro, y es considerado dentro del laboratorio un patrón de trabajo, por tanto en este documento cuando se haga referencia hacia al patrón de trabajo, nos estaremos refiriendo al sistema Thomson.

El documento esta dividido en cuatro capítulos. En el capítulo uno se aborda el tema de la metrología, en el capítulo dos se dan detalles de Labview de la empresa National Instrument que es el software utilizado para la automatización, en el capítulo tres se tratan los datos técnicos referentes a la caracterización del sistema Thomson es decir la barra o slide, el servomotor, el servo drive y el software Omnilink, en el capítulo cuatro se especifican los detalles de la automatización del sistema Thomson para realizar el sistema de calibración de sensores de desplazamiento. Finalmente un capítulo con las conclusiones. Además de contar con dos apéndices, en el primero se hace referencia sobre algunos conceptos importantes en metrología y en el segundo se muestran algunas características técnicas de la *DaqCard* ó tarjeta de adquisición de datos utilizada en este proyecto.

En este documento se han conservado los nombres originales de señales en el idioma inglés para tener concordancia con los manuales de los respectivos componentes del sistema Thomson.



## Capítulo I

### Metrología

En el presente capítulo se da una introducción de los conceptos de metrología, debido a que el fin de la automatización de la barra Thomson es un proceso de calibración. Por lo tanto el correcto uso de términos en el ámbito metrológico es importante.

---

## **1.1 Introducción a la metrología**

La palabra metrología deriva del griego “metron” medida y “logos” tratado por lo cual la metrología es la ciencia de la medición<sup>[1]</sup>.

Los conceptos metroológicos deben ser casi tan antiguos como el ser humano: “tengo nada”, “tengo algo”, “tengo mucho”; expresiones que reflejan una comparación muy primitiva pero que perdura en la raza humana bajo muchos aspectos, al punto que actualmente podemos decir que metrología es la ciencia de las mediciones y que medir es comparar con algo (unidad) que se toma como base de comparación. Las primeras ocasiones de medir las tuvo el humano primitivo con las nociones de: cerca-lejos, rápido-lento, liviano-pesado, claro-oscuro, duro-suave, frío-caliente, silencio-ruido. Originalmente estas percepciones fueron individuales pero con el correr de las experiencias y la vida en común surgieron las comparaciones entre las personas y en el transcurso de los milenios se han desarrollado bases de comparación generalmente aceptadas<sup>[2]</sup>.

### **1.1.2 Historia de la metrología.**

Estudios arqueológicos han encontrado que civilizaciones muy antiguas tenían ya los conceptos de pesar y medir. Muy pronto debe haberse hecho necesario disponer de medidas uniformes que permitieran el intercambio comercial, la división de territorios, la aplicación de impuestos. La aparición de sistemas de pesas y medidas se pierde en el tiempo. No conocemos lo que pudo haberse dado en el Lejano Oriente; sin embargo, aparecen sin lugar a duda en las civilizaciones de Mesopotámica y desde luego es claro que la construcción de las pirámides de Egipto (3000 a 1800 A.C.) demandó elaborados sistemas de medición. Las mediciones lineales que se usaron antiguamente en Egipto (el codo, la cuarta, el palmo, el codo, el pie).

---

También en Egipto se emplearon balanzas para pesar metales preciosos y gemas. Después, al aparecer las monedas como elemento de intercambio comercial, éstas fueron simplemente piezas de oro o plata con su peso estampado. Dieron origen a un sistema monetario que se extendió por todo el Mediterráneo <sup>[2]</sup>. Nuestra forma de medir el tiempo tiene su origen en el sistema sexagesimal desarrollado en Mesopotámica y nuestro calendario de 365 días se deriva originalmente del calendario egipcio.

Posteriormente a la conquista romana de gran parte del continente europeo originó la divulgación de los sistemas de pesas y medidas. Para principios del segundo milenio, las diferentes medidas en uso habían proliferado de forma incontrolable. Se tenía, por ejemplo, diferentes medidas de capacidad según el producto de que se tratase ya fuese vino o cerveza, trigo o cebada. A veces las medidas variaban de provincia a provincia o de ciudad a ciudad.

Inglaterra utilizaba medidas de origen anglosajón <sup>[2]</sup> y buscó la forma de mejorar y simplificar su sistema. Durante varios siglos el sistema libra-pie-segundo fue el sistema de preferencia en los países de habla inglesa y a nivel mundial para ciertas ramas comerciales y técnicas; a la fecha no ha sido del todo descartado y sigue siendo empleado en diversas actividades en muchos países. Por su parte, Francia creó y desarrolló un sistema, simple y lógico, basado en los principios científicos más avanzados que se conocían en esa época (finales del Siglo XVIII) - el sistema métrico decimal que entró en vigor durante la Revolución Francesa <sup>[2]</sup>.

Su nombre viene de lo que fue su unidad de base: el metro, en francés mètre, derivado a su vez del griego metron que significa medida, y del uso del sistema decimal para establecer múltiplos y submúltiplos. En su versión primera, el metro se definió como la diezmillonésima parte de la longitud de un cuadrante del meridiano terrestre y se determinó midiendo un arco de meridiano entre Dunkerque en Francia y Barcelona en España.

---

Con esos antecedentes y después de una buena cantidad de milenios, es fácil pensar en las bases para comparar las apreciaciones personales - dicho en otra forma: en las medidas y sus unidades.

A menudo es necesario referirse a otras unidades de medida que, por hacer uso o basarse en las anteriores, se denominan derivadas. Es decir que, con el empleo de algoritmos matemáticos, se expresa una unidad de medida para un fin que no está cubierto por las de base. Penetrar en el mundo de las unidades que utilizan la combinación de una o más unidades fundamentales es navegar en un mundo de algoritmos científicos útiles para propósitos definidos. Las unidades derivadas son las más numerosas. Una unidad es un valor en términos del cual puede definirse la magnitud medida. Se han desarrollado múltiplos y submúltiplos para poder expresar magnitudes mayores o menores que las expresadas por las unidades en el Sistema Internacional de medidas (SI). El SI con sus múltiplos y submúltiplos, es del tipo decimal (potencias de diez).

Algo con que comparar; ese algo se conoce como patrón, originalmente, se entendía por patrón a una representación o materialización física de la unidad. Era necesario destacar que un patrón es una representación confiable de la unidad solamente bajo un conjunto de condiciones claramente definidas para asegurar que no cambien estas condiciones por motivo de variaciones, por ejemplo, de temperatura, humedad, presión atmosférica, etc. Por sus características, el patrón físico no se empleaba directamente para hacer mediciones. Era, eso sí, el punto de referencia para construir y utilizar instrumentos de medición. En la actualidad, y dado que los avances de la ciencia han permitido definiciones más exactas y confiables de las unidades, basadas en constantes físicas universales, se define como patrón a: una medida materializada, instrumento de medir, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, a fin de transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición <sup>[2]</sup>.

Los metrologos buscan las formas más eficaces y por lo tanto siempre están en busca de mejorar sus procesos. La creciente colaboración entre metrologos de diversos

---

países está, por su parte, ayudando a crear enfoques y formas de trabajo aceptados a nivel internacional. Los métodos uniformes de medición se han establecido para que todos podamos trabajar sobre la base de una misma magnitud o unidad conocida y asegurar que los resultados de toda calibración, verificación y ensayo, en cualquier laboratorio o empresa, garantice la compatibilidad y la calidad.

En la actualidad, como una consonancia del enfoque global, cada vez son más los países que están adoptando por ley el Sistema Internacional de Unidades SI, basado en el sistema métrico decimal, con la consiguiente adopción de los patrones y técnicas de medición correspondientes. Cincuenta y un naciones han suscrito el Tratado de la Convención del Metro, en el que se adoptó el Sistema Internacional de Unidades (SI). La Convención otorga autoridad a la Conférence Générale des Poids et Mesures (CGPM – Conferencia General de Pesas y Medidas), al Comité International des Poids et Mesures (CIPM – Comité Internacional de Pesas y Medidas) y al Bureau International des Poids et Mesures (BIPM – Oficina Internacional de Pesas y Medidas), para actuar a nivel internacional en materia de metrología.

La CGPM está constituida por representantes de los países miembros y se reúne cada cuatro años en París, Francia; en ella se discuten y examinan los acuerdos que aseguran el mejoramiento y diseminación del Sistema Internacional de Unidades (SI); se validan los avances y los resultados de las nuevas determinaciones Metrológicas fundamentales y las diversas resoluciones científicas de carácter internacional, y se adoptan las decisiones relativas a la organización y desarrollo del BIPM.

Para asegurar la unificación mundial de las mediciones físicas, el BIPM:

- establece los patrones fundamentales y las escalas de las principales magnitudes físicas,
- efectúa y coordina las determinaciones relativas a las constantes físicas,
- conserva los prototipos internacionales,
- coordina las comparaciones de patrones mantenidos en los laboratorios nacionales de metrología,
- asegura la coordinación de las técnicas relacionadas con las mediciones.

---

## 1.2 Unidades

Las unidades del Sistema Internacional de Unidades, SI, son establecidas por la Conferencia General de Pesas y Medidas (CGPM) bajo cuya autoridad funciona la Oficina Internacional de Pesas y Medidas (BIPM - *Bureau International des Poids et Mesures*) con sede en Francia. Las definiciones internacionales de las unidades son las publicadas por el BIPM. La CGPM decidió establecer el SI, basado en siete unidades bien definidas. Estas son las llamadas unidades de base que se listan en la tabla 1.1. Originalmente, las medidas de base o fundamentales se llamaban así por ser consideradas independientes entre sí y permitir, a su vez, la definición de otras unidades. Los patrones correspondientes eran medidas materializadas que se conservaban en lugares acordados y bajo condiciones determinadas. Los avances científicos y técnicos así como la disponibilidad de instrumentos de mayor exactitud han dado por resultado que, con excepción del kilogramo, las unidades de base se definan actualmente de diferente forma, con base en experimentos físicos <sup>[2]</sup>.

| MEDIDA                   | UNIDAD    |
|--------------------------|-----------|
| Longitud                 | metro     |
| Masa                     | kilogramo |
| Tiempo                   | segundo   |
| temperatura              | kelvin    |
| intensidad<br>luminosa   | candela   |
| corriente eléctrica      | ampere    |
| cantidad de<br>sustancia | mol       |

**Tabla 1.1 Medidas y sus unidades.**

En rigor, se podría argumentar que en algunos casos las unidades básicas no son estrictamente independientes entre sí. Por ejemplo, el metro ya no se define contra el antiguo metro prototipo - una barra de iridio-platino - y la definición actual involucra el concepto de segundo, otra unidad de base. En igual forma, la candela, unidad de base de la

---

intensidad luminosa, se define en términos del hertz ( $s^{-1}$ ) y del watt ( $m^2.kg.s^3$ ), ambas unidades derivadas, y del estereorradián<sup>1</sup>, una unidad derivada adimensional.

Sin embargo, se considera que el SI, entendido como el conjunto de unidades básicas y de unidades derivadas, es un sistema coherente por las razones siguientes:

- las unidades básicas están definidas en términos de constantes físicas, con la única excepción del kilogramo, definido en términos de un prototipo,
- cada magnitud se expresa en términos de una única unidad, obtenida por multiplicación o división de las unidades de base y de las unidades derivadas adimensionales,
- los múltiplos y submúltiplos se obtienen por medio de multiplicación con una potencia exacta de diez,
- las unidades derivadas se pueden expresar estrictamente en términos de las unidades básicas en sí, es decir, no conllevan factores numéricos.

Los trabajos de definición y refinamiento de las unidades del SI persiguen en todo momento que sean coherentes con las ya existentes. Como vimos anteriormente, de estas unidades base se deriva un gran número; algunas de las que están consideradas como unidades derivadas en el SI. De estas unidades derivadas quizás resulte conveniente destacar dos, que anteriormente se conocían como unidades “complementarias”, y que son las empleadas para medir los ángulos planos, en el caso del radián (rad) y los ángulos sólidos, en el caso del estereorradián (sr). También se les conoce como unidades no-dimensionales o adimensionales. El neper y el bel, cuyo uso es aceptado pero que no forman parte integral del SI, son también adimensionales [2].

En el SI se establece además una serie de reglas y convenciones que tienen que ver con el uso de unidades mixtas, la forma de seleccionar e identificar los prefijos, el uso de múltiplos y submúltiplos, la ortografía, el uso de mayúsculas y minúsculas, de singular y plural, el agrupamiento de dígitos, el redondeo de valores, etc.

<sup>1</sup> En algunos países se emplea el término **esterradián**.

Estas reglas no son aún totalmente de aplicación universal; en algunos países de América, por ejemplo, se sigue usando el punto y no la coma para señalar la separación de los decimales. En todo caso, es importante conocer estas reglas.

Adicionalmente, existen unidades que, sin ser del SI, están aceptadas para su uso concomitante y son conocidas como unidades adicionales<sup>2</sup>, ver tabla 1.2. Algunas de ellas se utilizan en forma temporal en tanto su uso es substituido por las aceptadas, otras únicamente en campos especializados, por ejemplo el quilate (ct) en joyería.

| NOMBRE              | SIMBOLO | EXPRESION EN UNIDADES SI                              |
|---------------------|---------|-------------------------------------------------------|
| <u>Tiempo</u>       |         |                                                       |
| Minuto              | Min     | 1 min = 60 seg.                                       |
| Hora                | H       | 1h = 60 min = 3600 seg.                               |
| Día                 | D       | 1d = 24 h = 86400 seg.                                |
| <u>Angulo plano</u> |         |                                                       |
| Grado               | °       | 1° = ( $\pi/180$ rad)                                 |
| Minuto              | '       | 1'=(1/60°)=( $\pi/10\ 800$ ) rad.                     |
| Segundo             | ''      | 1''=(1/60)'=( $\pi/648000$ )rad.                      |
| <u>Volumen</u>      |         |                                                       |
| Litro               | l, L*   | 1L=1 dm <sup>3</sup> =10 <sup>-3</sup> m <sup>3</sup> |
| <u>Masa</u>         |         |                                                       |
| Tonelada            |         |                                                       |
| Tonelada Métrica    | T       | 10 <sup>3</sup> Kg.                                   |

**TABLA 1.2 Unidades adicionales aceptadas para uso con el SI.**

Otras unidades, cuyo uso no está aceptado con el SI, se siguen utilizando en algunos contextos y en algunos países, por ejemplo la dina y el stokes. Si vemos la estructura jerárquica de los patrones, notamos que podemos describirla como una pirámide en cuyo vértice tenemos el grupo de patrones que corresponden a las unidades de base del SI de las que ya hemos hablado.

<sup>2</sup> También se consideran unidades adicionales: el electronvolt (eV), la unidad atómica unificada (u) y la unidad astronómica (ua).

---

La segunda posición corresponde al conjunto de patrones nacionales. En el siguiente nivel se localizan los patrones de referencia, que sirven para preparar los patrones de trabajo a nivel operativo. El conjunto de patrones del nivel operativo (patrones de trabajo) constituye la base de la pirámide.

La cadena de instituciones encargadas de operar el SI está encabezada por el BIPM, le siguen los Laboratorios Nacionales de Metrología, a continuación están los Laboratorios de Calibración y por último los Laboratorios de Trabajo. Los laboratorios nacionales de metrología, custodian los patrones nacionales y tienen la responsabilidad de diseminar las unidades SI a los laboratorios acreditados de calibración de sus respectivos países.

Los laboratorios de calibración aseguran que los equipos de medición así como los patrones de referencia y de trabajo estén acordes con los patrones nacionales. Los laboratorios de ensayos, en el nivel de trabajo, son los encargados de evaluar la conformidad de productos que van a ser certificados. Para sus trabajos, utilizan patrones de referencia, que son calibrados contra los patrones nacionales del estrato anterior. Finalmente, encontramos las organizaciones o instituciones que utilizan los patrones de trabajo, empleados por la industria y otros sectores, los cuales suelen ser calibrados contra patrones de referencia y éstos a su vez contra patrones nacionales. Un concepto importante en la metrología es el de la llamada trazabilidad<sup>3</sup>. Por ello se entiende la propiedad de una medición o del valor de un patrón, de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continua de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.

La posibilidad de determinar la trazabilidad de cualquier medición descansa en el concepto y las acciones de calibración y en la estructura jerárquica de los patrones de la que ya hablamos. Para los metrologos, se entiende por calibración: un conjunto de operaciones que establece, bajo condiciones específicas, la relación entre los valores indicados por un instrumento de medición, sistema de medición, valores representados por una medida materializada o un material de referencia y los valores correspondientes a las magnitudes

---

3 Algunos opinan que el término correcto es rastreabilidad y no trazabilidad, se ha conservado éste último a lo largo de este documento por ser el comúnmente empleado por los metrologos.

establecidas por los patrones. Algunos, indebidamente, le llaman calibración a un proceso de comprobación o verificación que permite asegurar que entre los valores indicados por un aparato o un sistema de medición y los valores conocidos correspondientes a una magnitud medida, los desvíos sean inferiores a los errores máximos tolerados.

Por otra parte, los metrologos suelen tomar en consideración las principales causas de error en las mediciones, causas que pueden ser o no conocidas y controlables y que pueden deberse a factores del medio ambiente en el que se llevan a cabo las mediciones, a defectos de construcción o de calibración de los aparatos empleados, a fallas del operador o a la propia interpretación de los datos, o a factores aleatorios.

---

### **1.3 Tipos de metrología.**

Por conveniencia, se hace a menudo una distinción entre los diversos campos de aplicación de la metrología; suelen distinguirse como Metrología Científica, Metrología Legal y Metrología Industrial.

#### **1.3.1 Metrología científica.**

Es el conjunto de acciones que persiguen el desarrollo de patrones primarios de medición para las unidades de base y derivadas del Sistema Internacional de Unidades, SI.

#### **1.3.2 Metrología industrial.**

La función de la metrología industrial reside en la calibración, control y mantenimiento adecuados de todos los equipos de medición empleados en producción, inspección y pruebas. Esto con la finalidad de que pueda garantizarse que los productos están de

---

conformidad con normas. El equipo se controla con frecuencias establecidas y de forma que se conozca la incertidumbre de las mediciones <sup>[2]</sup>.

La calibración debe hacerse contra equipos certificados, con relación válida conocida a patrones, por ejemplo los patrones nacionales de referencia.

### **1.3.3 Metrología legal.**

Según la Organización Internacional de Metrología Legal (OIML) es la totalidad de los procedimientos legislativos, administrativos y técnicos establecidos por, o por referencia a, autoridades públicas y puestas en vigor por su cuenta con la finalidad de especificar y asegurar, de forma regulatoria o contractual, la calidad y credibilidad apropiadas de las mediciones relacionadas con los controles oficiales, el comercio, la salud, la seguridad y el ambiente.

---

## **1.4 Léxico.**

Para poderse entender, los metrologos utilizan un léxico acordado internacionalmente por medio del Vocabulario Internacional de Metrología (VIM), las definiciones mas importantes se nombran en esta sección, el resto del vocabulario metrológico se encuentra en el apéndice A.

### **Magnitud (medible)**

Atributo de un fenómeno, de un cuerpo o de una sustancia, que es susceptible de distinguirse cualitativamente y de determinarse cuantitativamente.

### **Medición**

Conjunto de operaciones que tienen por finalidad determinar el valor de una magnitud.

---

**Exactitud de medición**

Grado de concordancia entre el resultado de una medición y el valor verdadero (o real) de lo medido (el mensurando).

**Repetibilidad** (de los resultados de mediciones)

Grado de concordancia entre los resultados de mediciones sucesivas de un mismo mensurando, llevadas a cabo totalmente bajo las mismas condiciones de medición.

**Reproducibilidad**

Grado de concordancia entre los resultados de las mediciones de un mismo mensurando, llevadas a cabo haciendo variar las condiciones de medición.

**Incertidumbre**

Parámetro, asociado al resultado de una medición, que caracteriza la dispersión de los valores que, con fundamento, pueden ser atribuidos al mensurando.

---

**1.5 Longitud en la metrología**

En relación con la incertidumbre, es de notar que entre los metrologos existen dos escuelas. Una enfoca la incertidumbre como un elemento para denotar la uniformidad del resultado en mediciones repetidas. La otra usa el término para indicar que se miden diferencias entre los resultados. En ambos casos recordemos que la incertidumbre no es sino el intervalo de

---

confianza. Los dos enfoques son válidos según el campo de aplicación, ya sea en laboratorios de trabajo o en laboratorios nacionales.

En el continente americano, con la creación y los trabajos del Sistema Interamericano de Metrología, SIM, se está buscando lograr la mayor integración y coherencia posible en aspectos de metrología.

### **1.5.1 Longitud en metrología.**

Intuitivamente todos conocemos lo que es longitud o largo. En la práctica, lo que realmente medimos es la distancia o separación entre dos puntos y considerando que la definición de patrones actualmente se orienta al empleo de constantes universales, es importante estar conscientes de que la longitud implica distancia. Se estima que un 80% de las mediciones hechas en la industria tienen que ver con desplazamiento y por lo tanto con longitud. En el año de 1800, se consideraba adecuada una exactitud de 0,25 mm para las mediciones de longitud, hoy se habla de intervalos para los requerimientos que van del campo de la nanotecnología hasta el campo de la geofísica.

### **1.5.2 Historia de la definición internacional de la unidad de medida de longitud.**

Originalmente, el metro se definió como la diezmillonésima parte de la longitud de un cuadrante del meridiano terrestre e inicialmente se determinó midiendo un arco de meridiano entre Dunkerque en Francia y Barcelona en España, ciudades ambas a nivel del mar; sobre esta base se construyó en 1799 el llamado mètre des Archives, primera materialización del metro. Posteriormente al establecimiento del internacional “Tratado del Metro” en 1875, una copia de este prototipo se constituyó en 1889 como el metro prototipo internacional. Este metro prototipo, una barra de iridio-platino que aún se conserva en París, se consideraba estable y preciso, al igual que sus copias, y se utilizó hasta 1960, fecha en la cual fue reemplazado por una definición basada en la longitud de onda de cierta línea espectral naranja de la luz emitida por el isótopo 86 del krypton. En la 17ª

---

Conferencia General de Pesas y Medidas de 1983 se modificó a la definición actual, la cual está relacionada con la velocidad de la luz en el vacío (299 792 458 metros por segundo).

### **Definición**

*La unidad de longitud es el **metro** (símbolo **m**) que se define como la longitud de la trayectoria recorrida por la luz en el vacío durante un intervalo de tiempo de  $1/299\,792\,458$  de segundo.*

Para hacer prácticas las mediciones de longitud, se requiere una transferencia de un patrón expresado en términos de la velocidad de la luz hacia un patrón o artefacto físico. Para medir longitudes del orden del metro se emplean métodos interferométricos. El método consiste en comparar la longitud a ser medida con la longitud de onda de una radiación luminosa cuya frecuencia  $f$  ha sido previamente determinada con gran exactitud. La referencia utilizada es la longitud de onda de la radiación producida por un láser, estabilizado ya sea en frecuencia o en longitud de onda.

Por ejemplo, con un láser de helio-neón estabilizado con cámara de metano, se miden longitudes de onda de 3 392,231 397 327 nm con incertidumbre relativa de  $3 \times 10^{-12}$  mientras que con un láser de argón estabilizado con cámara de yodo se miden longitudes de onda de 514,673 466 4 nm con una incertidumbre relativa del orden de  $2,5 \times 10^{-10}$ . En la actualidad, existen modelos portátiles de láser estabilizados, los cuales le han permitido al BIPM hacer comparaciones y calibraciones in situ en una región sin requerir que varios laboratorios nacionales de metrología se vean obligados a llevar sus aparatos a París para su calibración. Con estas calibraciones a base de láser, los países pueden contar con sus patrones nacionales.

De estos patrones nacionales se derivarán de acuerdo a la cadena que ya vimos, los patrones de calibración y los patrones de ensayo y de trabajo tales como cintas métricas, reglas y otros. Asimismo, de éstos se originan todos los artefactos empleados en la vida

---

diaria para medir la longitud. En adición a los métodos basados en fuentes luminosas, también se utilizan bloques patrón de medida. Se trata de bloques metálicos o cerámicos, altamente pulidos, cuyas extremidades tienen un paralelismo de alta calidad, y que se pueden combinar en la cantidad necesaria para obtener la longitud deseada con una exactitud adecuada a los fines, ya sea que se trate de bloques de calibración o de trabajo. Los bloques patrón calibrados por interferometría pueden constituir la materialización del patrón y de Patrones y materiales de referencia ellos, por comparación mecánica, se derivan patrones secundarios.

### **Incertidumbres**

Como mencionamos anteriormente, en los patrones, utilizando los láseres estabilizados se pueden obtener incertidumbres relativas de medición de longitud del orden de  $10^{-9}$  y  $10^{-12}$ .

### **Equipos de medición**

Longitud, anchura, altura, espesor, diámetro, son todas medidas lineales y se han desarrollado numerosos instrumentos para poder medirlas en forma simple y con la exactitud requerida en cada caso.

Así tenemos, entre otros: reglas (de madera, metal o plástico, rígidas o plegables), cintas métricas (de metal, plástico o tela), calibradores (de alta precisión, para tuercas y tornillos, para engranajes), micrómetros, nonios o verniers, bloques patrón, medidores de ángulos, divisores (también conocidos como compases de puntas o bigoterías), medidores de diámetro interior o exterior, medidores de redondez o de planos, rugosímetros, etc. Estos instrumentos pueden basarse en métodos mecánicos, neumáticos, ópticos o electrónicos. Según el tipo de instrumento y el uso al que esté destinado, se establecen en cada caso tolerancias de exactitud.



## Capítulo II

### LabView

En el presente capítulo se da un panorama general sobre el software Labview de National Instruments, herramienta que se utilizó para generar la aplicación que controla la barra Thomson.

---

## **2.1 Programación Gráfica.**

A diferencia de los Sistemas de programación convencionales que utilizan lenguajes basados en texto para crear un conjunto de líneas de código (instrucciones), los Sistemas de Programación Gráfica crean los programas en forma de dibujos, llamados Diagramas de Bloques. Un Diagrama de Bloques está formado por un conjunto de símbolos gráficos que representan operaciones, conectados entre sí, de acuerdo con la lógica impuesta por el programa que se ha desarrollado. Además de funciones matemáticas, existen las habituales en otros lenguajes de programación que permiten realizar bucles, bifurcaciones, manejo de ficheros, etc. Una mención especial merecen aquellas funciones relacionadas con la adquisición y tratamiento de muestras procedentes de señales externas, que se hacen llegar a la computadora a través de tarjetas de adquisición de datos <sup>[5]</sup>.

La entrada y salida de datos se realiza mediante elementos dispuestos en un panel frontal que constituye la interfaz con el usuario del programa. Se le conoce como controles (entradas) e indicadores (salidas) y también se les representan con símbolos que corresponde a los elementos habituales encontrados en elementos y cuadros de control de instalaciones industriales.

---

## **2.2 Labview.**

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 mediante una consola interactiva basado en software. Se puede diseñar especificando su sistema funcional, su diagrama de bloques o una notación de diseño de ingeniería. Labview es a la vez compatible con herramientas de desarrollo similares y puede trabajar con programas de otra área de aplicación, por ejemplo Matlab <sup>[6]</sup>. Tiene la

ventaja de permitir una fácil integración con hardware, específicamente con tarjetas de medición, adquisición y procesamiento de datos (incluyendo adquisición de imágenes).

Programación rápida: este lenguaje de programación permite desarrollar de una forma más 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 sume dos números, definitivamente construirlo bajo Labview es más tardado y tedioso, sería más sencillo mediante un programador de texto donde simplemente se incluya 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 programación gráfico, ver figura 2.1.

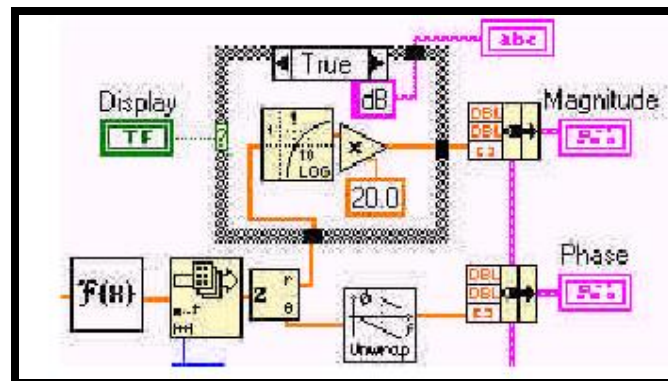


FIGURA 2.1 Ejemplo de código grafico.

### 2.2.1 Características de Labview.

Una de las principales características de Labview es: modularidad <sup>[5]</sup>, es decir, la capacidad de utilizar bloques funcionales para la definición de la especificación.

Labview permite conectarse a otras aplicaciones mediante un intercambio de datos como Active X, librerías dinámicas, bases de datos, Excel y/o a protocolos de comunicación como DataSocket, TCP/IP, UDP, RS-232, USB entre otras.

Una característica de cada aplicación o función consiste en que se puede 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 en todos sus variables de entrada información o que las tareas predecesoras hayan terminado de ejecutarse. Debido al lenguaje gráfico el compilador con que cuenta Labview es más versátil ya que sobre el mismo código de programación se puede ver fácilmente el flujo de datos, así como su contenido.

Labview también puede ser un programa en tiempo real donde la aplicación trabaja sin la necesidad de otro sistema operativo, este programa denominado Labview RT viene con su propio “Kernel” que se encarga de la administración de las tareas <sup>[6]</sup>.

Mediante un constructor de aplicaciones también es posible generar un archivo que puede ejecutarse fuera de Labview.

### **2.2.2 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 monitoreo en transportación, laboratorios para clases en universidades, procesos de control industrial.

Labview es muy utilizado en procesamiento digital de señales, procesamiento en tiempo real de aplicaciones biomédicas, manipulación de imágenes y audio, automatización, diseño de filtros digitales, generación de señales, entre otras, etc.

### **2.2.3 Programación gráfica con Labview**

Cuando se diseñan programas con Labview está trabajando siempre bajo algo denominado VI, es decir, un instrumento virtual, se pueden crear VI a partir de especificaciones funcionales que uno diseñe. Este VI puede 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 una o

varias salidas y por su puesto ser reutilizables, como se muestra en la figura 2.2.



Figura 2.2 Icono de VI.

## 2.2.4 Diseñando la interfaz de usuario a partir de su código.

En el ambiente de trabajo de Labview existen dos paneles, el panel frontal y el panel de programación; en el panel frontal se diseña la interfaz con el usuario y en el panel de programación se relacionan los elementos utilizados en la interfaz mediante operaciones que determinan en sí como funciona el programa o el sistema, exactamente es la parte donde se realizan las especificaciones funcionales, en la figura 2.3 se muestra una interfaz de usuario.

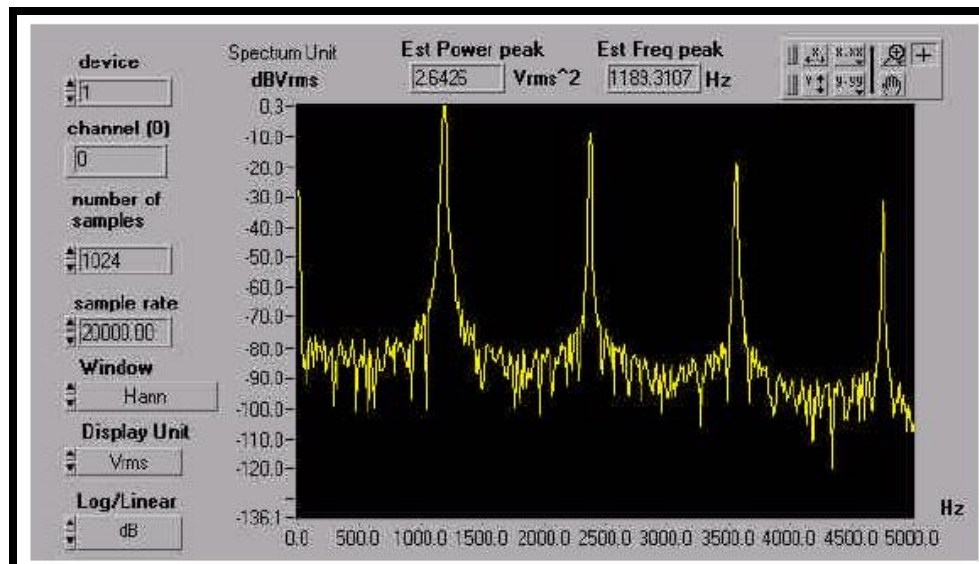


Figura 2.3 Interfaz con el usuario.

En el panel de programación usted puede diseñar de manera gráfica y como si fuera un diagrama de bloques el funcionamiento de su sistema.

---

La programación gráfica se basa en la realización de operaciones mediante la asignación de iconos que representen los datos numéricos e iconos que representan los procedimientos que se deben realizar (VI's), con estos iconos y mediante una conexión simple como lo es una línea recta se enlazan para determinar una operación y/o una función <sup>[5]</sup>.

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, por ejemplo un dato booleano se caracteriza por ser una conexión verde, cada tipo de dato se identifica con un color diferente dentro de Labview; también es necesario tener en cuenta que cuando se realiza una conexión a un VI esta conexión se identifica por un tipo de dato específico, que debe coincidir con el tipo de dato de la entrada del VI (aunque esto no necesariamente es cierto ya que puede haber varios tipos de datos conectados de VI a VI, además de que un arreglo de datos ``cluster`` puede albergar varios tipo de variables) permitiendo una concordancia en el flujo de datos; no siempre el tipo de dato de la entrada del VI es el mismo que el de la salida, pero sin embargo para la mayoría de los casos si se cumple. El flujo de datos va de izquierda a derecha en el panel de programación y esta determinado por las operaciones o funciones que procesan los datos. Es fácil observar en el panel de programación como se procesan 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. Otros objetos como gráficas y accesos directos a páginas web cumplen estas mismas condiciones.

### **2.2.5 Modularidad.**

Cuando se ha diseñado la aplicación usted puede definirla como un VI, de esta forma se puede reutilizar en un nuevo programa, esto se hace mediante la selección del diagrama funcional y la opción crear VI, usted también puede diseñar el símbolo que represente su aplicación y definir las entradas y las salidas, esto consiste en la asignación de cada variable de entrada a un sub-bloque dentro del bloque general que representa el símbolo.

---

### 2.2.6 Compilador Gráfico

En Labview se realiza la compilación bajo el principio básico de programación de forma gráfica. Debido a que se trabaja con flujo de datos es fácil ver el comportamiento de estos a través del programa, teniendo la posibilidad de ver el depurador ejecutarse paso a paso, se puede observar como cambian los datos en cualquier parte del programa, y como van pasando de una función a otra dentro del diagrama de bloques. El compilador optimiza internamente el código manteniendo una buena velocidad en la ejecución del programa.

---

### 2.3 Controles.

La programación gráfica de Labview consta de un panel frontal y un panel de código como se menciona anteriormente. En el panel frontal es donde se diseña la interfase de usuario y se ubican los controles e indicadores. En el panel de código se encuentran las funciones, ver figura 2.4, cada control que se utiliza en la interfaz tiene una representación en el panel de código, igualmente los indicadores necesarios para entregar la información procesada al usuario tienen un icono que los identifica en el panel de código o de programación[6].



Figura 2.4. Paleta de controles.

---

Los controles pueden ser booleanos, numéricos, palabras, un arreglo matricial de estos o una combinación de los anteriores; los indicadores pueden ser como los controles pero pudiéndolos visualizar como tablas, gráficos en 2D o 3D, browser, entre otros.

---

## 2.4 Funciones

Las funciones pueden ser VI's prediseñados y que pueden ser reutilizados en cualquier aplicación, estos bloques funcionales constan de entradas y salidas, igual que en un lenguaje de programación estándar las funciones procesan las entradas y entregan una o varias salidas, estos VI pueden también estar conformados de otros subVI's y así sucesivamente, de esta forma se pueden representar como un árbol genealógico donde un VI se relaciona o depende de varios SubVI's.

Labview tiene VIs de adquisición de datos e imágenes, de comunicaciones, del procesamiento digital de señales, de funciones matemáticas simples, hasta funciones que utilizan otros programas para resolver problemas, otras mas complejas como "nodos de formula" que se utilizan para la resolución de ecuaciones editando directamente estas como en lenguajes de programación tradicionales y definiendo las entradas y las salidas<sup>[5]</sup>.



Figura. 2.5 Paleta de Funciones

---

Labview también se puede utilizar para graficar en tres dimensiones, en coordenadas polares y cartesianas, tiene disponibles herramientas para análisis de circuitos RF como la Carta de Smith, tiene aplicaciones en manejo de audio y se puede comunicar con la tarjeta de sonido del computador para trabajar conjuntamente.

Entre sus muchas funciones especiales se encuentran las de procesamiento de imágenes, como capturar una imagen a través de una tarjeta de adquisición como la PCI-1408 (monocromática), analizarla y entregar respuestas que difícilmente otros sistemas realizarían.

---

## **2.5 Adquisición de datos**

Labview como su nombre lo indica es un lenguaje que se enfoca hacia el laboratorio, la realización de mediciones y por lo tanto la adquisición y análisis de datos. Mediante el uso de tarjetas es posible obtener señales analógicas o digitales a partir de una conexión al bus del PCI en una computadora, estas tarjetas se diferencian por el número de muestras por segundo que pueden realizar, por el número de bits (resolución) y por el número de canales que manejan. Por ejemplo una tarjeta de bajo costo como la PCI-1200 realiza 100KS/s, con una resolución de 8 bits para 3 puertos digitales de entrada salida y dos de salida analógica junto con 12 bits de resolución para 8 canales de entrada análogos, y puertos de temporización, convertidores digitales a analógico (DAC) y demás componentes básicos. La tarjeta se debe programar para definir los niveles de voltaje que debe manejar y si son bipolares o unipolares. Las características de la tarjeta se pueden configurar con la herramienta “Measurement & Automation” ó conocida conocida como MAX que se instala en el escritorio como un icono. Esta herramienta permite verificar que tarjetas hay instaladas en la computadora, esto solo para el caso de tarjetas de adquisición de datos o de imágenes de National Instruments. Labview también permite comunicarse con otras tarjetas mediante el puerto paralelo, serial, USB, bluetooth, etc.

---

Con este software se pueden diseñar en C las DLL para el funcionamiento de las tarjetas, estas DLL se pueden integrar a Labview y a todas su funcionalidad o creadas desde otros programas clásicos como Visual Basic o Borland C<sup>[6]</sup>.

---

## 2.6 Análisis de datos.

Labview es una herramienta que tiene bastante aplicación en el análisis de datos, se puede decir que dentro de los tópicos básicos: adquisición, análisis y presentación, el análisis de datos es la más importante y la más robusta. Desde luego siempre lo que se desea es analizar variables reales, como la temperatura, la velocidad, entre otras; por lo tanto es necesario convertir esas variaciones a algo que la computadora pueda procesar, las tarjetas de adquisición realizan esa labor y la interfaz tiene la función de presentar esos datos ya analizados y procesados. El análisis de datos se convierte por lo tanto en una de las potencialidades de Labview ya que se puede manejar mas fácilmente la señal que se quiere analizar, ya sea análoga o digital (o también podría ser una imagen), y por ejemplo aplicarle un algoritmo que aplique la transformada de Fourier y obtener la respuesta de manera inmediata.

Como bastantes de las funciones utilizadas para procesamiento digital de señales ya están prediseñadas el problema de construir algoritmos se reduce solo a saber aplicarlos, en la figura 2.6 aparece un ejemplo de código de análisis.

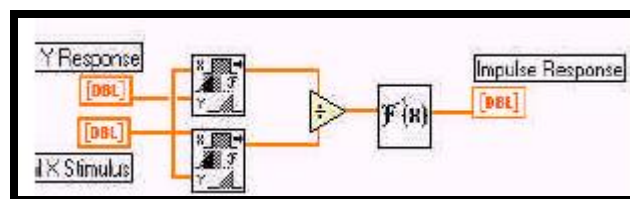


Figura 2.6 Análisis de datos.

---

## 2.7 Presentación de datos Panel de Control

Cuando se diseño por primera vez Labview este lenguaje no permitía diseñar de forma flexible la interfaz con el usuario, en las versiones actuales el programador diseña su instrumento y el programa se encarga de optimizar el código. La interfaz de todas formas esta limitada a los controles e indicadores que proporciona Labview, de cualquier manera usted puede usar otro tipo de controles (controles Active X), o diseñar uno propio a partir de otro lenguaje de programación.

Al iniciar 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, por el ejemplo la herramienta de conexión esta representada por un carrete.

Para ejecutar y depurar el programa se tienen varios iconos en la parte superior de los dos paneles y 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 una versatilidad del programa, ayudándonos a conseguir mas fácilmente los elementos que necesitamos, además de ahorrarnos tener que diseñar VI's que cumplan una tarea para la cual ya existe otro VI. Por todo lo anteriormente mencionado Labview es una herramienta importante para programar y controlar procesos de producción.



## Capítulo III

### Caracterización de la barra thomson

En el presente capítulo se da una descripción del kit de Thomson Inc. modelo APX-232A-DM005-Lxx que incluye una barra o “slide”, un servomotor y un servo “drive”. Sobre la barra Thomson se montarán los sensores de desplazamiento que se necesiten calibrar. La calibración será la comparación del valor analógico del sensor montado contra la posición que proporcione el equipo Thomson.

---

### **3.1 Introducción.**

Debido a la necesidad en la industria de la automatización en donde se requiere un alto grado de exactitud en el posicionamiento de objetos, Thomson Inc. crea los AXI PAK que son paquetes diseñados para aplicaciones de control de movimiento, están compuestos de un Servo Drive, un Servo Motor (tipo Brushless), un “Slide” o barra de desplazamiento y un software de control y configuración llamado OmniLink.

Las ventajas que ofrecen los paquetes AXI PAK son varias como que pueden ser reconfigurables, drive exclusivamente de posición, modularidad, diversas formas de operación, alta precisión.

---

### **3.2 Configuración.**

Los AXI PAK pueden ser configurados de cuatro formas dependiendo del tipo de aplicación y características de control <sup>[9]</sup>:

- control por servo o controlador por pasos.
- posicionamiento básico.
- encoder de esclavo a maestro.
- control a través del puerto serial.

#### **3.2.1 Control por servo ó controlador por pasos.**

Un AXI PAK sin indexado para control directo por medio de un servo ó un controlador de pasos. Que acepta voltajes analógicos para control de torque y velocidad de  $\pm 10V$ , con lo cual se controlan los parámetros mencionados a través de

las señales analógicas mencionadas, ver figura 3.1.

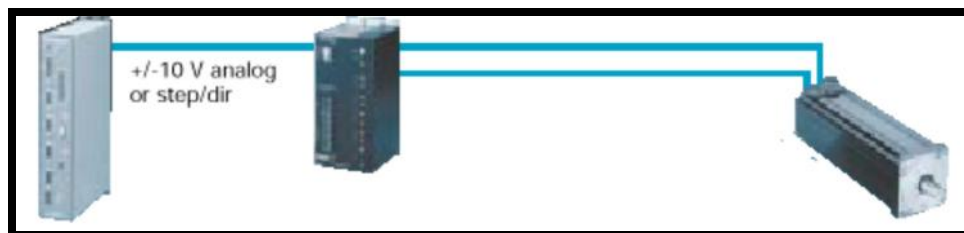


Figura 3.1 Diagrama de control por seguidor de pasos.

### 3.2.2 Posicionamiento básico.

Para aplicaciones básicas de posicionamiento punto a punto, el AXI PAK con la opción de indexado permite al drive realizar mas de ocho movimientos, controlado con I/O digitales del drive. Y en muchos casos separa la tarjeta de movimiento no es necesaria. Pudiendo conectar tarjetas de I/O, PLC, o un simple panel de switches, como en la figura 3.2.

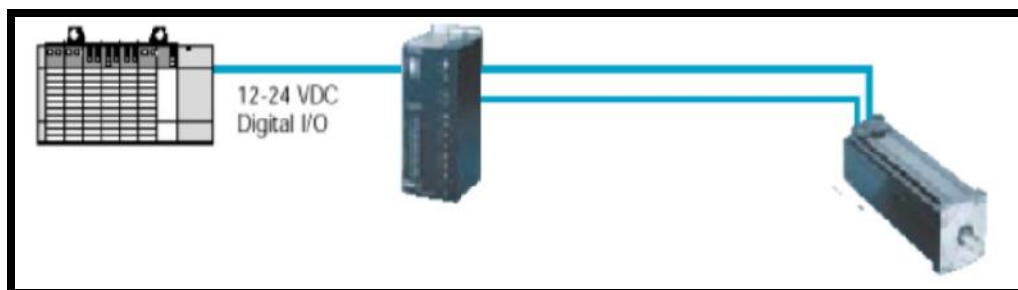
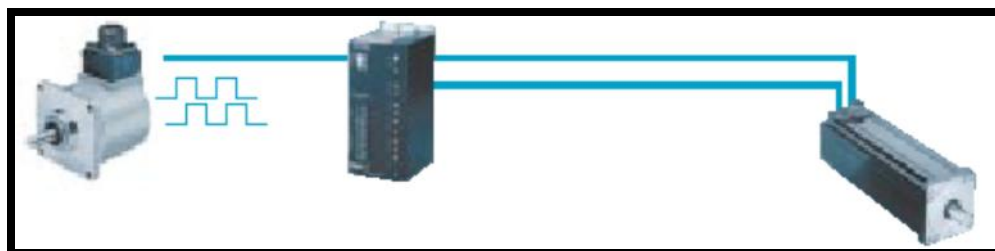


Figura 3.2 Diagrama de control por indexado.

### 3.2.3 Encoder de esclavo a maestro.

Con este tipo de configuración se pueden incrementar las opciones que nos brindan los AXI PAK ya que puede seguir un encoder o inclusive conectar a otro AXI PAK ó varios sin necesidad de una gran configuración, a través de un tren de pulsos es como se

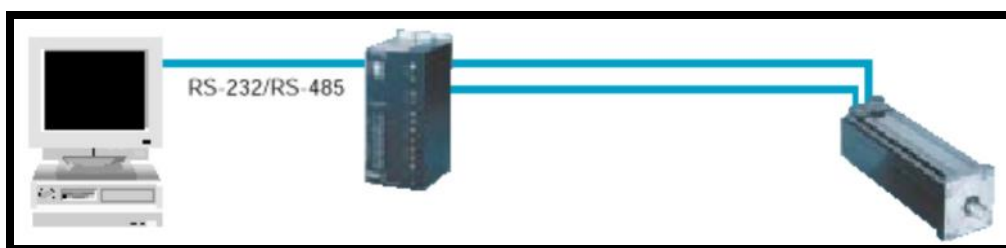
puede controlar la posición, ver figura 3.3.



**Figura 3.3 Configuración encoder de esclavo a maestro.**

### **3.2.4 Control a través del puerto serial.**

Los AXI PAK pueden ser controlados a través de un conjunto de comandos mediante una interfase de puerto serial. De esta forma una PC, PLC o cualquier host de computadora puede cambiar todos los parámetros, ver figura 3.4.



**Figura 3.4 Control por puerto serial.**

En resumen los drives digitales inteligentes pueden ser configurados en varias formas, en modos de torque, posición o velocidad, y pueden aceptar el estándar de  $\pm 10V$  en señales para comandos analógicos, para la tarjeta de control de movimiento, los comandos digitales del organizador "host" de la computadora vía el link serial, o por vía de las entradas de "step" y dirección y funciones de alto desempeño, sus I/O programables con velocidades preestablecidas permitiendo al usuario una variedad de velocidades, e incluso pueden admitir un "encoder" maestro con vestidura electrónica. También el indexado es capaz de realizar una alta variedad de movimientos de diferentes posiciones, movimientos iniciados por I/O definidas las rutinas por el usuario.

---

### 3.3 El poder y la flexibilidad de OmniDrive.

El cerebro de todos los AXI PAK son los servo drives digitales OMNIDRIVE. Convenientes para aplicaciones de control de movimiento. Con características como:

- **Comunicación.** Son provistas a través de los Standard de puerto RS-232/RS-485, y ONMI LINK que es un software que corre en la PC para una rápida configuración y movimientos a puntos específicos, sobre ambiente Windows.
- Varios **módulos de operación** son posibles incluir:
  - Torque analógico
  - Velocidad
  - Posición
  - Velocidad o torque preestablecida
  - El seguidor con el engranaje electrónico
  - Entradas de pasos y dirección
  - Y comandos por puerto serial.
- **Precisión en control de motor** es provista a través de una completa y precisa posición digital, corriente y lazos, con señale de retroalimentación, algoritmos especiales de control mas la última generación de módulos de poder IGBT aseguran una alto desempeño y rentabilidad.
- **Diseño totalmente digital** nos proporciona lo último en desempeño, rasgos y funcionalidad por tanto es estable en tiempo y temperatura.
- **Con la opción de indexado** se extiende la funcionalidad de los recorridos a ocho perfiles de recorridos comenzando por las I/O digitales.
- **I/O Flexibles** ya que el usuario es el que las puede definir. Las entradas pueden ser establecidas como lo muestra la tabla 3.1 ( Se conservan los nombres de cada una de las señales en ingles tal como se encuentran en el manual).

- 
- **Rangos de poder** que van desde .05 -1 a 2kw para la versión mini que se utiliza en este proyecto, y hasta 15kw para la versión full. Con voltajes de 24V en las I/O.

| <b>Entradas configurables como:</b> | <b>Salidas configurables como:</b> |
|-------------------------------------|------------------------------------|
| drive mode select                   | integrator inhibit                 |
| follower enable                     | forward enable                     |
| reverse enable                      | mode override                      |
| preset/index select                 | start index                        |
| define home                         | start homing                       |
| fault reset                         | registration sensor                |
| in position                         | within window                      |
| zero speed                          | speed window                       |
| current limit                       | up to speed                        |
| drive enabled                       | bus charged                        |
| disabling fault                     | in motion                          |
| in dwell                            | sequence complete                  |
| registered                          | integrator inhibit                 |
| drive mode select                   |                                    |

**Tabla 3.1 Entradas y salidas configurables.**

---

### **3.4 El software Omnilink.**

Todos los paquetes AXI PAK vienen acompañados con el software Omnilink, de ambiente Windows basado en una interfase de instrumentos para configuración y diagnostico, todo lo anterior es provisto en una interface completamente gráfica <sup>[7]</sup>. El drive se configura dando clic en las apropiadas opciones o introduciendo los valores apropiados de ajustes para el PID, velocidades, direcciones corrientes y voltajes dependiendo de la aplicación. En la figura 3.5 se muestra la ventana principal de Omnilink donde tenemos los iconos de para set up, visualización y configuración. Para abrir Set Up se da clic en el icono Drive Set Up en donde se establece el tipo de drive a utilizar (ODM

005i), el tipo de motor (BLX232A2), el modo de operación, además de definir el ancho de banda de la comunicación.

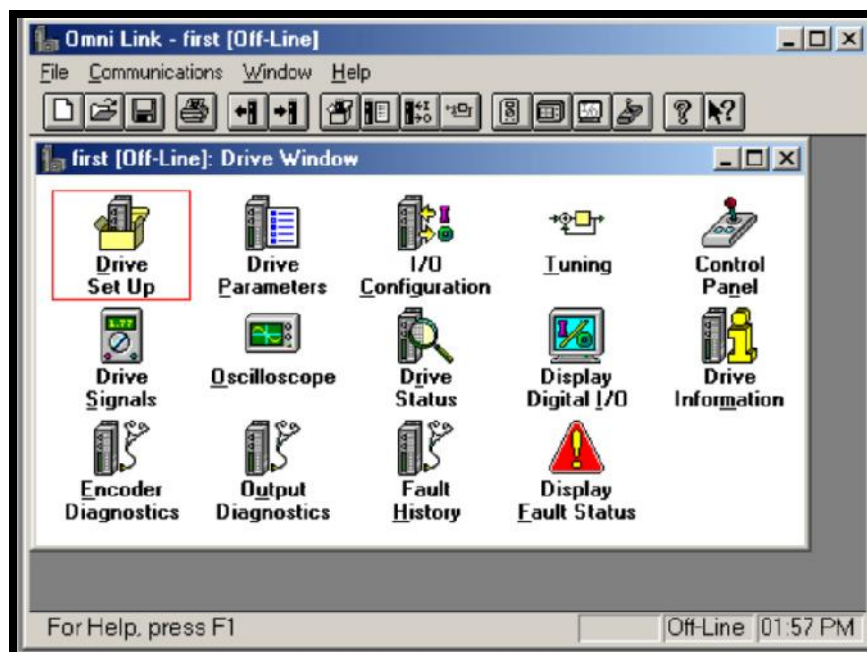


Figura 3.5 Ventana principal de Omnilink.

Para obtener los parámetros del motor o restaurar a valores definidos por el software, todas las opciones se observan en la figura 3.6.

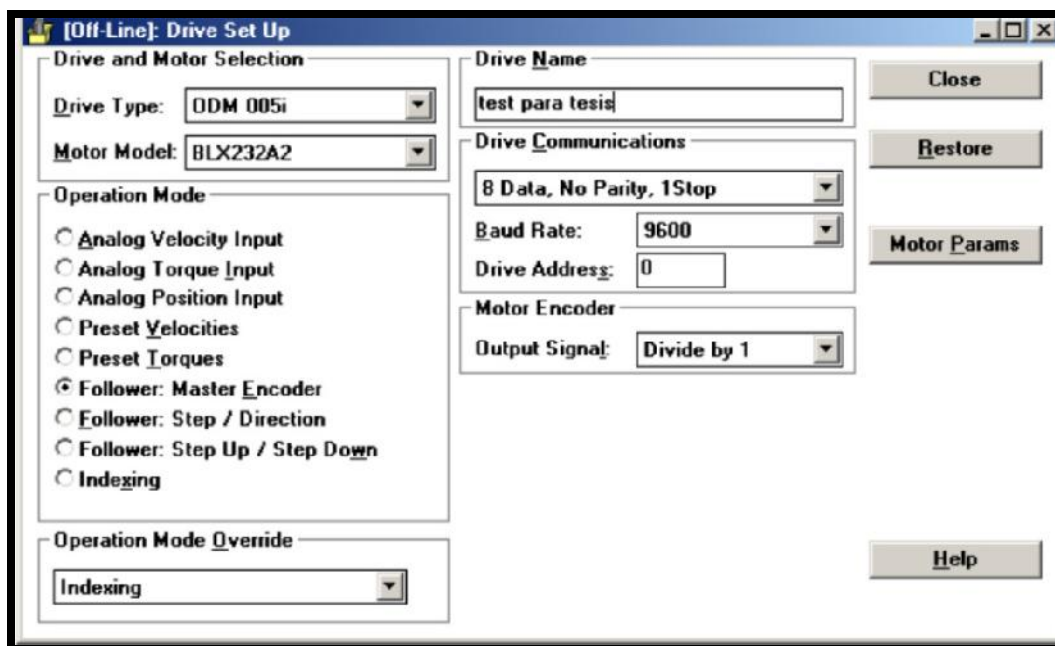


Figura 3.6 Ventana de drive set up.

---

En cuanto a la configuración tenemos los iconos de “*Drive Parameters*” en donde se establecen las corrientes límites, velocidades, la proporción de engranaje o relación entre “master” y “Encoder”, además de establecer las características de la posición de inicio o la forma en que el drive llevara al motor a su posición de “home” ó referencia. También encontramos *I/O Configuration* en donde se configuran las entradas analógicas y digitales al que el usuario puede acceder y recibir del Drive. En la opción *Tuning* se configura el tipo de ganancia además del tipo de tuning, y el ancho de banda del filtro pasa bajas que usa Omni Link y las ganancias del PID.

---

### 3.5 Servo controlador Omni drive.

El OMNIDRIVE es parte de una familia de controladores universales digitales, usa los microcontroladores para manipular digitalmente las corrientes, velocidad y posición. Donde todos los parámetros del controlador son fijados por software. Los servo drives digitales OMNIDRIVE incorporan en sus diseños altos desempeños debido a su microcontroladores los que dan rasgos de flexibilidad, dando facilidad en diseños totalmente digitales para control <sup>[13]</sup>.

En este caso nos dirigiremos al Omni drive de Thomson Inc. ODM 005i, en la figura 3.7 se muestran algunos omni drives de este tipo.



Figura 3.7 Servo Drivers de Industrias Thomson.

---

Debido a sus características mencionadas en la tabla 3.2 lo hacen una buena opción para las características de nuestro proyecto.

| CARACTERISTICAS                                                    |
|--------------------------------------------------------------------|
| • Requiere alimentación externa de 12 – 24 V.                      |
| • Salidas de 500W- 2KW.                                            |
| • Posee rangos de Torque de 0.17 Nm a 2.5 Nm (1.5 a 22.5 lb. -in). |
| • Tecnología IPM (Modulo Inteligente de Energía).                  |
| • Interfaces Análogas y Digitales.                                 |
| • Control de encoger.                                              |
| • Encoger en salidas.                                              |
| • Entradas Digitales y Analógicas.                                 |
| • Alimentación de 124V de AC.                                      |
| • Memoria EEPROM.                                                  |
| • Circuitería de protección.                                       |
| • Fuente de Comandos para puerto serial.                           |
| • Fuente de comandos analógicos.                                   |

**Tabla3.2 Características del servo drive.**

---

### **3.6 Servo motor**

Un servomotor (servo) es un dispositivo electromecánico en el cual una entrada eléctrica determina la posición de la armadura de un motor. Los servos se utilizan extensivamente en robótica, industria automotriz, control industrial, aeroplanos, y barcos radio-controlados, etc, debido a la gran precisión que se puede lograr con este tipo de motores.

El servomotor *brushless* (sin cepillo) consiste en un rotor permanente del imán, un estator con tres fases (típicamente; aunque los motores existen con muchas fases), y un sensor de posición del rotor *para forzar* la conmutación. Debido a la forma de construcción de un servomotor tipo brushless, las pérdidas del motor están casi enteramente en el estator dando por resultado un traspaso térmico más eficiente. El diseño con cepillo del motor tiene una inercia más baja del rotor, alta velocidad potencial del rotor, y altos voltajes de fuente del motor.

| CARACTERISTICAS DEL MOTOR                                               |
|-------------------------------------------------------------------------|
| • Diseño magnético y termal dando altos desempeños en torque vs tamaño. |
| • Encoders internos, para mayor precisión y confiabilidad.              |
| • Alta energía magnética para mayor torque.                             |
| • Switches internos de temperatura.                                     |
| • Libre de Mantenimiento a motores tipo brushless.                      |
| • Encoder conmutador interno de 2000 líneas (8000 cuentas).             |
| • Reconocimiento UL y cUL.                                              |
| • Brakes internos de 24VDC.                                             |

**Tabla3.3 Características del motor.**

En la tabla 3.3 se menciona algunas de las características más relevantes del motor utilizado en este proyecto. Y en la tabla 3.4 se proporcionan las características eléctricas.

| PARAMETROS                    | SIMBOLO | UNIDADES               | BLX232A  |
|-------------------------------|---------|------------------------|----------|
| Poder de rotación             | Pr      | Hp                     | .22      |
| Velocidad de pr               | N rated | Rpm                    | 4000     |
| Velocidad máxima de operación | N max   | Rpm                    | 5000     |
| Picos de torque               | Tp      | In-lb                  | 15       |
| Inercia del rotor             | Jm      | Lb-in-s <sup>2</sup>   | 0.000097 |
| Peso                          | W       | Lb                     | 3        |
| Numero de polos               |         |                        | 4        |
| Constante de torque           | Kt      | In-lb/A                | 1.81     |
| Constante de voltaje          | Ke      | V <sub>rms</sub> /krpm | 18.2     |
| Resistencia (frío)            | Rc      | Omh                    | 8.4      |
| Resistencia (caliente)        | Rh      | Omh                    | 12.6     |

**Tabla 3.4 Características eléctricas del servomotor tipo brushless 232A.**

En la figura 3.8 muestra las características de velocidad contra torque de la combinación servo motor – servo drive, cabe mencionar que en la aplicación debido a sus características de bajo nivel de torque requerido, esta no es un obstáculo.

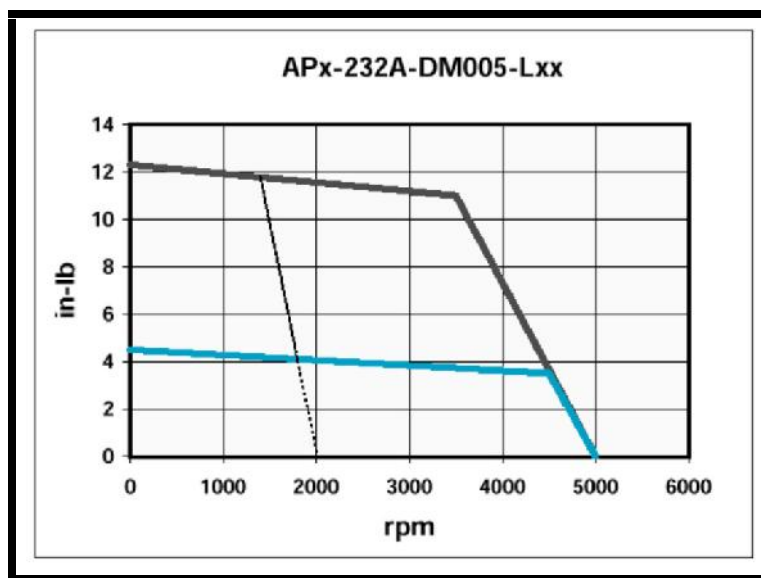


Figura 3.8 Curva de velocidad vs torque.



## Capítulo IV

### Conclusión de la automatización

En el presente capítulo se explica la forma en que está ideado y construido el software que controla el kit de Thomson, sus componentes, su lógica, además de explicar su relación con el hardware que sirve como interface de protección entre la DaqCard y el kit de Thomson Inc. Cabe recalcar que el sistema está desarrollado con un 0.0125% ó 12.5 $\mu$ m/m de exactitud de acuerdo a hoja de datos del sistema Thomson, lo cual nos provee la certeza de estar utilizando un equipo de alta precisión.

---

#### **4.1 Automatización.**

La automatización es un sistema donde se transfieren tareas de producción, realizadas habitualmente por operadores humanos a un conjunto de elementos tecnológicos.

Un sistema automatizado consta de dos partes principales:

- Parte de mando
- Parte operativa.

La *Parte Operativa* es la parte que actúa directamente sobre la máquina. Son los elementos que hacen que la máquina se mueva y realice la operación deseada. Los elementos que forman la parte operativa son los accionadores de las máquinas como motores, cilindros, compresores y los sensores como fotodiodos, sensores de fin de carrera.

La *Parte de Mando* suele ser un autómata programable (tecnología programada), aunque hasta hace bien poco se utilizaban relés electromagnéticos, tarjetas electrónicas o módulos lógicos neumáticos (tecnología cableada). En un sistema de fabricación automatizado el autómata programable está en el centro del sistema. Este debe ser capaz de comunicarse con todos los constituyentes de sistema automatizado.

##### **4.1.1 Objetivos de la automatización.**

Los objetivos generales se enlistan a continuación.

- Mejorar la productividad de la empresa, reduciendo los costos de la producción y mejorando la calidad de la misma.
- Mejorar las condiciones de trabajo del personal, suprimiendo los trabajos penosos e incrementando la seguridad.
- Realizar las operaciones imposibles de controlar intelectual o manualmente.

- Mejorar la disponibilidad de los productos, pudiendo proveer las cantidades necesarias en el momento preciso.
- Simplificar el mantenimiento de forma que el operario no requiera grandes conocimientos para la manipulación del proceso productivo.
- Integrar la gestión y producción.

La estructura final del sistema es la que se observa en la figura 4-1. que cumple con los objetivos de la automatización, compuesta de una PC y un servo drive que funciona como parte de mando, en la computadora se encuentra el programa principal “Calibrador Thomson” y Omnilink, en el servo drive se encuentra grabadas las posiciones requeridas por el tipo de transductor que se calibrara, una DaqCard que sirve como interface de comunicación entre la PC y el servo drive, un circuito de protección de la DaqCard, debido a que las salidas y entradas de la DaqCard son de 5V, y el servo drive funciona con 12V, un servo drive en donde se controla el posicionamiento del servo motor, un servomotor que controla el posicionamiento de la barra y una barra.

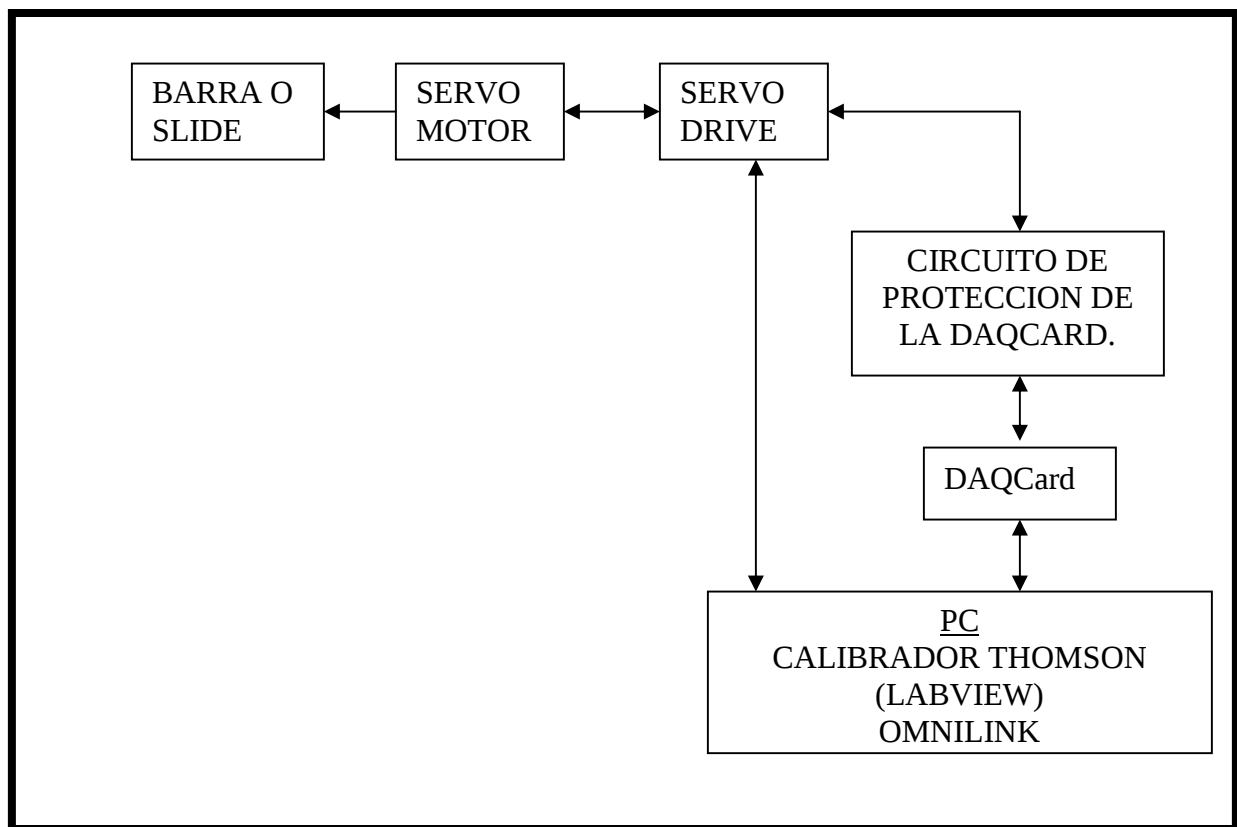


Figura 4.1. Diagrama a bloques del sistema de la barra Thomson.

## 4.2 Jerarquías.

En toda organización se requiere de jerarquías así como lo es en todo programa basado en módulos o como es el caso de los VIs en LABView, donde los VIs son reutilizados en varias secciones del programa, por lo cual basta con solo llamar al VIs indicado que se va a reutilizar. En la figura 4.2 se muestra la organización estructural o jerárquica del programa utilizado para la calibración de transductores de desplazamiento. En donde se muestra la organización de los VI's utilizados en el programa.

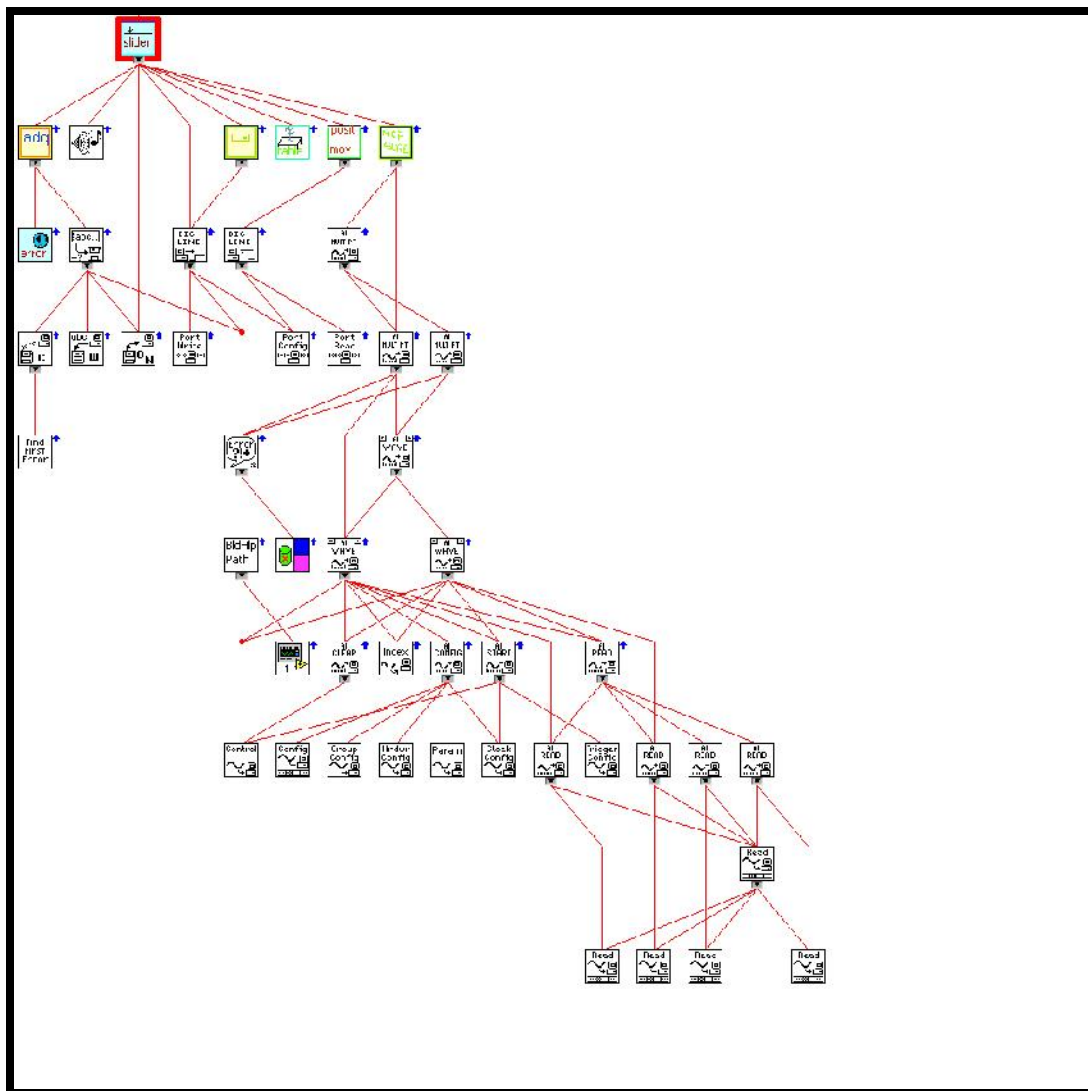


Figura 4.2 Jerarquías de los VI's utilizados en el programa principal.

---

La jerarquía más alta es el programa principal, que es representada por el icono del VI que aparece en la parte superior de la figura 4.2 , de éste se desprenden las siguientes seis rutinas que serán utilizadas en varias partes del programa principal y que son el siguiente nivel jerárquico y así sucesivamente hacia llegar al VI de menor jerarquía ó de menor importancia, todas las relaciones se muestran por las líneas rojas.

---

#### 4.3 Descripción del software.

En la figura 4-3, se encuentra el panel de control del programa de calibración en donde se visualizan los controles y los indicadores desde donde se realizará la configuración, adquisición y el control.

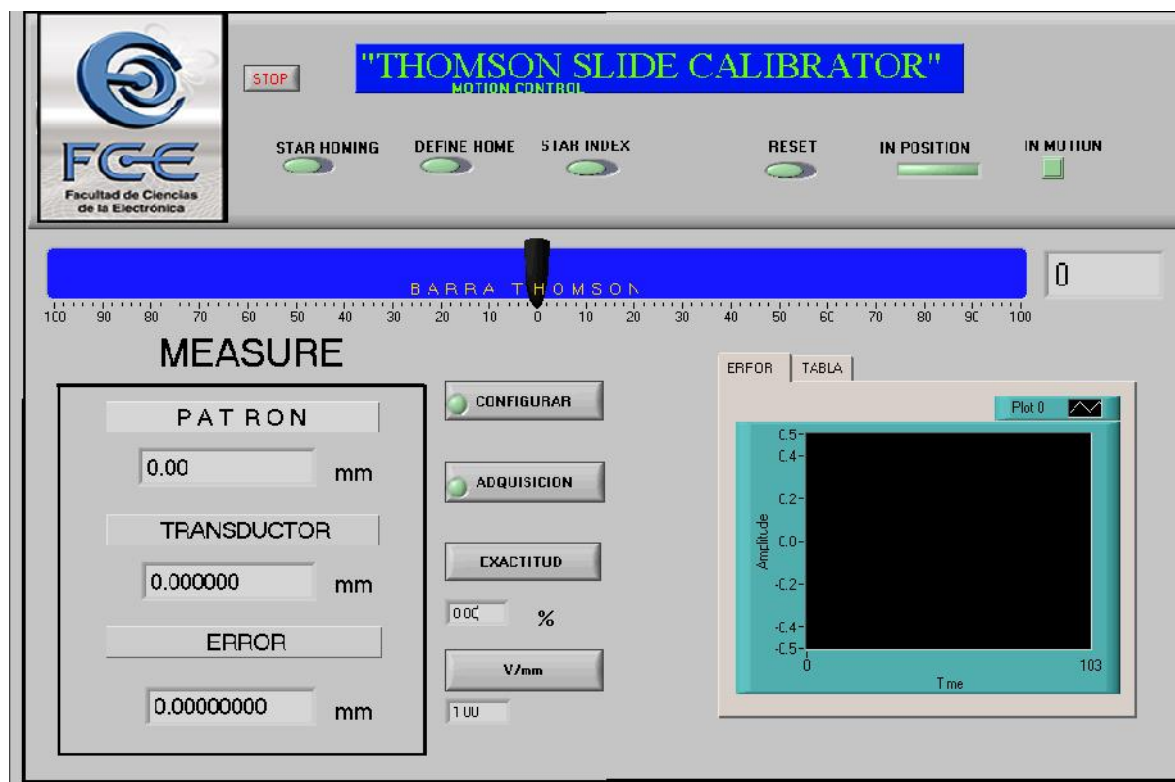


Figura 4.3 Ventana del programa principal de calibración.

---

Para una mejor comprensión del software se desglosa de la siguiente manera.

En la ventana de calibración encontramos diferentes secciones:

- Botonera de control.
- Botones de configuración.
- Lectura de datos.
- Lectura de estado.
- Adquisición.

En la botonera de control se encuentran las siguientes opciones:

- Start Homing.
- Define Home.
- Start Index.
- Reset.
- Stop.

En la sección de estado encontramos dos indicadores:

- In Position.
- In Motion.

En la sección de lectura de datos se hallan los siguientes indicadores:

- Barra gráfica.
- Display digital del Patrón de trabajo en milímetros.
- Display digital del Transductor en milímetros.
- Display digital del error en milímetros.
- Graficador del error.
- Generador de tabla.

---

Sección de configuración:

- Botón Configurar.
- Botón de adquisición.
- Botón de exactitud en porcentaje.
- Botón de V/mm.

Sección de adquisición:

- Botón de adquisición.
- Teclado / No teclado.

#### **4.3.1 Configuración.**

Tenemos tres botones en la sección de configuración, al presionar sobre exactitud, se proporciona al software en porcentaje el grado de exactitud mínimo requerido para que el transductor que se este calibrando cumpla con este parámetro. Al presionar sobre el botón de V/mm, damos al programa el factor de amplificación de la señal analógica que entra desde el amplificador del transductor hacia la DaqCard. Al presionar el botón de configuración se exhibirá la ventana de configuración como en la figura 4.4, con las siguientes componentes:

- Tipo de adquisición.
- Calibrando.
- Guardar en.
- Omnilink.
- Valores.

---

| TIPO DE ADQUISICION |          | CALIBRANDO       |        |
|---------------------|----------|------------------|--------|
| GUARDAR EN          | OMNILINK | VALORES          |        |
|                     |          | NUMERO DE CICLOS | 1      |
|                     |          | POSICION INICIAL | 10.00  |
|                     |          | POSICION FINAL   | -10.00 |
|                     |          | NUMERO DE PUNTOS | 11     |
|                     |          | INTERVALO        | 2      |

**Figura 4.4 Ventana de configuración.**

En la ventana de “Tipo de Adquisición” se puede seleccionar entre botón o ventana, esto indica al programa que tipo de adquisición se realizará si del tipo manual que se activa al seleccionar botón, o ventana que es una adquisición automática, en esta opción se establece un tiempo en segundos para la leer el valor del transductor después de que se ha estabilizado la barra.

En la ventana de “Calibrando” se introducen dos tipos de datos el nombre del transductor en la “Calibrando” y “numero de inventario”, y en “Cadena” aparece por default “Barra Thomson”.

En la ventana de “Guardar en” se señala la dirección o “path” en donde se generará el nuevo archivo con los datos de la calibración.

En la ventana de “Omnalink” seleccionamos el archivo que contiene la configuración del servo drive dependiendo del rango del transductor a calibrar.

En la ventana de “Valores” se introduce el número de ciclos deseados, la posición inicial del transductor, la posición final del transductor, el número de puntos de prueba, y muestra el programa el valor en milímetros de los pasos.

---

#### **4.3.2 Control.**

En la botonera de control al presionar “Define Home” establecemos un cero para la barra Thomson o un “home”, y es la posición donde se encuentra el cero del transductor.

“Start Homing” al ser presionado manda a la barra Thomson a su home o posición de cero.

El botón de “Start Index” manda a iniciar el movimiento de la barra según la configuración que tenga el servo drive.

El botón de “Stop” cierra el ciclo de calibración y manda a la ventana Principal.

#### **4.3.3 Estado.**

En el modo de indexado en el que se encuentra configurado el sistema, el servo drive manda dos señales a nuestro programa que son “In Motion” cuando la barra se encuentra en movimiento, y “In Position” cuando ha alcanzado una estabilidad, y ha llegado a la posición que se le ha ordenado.

#### **4.3.4 Lectura de datos.**

La barra gráfica muestra el desplazamiento gráficamente de la barra Thomson.

Los displays digitales muestran el valor en milímetros del patrón de trabajo, es decir la Barra Thomson, el transductor que se este calibrando y por supuesto el error.

En la gráfica se plotea el error del transductor.

Si el usuario prefiere observar una tabla de los datos que esta generando la calibración, debe seleccionar la pestaña “Tabla” y ahí estarán los siguientes datos numéricos de la adquisición: valor del patrón, valor del transductor, valor del error.

#### **4.3.5 Adquisición.**

En esta aparecerá un botón de “Teclado/ No Teclado” para el caso de la adquisición manual, para el caso de la adquisición automática no aparece botón alguno, está inicia al presionar el botón de “Adquisición”

---

#### 4.3.6 SubVI.

Los subVIs son rutinas útiles al programa principal, que se utilizan varias veces en la rutina principal, para el programa “Calibrador Thomson” se utilizaron los siguiente subVIs:

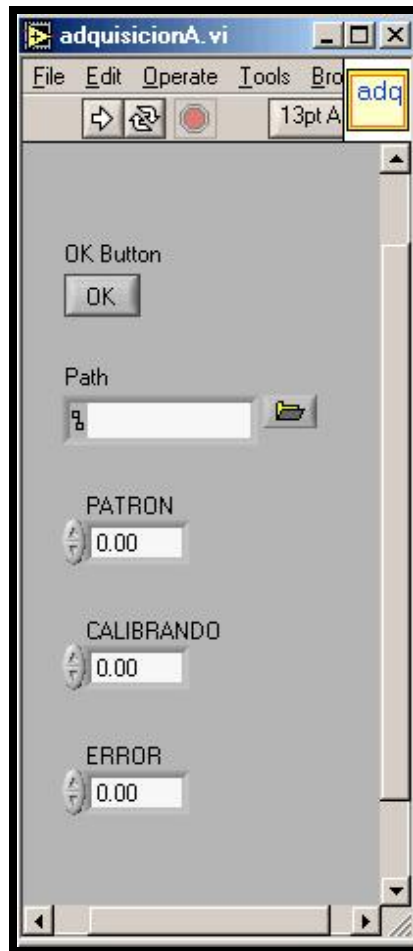
- Adquisición.
- Tabla.
- Control.
- Firmas.
- Measure.
- Position-Motion.

El subVI de adquisición se presenta en la figura 4.5, destinado a adquirir y procesar la señal analógica del transductor y posteriormente enviar los datos a un archivo de texto.

En el subVI de adquisición se retienen los datos que van a guardar en el archivo:

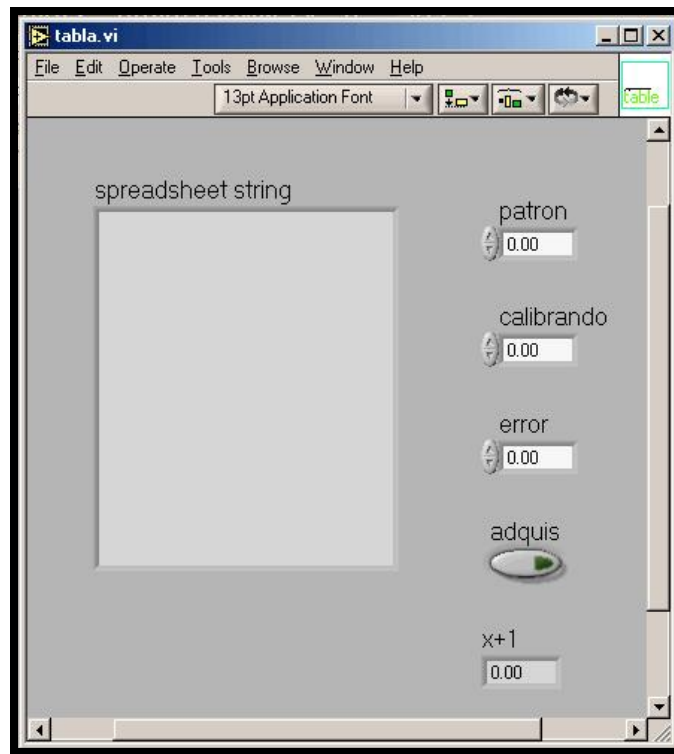
- Patrón.
- Calibrando.
- Error.

Al mismo tiempo contamos con el controlador “Path”, que indicará la dirección de memoria del archivo donde se guardarán los datos, además del botón “OK” que indica el momento en que se deben tomar esos datos y mandarlos a escribir al archivo correspondiente. Conjuntamente este subVI evalúa el error; si ha sobrepasado el máximo permitido, manda un mensaje de “OUT”, en caso contrario un mensaje de “OK”.



**Figura 4.5 VI de Adquisición.**

El subVI “tabla.vi” se representa en la figura 4.6, es el panel de control de tabla, en él localizamos la tabla en la que se mostrarán los datos adquiridos por el programa, cuenta con los controles numéricos de patrón, calibrando y error, cuenta con un indicador numérico que nos mostrará el numero de adquisiciones que se llevan, y el botón adquisición que indica al programa el momento en que se debe de llevar a cabo la adquisición y mandar a tabla los datos adquiridos.



**Figura 4.6 VI encomendado a la creación de la tabla.**

El VI de control se encuentra en la figura 4.7, se muestran los botones designados para el control de movimiento de la barra:

- Start Index.
- Define Home.
- Start Homing.
- Reset.
- Enable.



Figura 4.7 VI designado al control de movimiento.

El VI “measure” está encomendado a seleccionar el puerto de la DaqCard de donde posteriormente se medirá la señal analógica proveniente del sensor de desplazamiento que se está calibrando. Se muestra en la figura 4.8.

En este VI encontramos:

- Botón Teclado / No Teclado.
- Control Numérico Teclado.
- Control Numérico V/mm 2.
- Indicador numérico V/mm 2.
- Indicador numérico Patrón.
- Indicador numérico error.
- Indicador numérico calibrando.

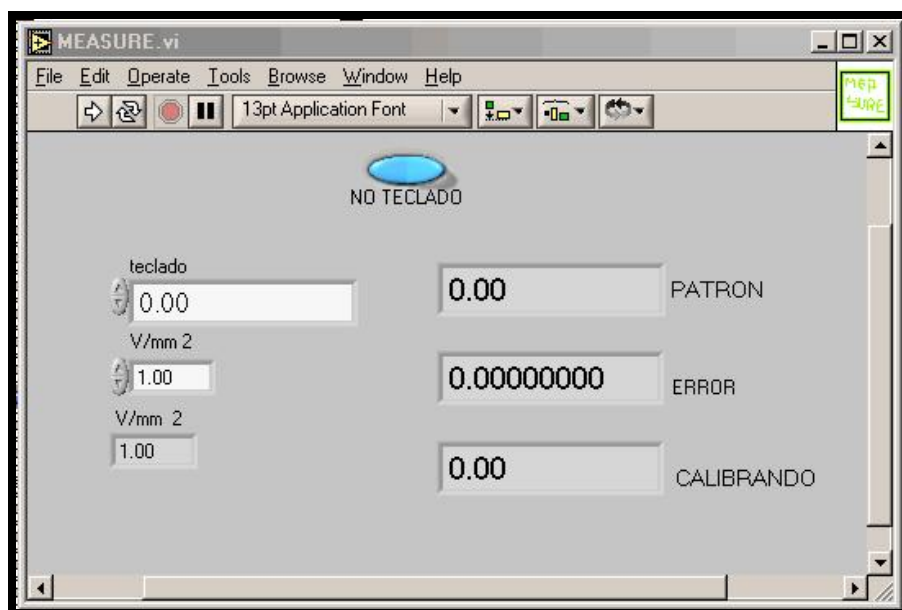


Figura 4.8 VI “measure” encomendado a la lectura de datos.

El botón de “teclado / no teclado” es habilitado en la adquisición manual, y sirve para autorizar el control numérico llamado “teclado”, y es utilizado cuando se realiza una adquisición en modo manual y el amplificador del transductor que se esta calibrando no es conectado a la DaqCard por alguna razón. El control numérico “V/mm 2” es utilizado para establecer la ganancia que tendrá la señal del transductor que se va a calibrar, y este control numérico se habilita cuando se oprime el botón de “Exactitud”, el indicador numérico “V/mm” es el que revela el porcentaje de la exactitud permitida para el transductor a calibrar. Los indicadores numéricos “Patrón”, “Error” y “Calibrando” muestran el valor actual de la posición de la barra, el error del transductor que se esta calibrando, y el valor del transductor que se está calibrando respectivamente. En la figura 4.9, se muestra el VI de “position-motion”, que le da al programa principal información sobre el estado de la barra, es decir si se encuentra en movimiento o si ya ha alcanzado la posición requerida.

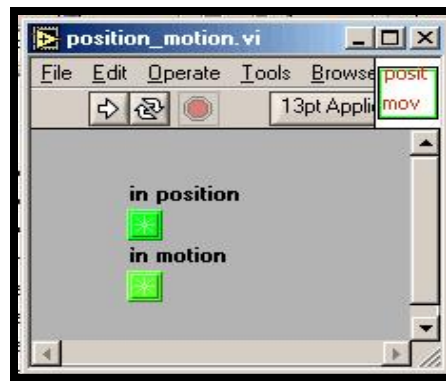


Figura 4.9 VI position-motion.

#### 4.3.7 Generador de reporte.

El reporte muestra en una forma breve el estado del transductor calibrado, además muestra las mediciones tomadas, el archivo es generado en la extensión html, el software crea el encabezado del reporte en el momento en que se oprime el botón crear de la sección de “guardar en:” dentro de configuración. Al momento de la adquisición se agregan al reporte los datos adquiridos, al mismo tiempo que el estado del transductor, es decir el mensaje de “OUT” u “OK” según sea el caso. El mensaje de “OUT” se agrega al reporte en el momento en que el transductor traspase el grado de exactitud mínimo requerido, mientras el mensaje de “OK” surge en el momento que la medición esté dentro de los parámetros establecido de exactitud para el transductor.

Para poder visualizar mejor el reporte, se muestra un ejemplo, figura 10; el transductor calibrado tiene el nombre de “HBM-10” y con numero de inventario “T10-23-E4”, con una exactitud requerida para este transductor de 10 milímetros del 0.01%, la cadena indica contra qué patrón de trabajo se está calibrando para todos los casos será “Barra Thomson”. En el reporte muestra las mediciones y el estado del transductor que al tener “OK” en todas las mediciones es un transductor que ha cumplido con la exactitud requerida y por tanto está listo para su uso.

---

ESTE REPORTE DE CALIBRACION ES DE USO EXCLUSIVO E INTERNO DE VOLKSWAGEN DE MEXICO Y CUMPLE CON LOS LINEAMIENTOS INTERNOS Y NORMA VDA 6.1, DOCUMENTO CREADO EL: 5 DE SEPTIEMBRE DEL 2004.

DATOS DEL TRANSDUCTOR:

| CALIBRANDO | NUM. DE INVENTARIO | EXACTITUD | CADENA        |
|------------|--------------------|-----------|---------------|
| HBM-10     | T10-23-E4          | 0.010000  | BARRA THOMSON |

SI EN ESTADO SE ENCUENTRA UN "OUT" EL TRANSDUCTOR NO PASA LA CALIBRACION.

| PATRON mm | TRANSDUCTOR mm | ERROR mm | ESTADO |
|-----------|----------------|----------|--------|
| -10.000   | -9.9945        | -0.0055  | OK     |
| -8.000    | -7.9991        | -0.0009  | OK     |
| -6.000    | -6.0003        | 0.0003   | OK     |
| -4.000    | -4.0001        | 0.0001   | OK     |
| -2.000    | -1.9988        | -0.0012  | OK     |
| 0.000     | 0.0009         | 0.0009   | OK     |
| 2.000     | 2.0001         | -0.0001  | OK     |
| 4.000     | 4.0005         | -0.0005  | OK     |
| 6.000     | 5.9997         | 0.0003   | OK     |
| 8.000     | 7.9935         | 0.0065   | OK     |
| 10.000    | 9.9992         | 0.0008   | OK     |

METROLOGO:

SUPERVISOR:

**Figura 4.10 Ejemplo del reporte.**

---

#### 4.3.8 Lógica del programa.

El programa en modo normal reacciona a eventos; es decir un cambio de estado de algún botón ó un cambio en el la barra Thomson ó el calibrando que afecta a los indicadores del programa. Excepto en la adquisición automática debido a que el programa entra en una secuencia por lo cual se deben cumplir requisitos para la ejecución correcta de la calibración, la serie de pasos que sigue la adquisición automática se muestra en la figura 4.11 y 4.12. Al finalizar muestra un mensaje de calibración concluida.

Los eventos a los que responde el programa son.

Al presionar sobre el botón configura desaparecerá el Tab de error-tabla, y aparecerá el tab de configuración en la misma ventana, y volverá a aparecer el tab de error-tabla en el momento que sea presionado nuevamente el botón de configuración.

Si se presiona sobre el botón exactitud desaparecerá el indicador digital para aparecer el controlador numérico digital de la exactitud y regresa a su estado normal cuando es deshabilitado el botón nuevamente.

Al ser presionado el botón V/mm se muestra el controlador numérico digital y es ocultado el indicador numérico digital V/mm, si es presionado por segunda vez volverá a aparecer el indicador numérico de V/mm.

En el momento de ser presionado el botón de Stop el programa se detiene y se cierra la ventana del Calibrador Thomson.

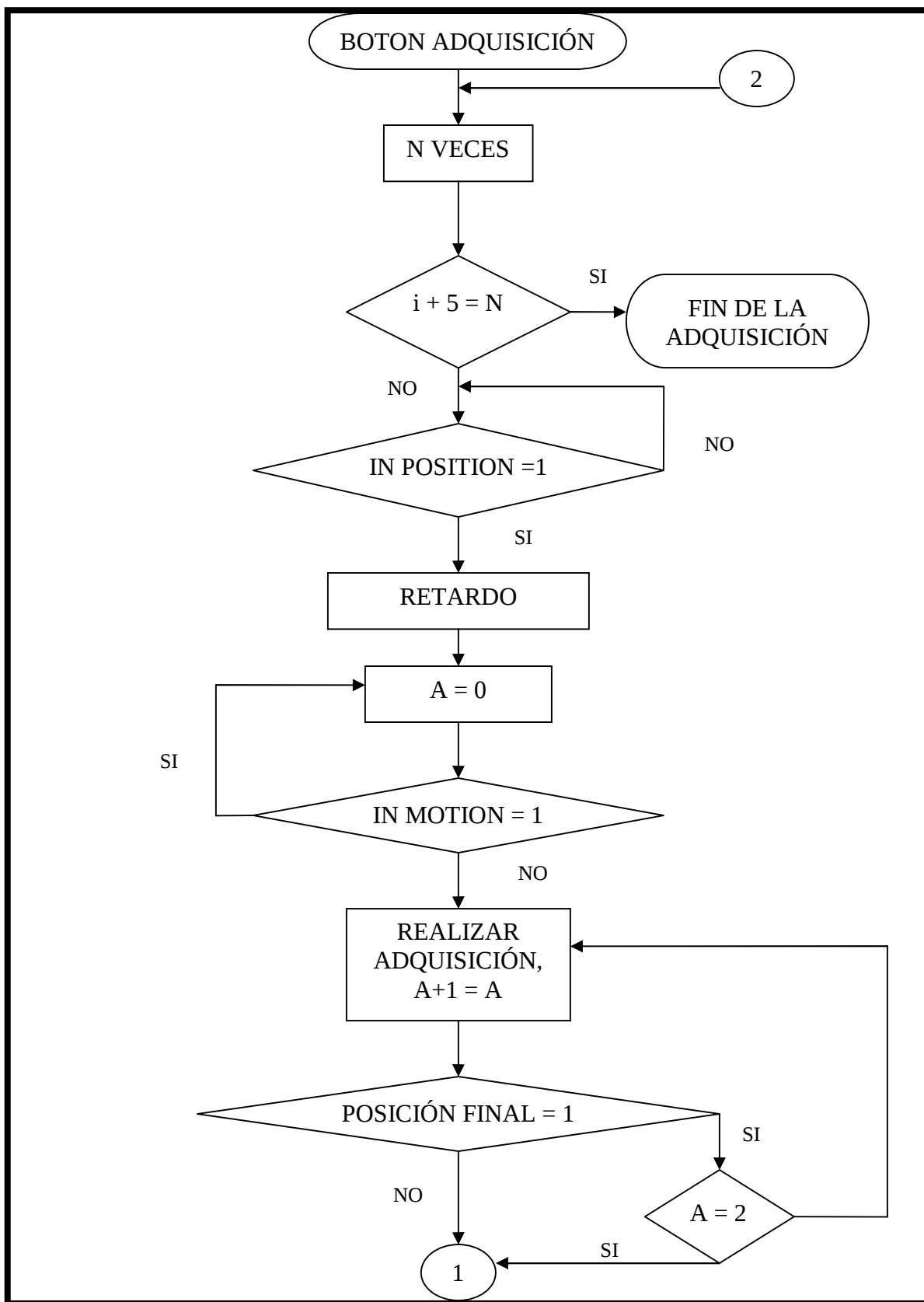


Figura 4.11 Diagrama de flujo del ciclo automático.

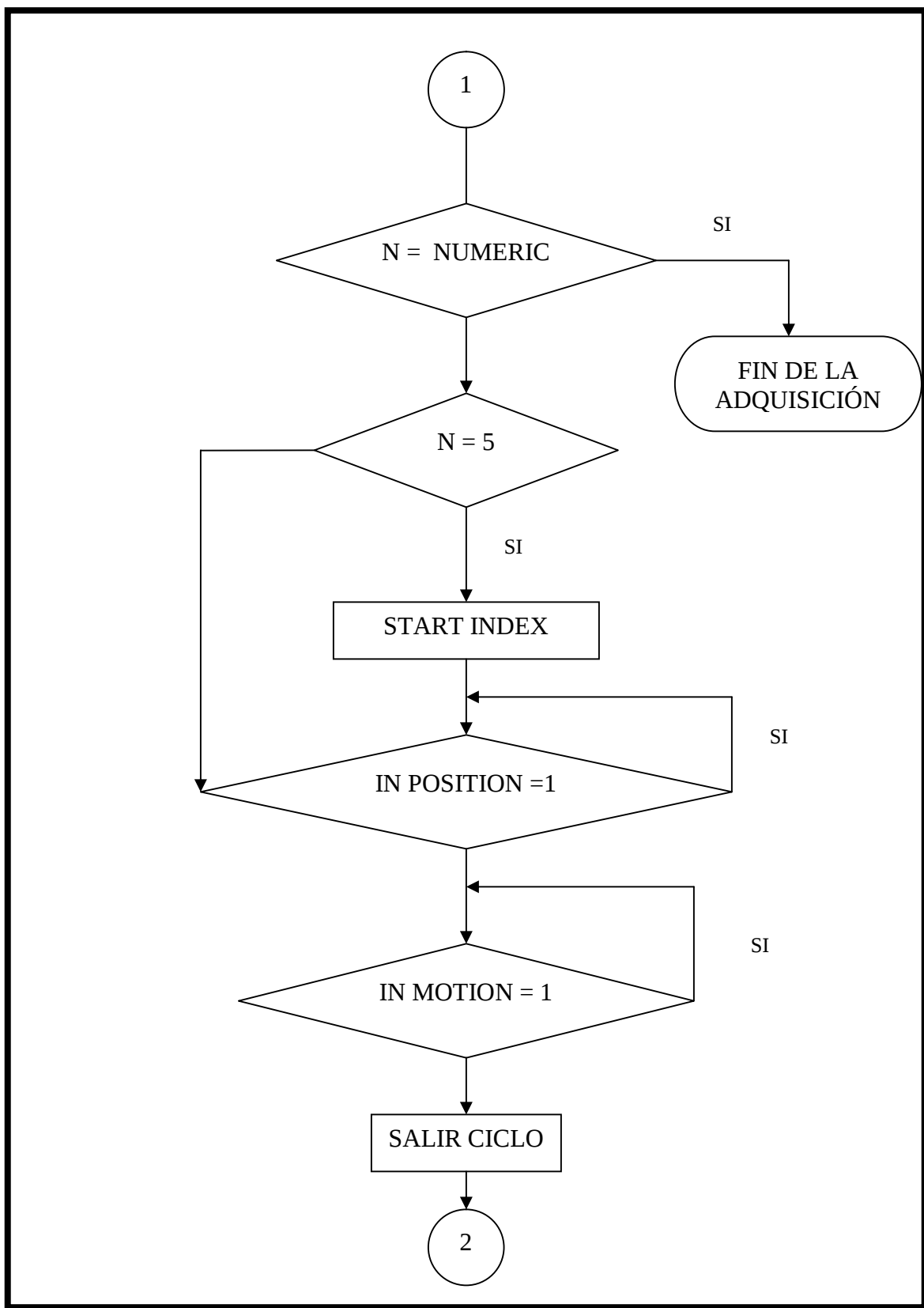


Figura 4.12 Diagrama de flujo del ciclo automático (continuación).

---

#### 4.4 Hardware.

El hardware en este proyecto sirve como protección y como amplificador para señales que van de la DaqCard al “servo drive”, y como atenuador en caso de señales que provienen del “servo drive” con destino a la “DaqCard”, a causa de que el voltaje que utiliza la DaqCard es de 5VDC para salidas y entradas, y en el servo drive de 12-24VDC para salidas y entradas. En la DaqCard se utilizan las siguientes señales digitales según tabla 4.1:

| SALIDAS      | PIN | ENTRADAS    | PIN |
|--------------|-----|-------------|-----|
| START INDEX  | 6   | IN POSITION | 2   |
| DEFINE HOME  | 4   | IN MOTION   | 1   |
| START HOMING | 5   |             |     |
| RESET DRIVER | 3   |             |     |

**Tabla 4.1 Entradas y salidas utilizadas en la DaqCard.**

La señal analógica del transductor entra por el pin 1 y la tierra en el pin 11 de la DaqCard.

Del panel de control de movimiento se decidió que la señal “Enable” que es la que habilita al servo drive quedara en la caja de protección de la DaqCard, y sea habilitada mediante un interruptor.

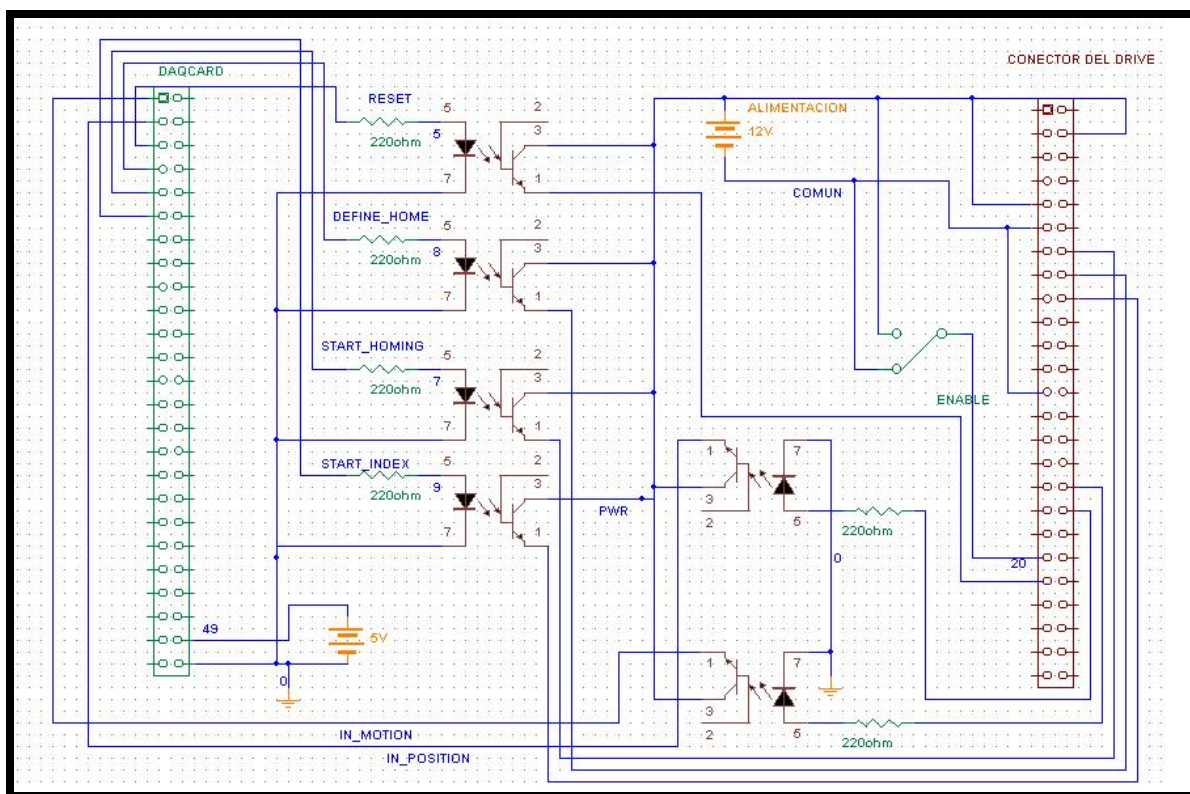
En la figura 4.4, se tienen una línea de comunicación entre el servo drive y nuestro circuito de protección llamado conector J1 cuenta con 50 pines.

Los pines utilizados en J1 para la comunicación son presentados en la tabla 4.2:

| ENTRADA    | PIN J1 | SALIDA  | PIN J1 |
|------------|--------|---------|--------|
| ENABLE     | J1-20  | OUTPUT1 | J1-42  |
| FAUL RESET | J1-21  | OUTPUT2 | J1-43  |
| INPUT 1    | J1-32  |         |        |
| INPUT 2    | J1-33  |         |        |
| INPUT 3    | J1-34  |         |        |

**Tabla 4.2 entradas y salidas del conector J1.**

En la figura 4.13 se muestra la conexión del circuito de protección de la DaqCard. La señal “Enable” sirve para habilitar al servo motor, la señal de “Fault Reset” sirve para hacer un borrado de la memoria del “servo drive”, las señales Input 1, Input 2, Input 3, output 1, output 2, son señales configurables de acuerdo a las necesidades del sistema, por tanto en Input 1 se le asigna la señal de “Start Home”, en “Input 2” la señal asignada es “Define home”, para “Input 3” la señal digital asignada es “Start Index”. La señal de “In Position” se asigno en “Output 1”, y “In Motion” se asignó en “Output 2”.



**Figura 4.13 Diagrama del hardware.**

---

En la figura 4.14 encontramos el sensor de desplazamiento montado sobre la barra Thomson, el sensor va conectado a un amplificador, y la señal del amplificador está conectado a la PC a través de la tarjeta de adquisición de datos.



**Figura 4.14 Sensor montado sobre la barra Thomson.**

Para mayores detalles de las características de la DaqCard consultar apéndice b.

---

#### **4.5 Procedimiento para el uso del sistema.**

Para el correcto funcionamiento del sistema junto con el software “Thomson Calibrador” se debe de cumplir la siguiente secuencia:

- Montar el transductor en la barra mientras “enable” esta deshabilitado.
- Iniciar el software “Calibrador Thomson”.
- Buscar el cero del transductor.
- Mover la barra hacia la posición inicial del transductor.

- 
- Configurar la exactitud (si es necesario).
  - Entrar a configuración oprimiendo el botón de “Configuración”.
  - Al aparecer la ventana de configuración dentro del programa principal se deben introducir los datos del transductor, el tipo de adquisición, en la pestaña “Omnilink” del “Tab control” al presionar sobre ella se manda a cargar la configuración del servo drive dependiendo del tipo de transductor, en la pestaña de “Valores” se introduce la posición final, inicial, el número de ciclos que se llevarán a cabo, y el número de puntos que indica la cantidad de muestreos al transductor por ciclo, por último se debe crear el archivo en donde se guardaran todos los datos, oprimiendo sobre la pestaña “Guardar en:”.
  - Para salir del modo de configuración se debe presionar el botón de configuración.
  - Oprimir adquisición, si fue configurado en modo automático basta esperar a que halla terminado la calibración, al concluir mandará un mensaje de “FIN DE LA CALIBRACION”, en caso de ser en modo manual se debe oprimir “Start Index” para iniciar el movimiento de la barra.
  - El archivo del reporte será generado en la ubicación que se halla seleccionado dentro de la configuración.

El ciclo automático utiliza la lógica mostrada en las figuras 4.11 y 4.12.



## Conclusiones

En la presente sección damos una visión del estado actual del proyecto, sus aplicaciones además de describir el trabajo a futuro que se puede desarrollar e implementar.

---

### ***Estado actual del sistema.***

El objetivo del proyecto se cumplió al encontrar una forma de calibrar transductores de una manera más eficaz a través de un sistema automático, reduciendo el tiempo que el técnico de calibraciones dedica a cada calibración de 45 minutos a 8 minutos.

A continuación se enlista el estado actual del sistema:

-  La adquisición de datos es automática.
-  Movimientos programables.
-  Evaluación del sistema sobre el estado de los transductores.
-  Generación automática de reportes.

### **Desventajas**

-  Montaje de transductores en forma manual.
-  Búsqueda de la posición cero del transductor manualmente.

---

### ***Trabajo a futuro.***

Existen mejoras que se pueden implementar y que traerían consigo un mejor desempeño del sistema de la barra Thomson.

Trabajo a futuro:

-  Calibraciones simultáneas.
-  Ajuste a cero de forma automática.

---

Por lo anteriormente descrito podemos concluir que el objetivo de llevar a cabo calibraciones de sensores de desplazamiento en forma automática se cumplió, debido a que se pasó de un estado donde el técnico de calibraciones leía los datos del amplificador los apuntaba en una hoja de Excel o en una libreta, coordinaba la secuencia de la barra Thomson y enseguida generaba un reporte manualmente a un estado donde sólo se seleccionan los parámetros correctos para la barra Thomson y se inicia la secuencia en donde el sistema coordina el movimiento de la barra la adquisición de datos y posteriormente la generación de un reporte y automáticamente se evalúa si el sensor que fue calibrado puede ser usado en todo su rango de trabajo, además de reducir el tiempo que el técnico de calibraciones utiliza para calibrar cada sensor, por lo cual se concluye que el proyecto cumplió con los objetivos propuestos.



## Apéndice A

### Léxico

En la presente sección se brinda un vocabulario metrológico, complementario a la sección 1-9 del capítulo 1.

#### **Magnitud de base** <sup>[2]</sup>

Una de las magnitudes que, en un sistema de magnitudes, se admiten por convención como funcionalmente independientes unas de otras.

#### **Magnitud derivada** <sup>[2]</sup>

Una magnitud definida, dentro de un sistema de magnitudes, en función de las magnitudes base de dicho sistema.

**Dimensión de una magnitud** <sup>[2]</sup>

Expresión que representa una magnitud de un sistema de magnitudes como el producto de potencias de factores que representan las magnitudes de base de dicho sistema.

**Magnitud de dimensión uno** (adimensional) <sup>[2]</sup>

Magnitud cuya expresión dimensional, en función de las dimensiones de las magnitudes de base, presenta exponentes que se reducen todos a cero.

**Unidad** (de medida) <sup>[2]</sup>

Una magnitud particular, definida y adoptada por convención, con la cual se comparan las otras magnitudes de igual naturaleza para expresarlas cuantitativamente en relación a dicha magnitud.

**Unidad** (de medida) **de base** <sup>[2]</sup>

Unidad de medida de una magnitud de base en un sistema dado de magnitudes.

**Valor** (de una magnitud) <sup>[2]</sup>

Expresión cuantitativa de una magnitud en particular, generalmente bajo la forma de una unidad de medida multiplicada por un número.

**Mensurando** <sup>[2]</sup>

Magnitud dada, sometida a medición.

**Medida materializada** <sup>[2]</sup>

Dispositivo destinado a reproducir o a proveer de forma permanente durante su empleo, uno o varios valores conocidos de una magnitud dada.

**Patrón** <sup>[2]</sup>

Medida materializada, aparato de medición, material de referencia o sistema de medición, destinado a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores de una magnitud para servir de referencia. Los patrones pueden ser internacionales (reconocidos por acuerdo internacional) y nacionales (reconocidos por acuerdo nacional).

**Patrón primario** <sup>[2]</sup>

Patrón que se designa o se recomienda por presentar las más altas calidades metrológicas y cuyo valor se establece sin referirse a otros patrones de la misma magnitud.

**Patrón secundario** <sup>[2]</sup>

Patrón cuyo valor se establece por comparación con un patrón primario de la misma magnitud.

### **Patrón de referencia** <sup>[2]</sup>

Patrón, generalmente de la más alta calidad metrológica disponible en un lugar u organización dados, del cual se derivan las mediciones que se hacen en dicho lugar u organización.

### **Patrón de trabajo** <sup>[2]</sup>

Patrón utilizado corrientemente para controlar medidas materializadas, aparatos de medición o materiales de referencia.

### **Patrón de transferencia** <sup>[2]</sup>

Patrón empleado como intermediario para comparar patrones entre sí.

### **Trazabilidad** <sup>[2]</sup>

Propiedad del resultado de una medición o del valor de un patrón de estar relacionado a referencias establecidas, generalmente patrones nacionales o internacionales, por medio de una cadena continúa de comparaciones, todas ellas con incertidumbres establecidas.

**Material de referencia (MR) <sup>[2]</sup>**

Material o sustancia que tiene uno (o varios) valor(es) de su(s) propiedad(es) suficientemente homogéneo(s) y bien definido(s) para permitir su utilización como patrón en la calibración de un aparato, la evaluación de un método de medición o la atribución de valores a los materiales.

**Material de referencia certificado (MRC) <sup>[2]</sup>**

Material de referencia provisto de un certificado, para el cual uno o más valores de sus propiedades está certificado por un procedimiento que establece su enlace con una realización exacta de la unidad bajo la cual se expresan los valores de la propiedad y para el cual cada valor certificado cuenta con una incertidumbre a un nivel de confiabilidad señalado.



## Apéndice B

### DaqCard

**La familia 1200 esta conformada por:**

-  PCI-1200
-  DAQCard-1200
-  Lab-PC-1200
-  Lab-PC-1200AI
-  DAQPad-1200

**Entradas analógicas:**

4 canales diferentes con una velocidad de 100KS/s.  
12 bits de resolución.

**Salidas analógicas (no para LAB PC-1200)**

2 canales, 12 bits de resolución.

**Entradas y salidas digitales.**

24 (5V/TTL) 3 líneas en puertos de 8 bits.

**Contadores/ Timers.**

Tres, con resolución de 16 bits.

**Triggering**

Digital



## Software de control.

NI-DAQ

Windows 2000/NT/9x

Mac OS\*

## Software de aplicación.

-  LabVIEW
-  LabWindows/CVI
-  ComponentWorks
-  VirtualBench
-  Measure
-  BridgeVIEW
-  Lookout

| Bus                             | Analog Inputs | Resolution | Sampling Rate | Input Range     | Analog Outputs | Resolution | Output Rate | Output Range | Digital I/O | Counter/Timers | Triggers |
|---------------------------------|---------------|------------|---------------|-----------------|----------------|------------|-------------|--------------|-------------|----------------|----------|
| PCI, PCMCIA, ISA, Parallel Port | 8 SE/4 DI     | 12 bits    | 100 KS/s      | up to $\pm 5$ V | 2              | 12 bits    | 1 KS/s      | $\pm 5$ V    | 24          | 3, 16-bit      | Digital  |

## Panorama

La familia de dispositivos 1200, son multifuncionales para dispositivos de entrada y salida de datos con rangos superiores a las 100KS/s, con 12 bits desempeño con 8 simples terminales o cuatro entradas analógicas del tipo diferencial. La familia 1200 se caracteriza por su triggering digital, tres de 16-bit, 8 MHz para counter/timers; dos canales de 12-bit de salidas analógicas, y 24 líneas digital I/O. La tarjeta 1200AI no incluye 2 salidas analógicas.

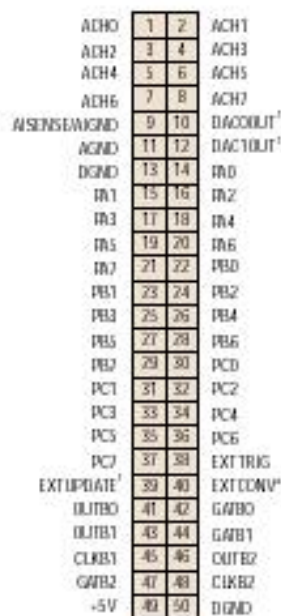


Figura 1 Conexiones de salidas y entradas.



## Bibliografía

- [1] <http://www.cenam.mx>
- [2] Metrología para no metrólogos, Organización Internacional de las Américas, 2002.
- [3] <http://www.euromet.org>
- [4] <http://www.bipm.org>
- [5] National Instruments, LABView, User Manual, Julio 2000.
- [6] <http://www.ni.com>
- [7] Thomson Industries Inc., OMNIDRIVE Installation Manual.
- [8] Thomson Industries Inc., BLX Brushless Servo Motors.
- [9] Thomson Industries Inc., Motion Control Solution.
- [10] Thomson Industries Inc., Systems, Slides, & Stages Solution.
- [11] Thomson Industries Inc., Linear Guides Solutions.
- [12] Thomson Industries Inc., AXI-PACK Complete Servo Axis Packages.
- [13] Thomson Industries Inc., OMNIDRIVE Digital Servo Drives.
- [14] Thomson Industries Inc., System Solution Guide.