



1

**UNIVERSIDAD NACIONAL  
AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Interfaz electrónica para una  
máquina usada en la  
calibración de reglas y escalas  
graduadas de alta exactitud**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
INGENIERO ELÉCTRICO  
ELECTRÓNICO  
PRESENTA

**RICARDO AMAYA MÉNDEZ**

DIRECTOR DE TESIS: M. I. BENJAMÍN VALERA GROSZCO

SINODALES

ING. RODOLFO PETERS LAMMEL  
ING. MOISES RUEDA GETIERREZ  
M. I. MIGUEL ÁNGEL BAÑUELOS SAUCEDO  
M. I. JOSÉ CASTILLO HERNÁNDEZ

MEXICO, D.F. OCTUBRE del 2000.





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



## ***AGRADECIMIENTOS***

*A mis padres por todo el apoyo recibido.*

*A mis familiares y amigos.*

*Y muy especialmente a mi tía Alicia y a Benjamín.*

# ÍNDICE TEMÁTICO

<b>Introducción</b>	<b>1</b>
<b>1. Conceptos básicos</b>	<b>11</b>
1.1. Definiciones	11
1.2. Metrología dimensional	14
1.2.1. La razón de medir	14
1.2.2. Sistemas de calidad	16
1.2.3. Calibraciones y aseguramiento de la calidad	17
1.3. Instrumentos básicos de medición dimensional	19
1.3.1. Reglas y escalas graduadas	19
1.3.2. Bloques patrón	20
1.4. Instrumentos de medición dimensional de alta exactitud	24
1.4.1. Máquinas de medir en un eje	25
1.4.2. Máquinas de medir en tres ejes	25
1.4.3. Sistemas láser de medición	26
1.5. Transductores de posición utilizados en metrología dimensional	28
1.5.1. Transductores inductivos	28
1.5.2. Transductores ópticos	29
1.5.3. Codificador lineal óptico	30
1.6. Microcontrolador MC68HC811E2	31
1.6.1. Características del MC68HC811E2	32
1.6.2. Breve descripción de los bloques	34
1.6.3. Modelo de programación	35
<b>2. Interfaz electrónica</b>	<b>39</b>

---

2.1. Introducción	40
2.2. Sistema mecánico	40
2.3. Requerimientos electrónicos	45
2.4. Codificador lineal ACU-RITE	46
2.4.1. Funcionamiento	47
2.4.2. Exactitud y resolución	48
2.5. Tarjeta de interfaz PC7266	49
2.5.1. Descripción	51
2.5.2. Mapa de puertos	53
2.5.3. Programación	54
2.6. Sistema electrónico	55
2.6.1. Driver motor DC	56
2.6.2. Driver motor a pasos	59
2.6.3. Resistencias Pull-up	61
2.6.4. Desplazador de nivel	62
2.6.5. Programa en ensamblador MC68HC811E2	63
<b>3. Interfaz de programación</b>	<b>65</b>
3.1. MCREG interfaz de calibración	65
3.1.1. Información general	65
3.1.2. Descripción del programa	67
3.1.3. Barra de herramientas	68
3.1.4. Barra de estado	69
3.1.5. Menú Archivo	69
3.1.6. Menú Editar	70
3.1.7. Menú Ver	70
3.1.8. Menú Ventana	71
3.1.9. Menú Opciones	71
3.1.10. Menú Conexión	72
3.1.11. Menú Ayuda	73

---

3.2. Programación Visual C++ de la interfaz MCREG	74
3.2.1. Descripción general del programa	74
3.2.2. Descripción de las clases	78
3.3. Procedimiento típico para hacer una calibración	89
<b>4. Resultados y Conclusiones</b>	<b>91</b>
4.1. Resultados	92
4.1.1. Evaluación del posicionamiento fino	93
4.1.2. Evaluación del posicionamiento burdo	95
4.1.3. Desempeño en la calibración de reglas	96
4.2. Conclusiones	99
4.3. Trabajo a futuro	100
<b>Anexo</b>	<b>103</b>
<b>Bibliografía</b>	<b>105</b>

# **Introducción**

## **Objetivo**

Implementar la interfaz electrónica y de programación para una máquina usada en la calibración de reglas o escalas graduadas de alta exactitud, en el área dimensional, con las siguientes características deseables: Medición sin contacto, de forma rápida, económica, con un nivel de incertidumbre aceptable y con una interfaz amigable con el usuario basada en una PC.

## **Definición del problema**

### **Entorno actual**

En el Laboratorio de Metrología del Centro de Instrumentos UNAM, se esta desarrollando y construyendo un prototipo mecánico de una máquina para la calibración de reglas y escalas graduadas de alta exactitud. La atención a la calibración de reglas y escalas graduadas forma parte de un grupo de servicios estándar que nos son solicitados constantemente por la industria como parte de sus sistemas de aseguramiento de la calidad.

En nuestro afán de desarrollar procesos de medición automáticos, el sistema para la calibración fue pensado como una “máquina de elaborar informes”, en donde la materia prima son reglas o escalas graduadas y el producto final son informes de calibración. El trabajo descrito representa un enorme ahorro de tiempo y costo, ya que anteriormente el proceso involucraba una considerable inversión de instrumentos de interferometría láser que ahora son necesarios únicamente para la calibración periódica de la máquina.

## Descripción del problema a resolver

La calibración dimensional de reglas y escalas graduadas de alta exactitud se convierte en un proceso fino de observación y comparación (contra un patrón dimensional de mayor exactitud) en donde se deben controlar minuciosamente las variables que influyen en la formación de *incertidumbre*. Algunas de las variables que podemos mencionar son las siguientes: 1) Variaciones de temperatura durante la calibración; 2) Diferencia de temperatura entre el instrumento de referencia y el instrumento en calibración; 3) Alineamientos mecánicos al comparar contra patrones; 4) Deficiencias en los trazos grabados en las reglas; 5) Distorsión en la imagen formada por los dispositivos de observación.

En éste sentido y debido a la problemática expuesta, es conveniente contar con los medios mecánicos que aseguren buenos alineamientos mecánicos y estabilidad durante la medición.

En este trabajo utilizamos un diseño mecánico con capacidad hasta 1200 mm de longitud útil, que además de prescindir de un patrón costoso (referencia para la calibración), garantiza la confiabilidad de la calibración de reglas o escalas graduadas de alta exactitud, *inicialmente* en concordancia con la recomendación OIML R35 y la norma JIS B 7516 (aplicables a reglas de uso general) y posteriormente en concordancia con la recomendación OIML R98 (aplicable a reglas de alta exactitud)

Por lo tanto, el problema a resolver consiste en implementar una interfaz electrónica y de programación para la administración de lecturas de posición provenientes de la máquina para la calibración de reglas y escalas graduadas de alta exactitud desde una PC.



Adicionalmente, proponemos un diseño electrónico para automatizar el posicionamiento de la máquina mediante motores de c.d. y de pasos. Tal propuesta electrónica, no fácilmente aplicable en el corto plazo, constituye un reto de diseño mecánico como trabajo a futuro.

## **Relevancia**

En cuanto a la relevancia del instrumento en conjunto presentado en la figura 1, éste ofrece un enorme ahorro de tiempo y costo de operación, ya que una vez calibrada la máquina, esta puede realizar mediciones consecutivas en línea de reglas y escalas graduadas durante todo el periodo de vigencia de su calibración (típicamente 1 año). El sistema ofrece la ventaja adicional de eliminar completamente los engorrosos procedimientos de alineación óptica, prolongando la vida útil de la fuente de luz láser, usada anteriormente para éste propósito.

En cuanto a las labores electrónicas y de programación descritas en éste trabajo de tesis, éstas le proporcionan la calidad de producto terminado a la máquina para la calibración de reglas. De esta forma, dotamos a la máquina de una enorme posibilidad de que el instrumento o la tecnología usada sean transferidos a la industria.

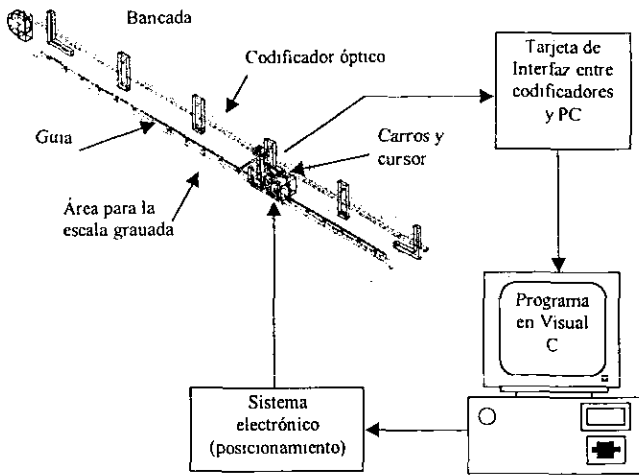
Las labores realizadas contemplan actividades de desarrollo tecnológico, implantación de normas y elaboración de procedimientos.

## **Relación con otras áreas**

Existe una gran relación con las áreas de metrología dimensional, electrónica digital, microcontroladores, control digital, sistemas de calidad y programación de computadoras.

## **Método**

El sistema para la calibración de reglas y escalas graduadas se muestra en la figura 1.



**Figura 1.** Máquina para la calibración de reglas o escalas graduadas.

La figura 1 ejemplifica el siguiente proceso: una computadora captura las lecturas longitudinales provenientes de un codificador óptico de posición solidario a la bancada de la máquina. Los errores de la escala graduada se obtienen por medio de la diferencia de la longitud de la escala graduada contra la lectura registrada en el codificador. Inicialmente, el codificador es calibrado con un sistema de mayor exactitud y resolución (sistema de interferometría láser). El programa para PC específico procesa longitudes nominales contra longitudes verdaderas y controla el sistema electrónico para el posicionamiento automático de la lectura actual.

Las tareas fundamentales del sistema electrónico y de programación son las siguientes:

- Instalación y adaptación a necesidades particulares de componentes electrónicos comerciales (tarjeta de interfaz entre codificadores y PC).
- Programación en Visual C++ específica para la captura, procesamiento de mediciones y posicionamiento automático.
- Sistema electrónico basado en microcontrolador para impulsar los motores en el posicionamiento automático.
- Transporte de resultados a programas de terceros.

## **Sistema electrónico y de programación propuesto**

El sistema electrónico desarrollado es básicamente un control de velocidad de dos motores; uno de ellos es de corriente directa (DC) y el otro es un motor de pasos. Los motores son manejados por medio de un microcontrolador MC68HC811E2 con programación completamente en lenguaje ensamblador.

Como se mencionó anteriormente, es necesario un codificador óptico como patrón de medición. En tal situación, el codificador óptico es el encargado de generar los datos de las mediciones. La tarjeta de interfaz entre codificador óptico y PC procesa los datos (pulsos) para almacenarlos en sus circuitos electrónicos de retención y enviarlos a la PC cuando son requeridos por la interfaz de usuario.

Al hacer la calibración de las reglas o escalas graduadas, son dos los movimientos de posicionamiento automático requeridos: uno de ellos es un movimiento burdo, que permita una aproximación a la lectura objetivo o punto de comparación de la regla o escala graduada. Este movimiento es proporcionado por un motor de corriente directa; el control es un control de velocidad bidireccional, permitiendo así que los carros se puedan desplazar sobre la guía en ambas direcciones de la bancada. El otro movimiento que se requiere es un movimiento fino, proporcionado por un motor de pasos. Este control es de posición y de dirección, el cual permite colocar el cursor del codificador en el punto exacto al cual se desea hacer la comparación.

Para realizar la inspección visual del punto que deseamos comparar, podemos observar a la regla o escala graduada a través de un pequeño microscopio o mediante una pequeña cámara que nos muestra la imagen en la PC.

Las lecturas de diferencias entre el valor observado en la regla y la lectura patrón del codificador óptico, se almacenan como archivos de calibración para tener una historia electrónica del instrumento bajo inspección.

Los componentes del sistema son:

- Una bancada rectificada con una superficie libre de 0.14 X 1.20 m.
- Un codificador óptico con resolución de 2 $\mu$ m.
- Una guía y dos carros.
- Una tarjeta de interfaz entre codificadores ópticos y PC, PC7266.
- Un microscopio 10X.
- Computadora compatible IBM Pentium con puerto ISA disponible.
- Sistema Operativo Windows 9X.
- Programa MCREG.EXE.
- Un sistema electrónico basado en el microcontrolador MC68HC811E2.
- Un motor DC y un motor de pasos.

Los puntos importantes en el sistema propuesto son:

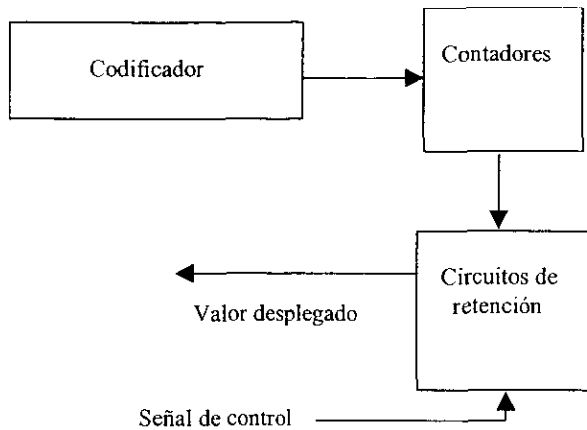
- Sistema barato en comparación con las otras opciones.
- Interfaz con el usuario dotada con calidad de producto terminado.
- Cumple con los objetivos de desarrollo tecnológico del Laboratorio de Metrología del CI UNAM.

Por lo descrito anteriormente, hemos desarrollado un sistema económico y confiable que genera una historia electrónica de todas las calibraciones hechas por esta máquina.

## **Análisis de diferentes alternativas**

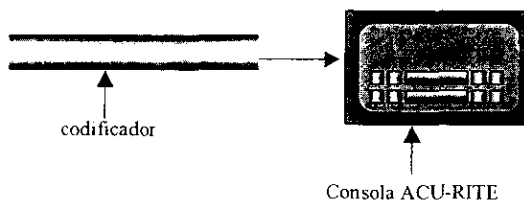
Existieron tres diferentes alternativas para la máquina. Una de ellas consistía en diseñar y construir una tarjeta de adquisición de datos; básicamente su funcionamiento era almacenar los datos enviados por el codificador y desplegar estos por algún medio (ver figura 2).

Afortunadamente, en beneficio del diseñador electrónico, estos sistemas de adquisición de datos son comerciales y fácilmente conseguibles a precios muy bajos.



**Figura 2** Tarjeta de adquisición.

Otra de las alternativas fue la utilización de la consola ACU-RITE mostrada en la figura 3. El funcionamiento de esta consola es la captura de datos (mediante una tarjeta de adquisición de datos) provenientes del codificador. Cuenta con un despliegue, un teclado y diversas funciones para controlar el codificador; por ejemplo, precargarle un valor determinado, poner los contadores a cero. La consola, aunque cuenta con compatibilidad completa con el codificador óptico, es una opción con características pobres y en desventaja con los procesos modernos de instrumentación basados en PC.



**Figura 3** Consola ACU-RITE.

Y por último, el sistema láser de la figura 4, es el instrumento comúnmente usado para prestar el servicio de calibración de escalas graduadas a la industria. El sistema láser, aparte de ser un sistema extremadamente caro en su operación y mantenimiento, requiere de engorrosos alineamientos ópticos. No obstante su alta exactitud en un intervalo amplio de medición ( $0.01\mu\text{m}$  en 30 m), el elevado costo de su operación incrementa el costo del servicio de calibración. En éste sentido, la opción obvia es buscar un instrumento de menor costo que beneficie los servicios de calibración, ya que los objetos a calibrar no requieren de una referencia de elevada exactitud.

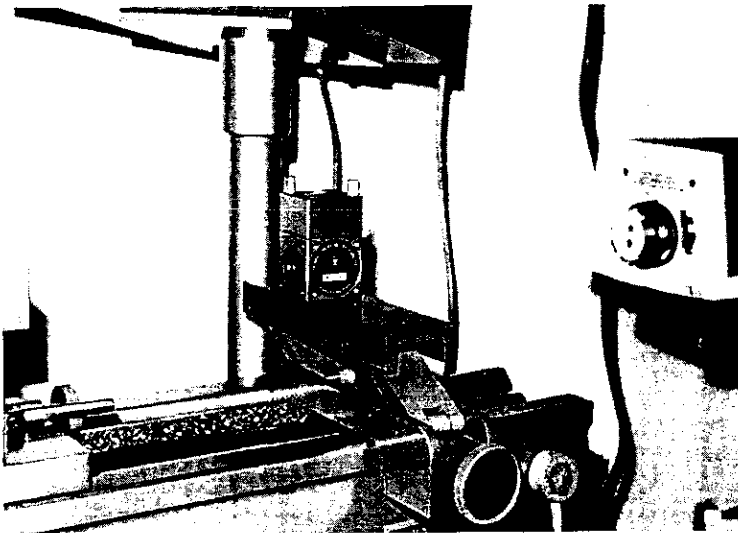


Figura 4 Sistema de interferometría

El sistema propuesto en la figura 1 es la mejor opción entre las diferentes alternativas que se analizaron. Ya que la primer alternativa, que fue la construcción de una tarjeta de adquisición de datos, representaba un gasto mayor que adquirir una tarjeta ya hecha. La segunda alternativa, que fue la consola ACU-RITE, cuenta ya con una tarjeta de adquisición de datos y muestra en su despliegue las mediciones actuales. El inconveniente de la consola, es que los datos de la calibración no se pueden almacenar, a diferencia del sistema propuesto, el cual si permite almacenar las mediciones y guardarlas como archivos.

La tercer alternativa es en realidad un sistema muy caro ya que la vida útil de la lámpara láser es corta, a diferencia del sistema propuesto, en donde la vida útil de los componentes es mayor y estos componentes son más baratos.

## **Resultados esperados**

Actualmente existen resultados previos al realizar el proceso de calibración de reglas graduadas, utilizando un Sistema de Medición marca Hewlett Packard, modelo 5528A de la figura 4, basado en interferometría láser; en substitución del transductor de posición. Tales resultados, basados en nuestros procedimientos internos de calibración, han producido una incertidumbre estimada en  $\pm(1,0+10L) \mu\text{m}$ , en donde  $L$  es la longitud de la regla en m.

Los resultados nos dan la pauta para desarrollar sistemas más económicos, que ofrezcan capacidades similares a los medios actualmente disponibles, los cuales pueden ofrecen una incertidumbre de aproximadamente  $\pm(2,0+12L) \mu\text{m}$  ( $L$  en m), con la ventaja adicional de contar con desarrollos propios, económicos, y que no nos limiten para controlar de forma fina los procesos.

Algunas características deseables para nuestro instrumento son las siguientes:

- Deseamos automatizar el procedimiento de calibración de escalas graduadas de hasta 1.2m de longitud con resolución de  $2\mu\text{m}$ .
- Deseamos liberar el equipo de interferometría láser de su uso dedicado a la calibración individual de escalas graduadas.
- Deseamos implementar una interfaz amigable con el usuario, de manera que nuestro instrumento pueda ser operado por personal con capacitación básica en metrología dimensional.

## Resumen

En el capítulo 1 de esta tesis, se tratan los conceptos básicos de la metrología, la importancia de ésta y la razón por la cual medimos. Tal vez el punto más importante en este capítulo es la calibración; para realizar una calibración legal es necesario contar con sistemas de calidad acreditados. Este punto también es tratado en este capítulo muy brevemente. Para realizar las mediciones o calibraciones contamos con diversos instrumentos (también tratados en este capítulo), que pueden ser básicos o de alta exactitud. Un elemento de gran ayuda en los instrumentos de alta exactitud es el transductor. En general, existen diversos transductores, aquí solamente se describen los más comunes en el área. Por último se describen las características más importantes del microcontrolador MC68HC811E2, que utilizamos para implementar el sistema electrónico.

Los elementos necesarios para la construcción de la máquina son tratados en el capítulo 2, iniciando por el sistema mecánico, que es el encargado de proporcionar un buen alineamiento entre las piezas evitando así una medición errónea. Se hace la descripción del patrón de medición utilizado (codificador óptico lineal) y el medio por el cual los datos son enviados del codificador óptico hacia la PC, que es la tarjeta de adquisición de datos PC7266. Se explica el sistema electrónico que proporciona la potencia necesaria para el movimiento de los motores y también se encarga de enviar y recibir datos hacia la PC (estos datos son los que controlan el movimiento de los motores).

La interfaz con el usuario se explica en el capítulo 3, y es el medio por el cual un usuario puede hacer una calibración de una regla o escala graduada. En este capítulo se hace una descripción del programa MCREG.EXE y de todas sus características. Se explica también el procedimiento típico para realizar una calibración utilizando la aplicación MCREG.EXE.

El capítulo 4 está dedicado a probar el funcionamiento de la máquina de calibración de reglas y escalas graduadas, se tratan también los resultados obtenidos de las calibraciones hechas por la máquina y de ahí se desprenden las conclusiones a las que se llega una vez probada la operación de la máquina.



# CAPITULO 1

## CONCEPTOS BÁSICOS

Los temas abordados en este capítulo comprenden conceptos básicos de metrología dimensional, instrumentación para la metrología dimensional, y el microcontrolador MC68HC811E2. Los conceptos presentados aquí, nos sirven para enfrentar los problemas de diseño e implementación, así como comprender la importancia del desarrollo de instrumentos para calibración.

### 1.1. Definiciones

Para poder realizar una medición es necesario un instrumento para determinar la magnitud de la variable que es de nuestro interés. También es importante conocer las definiciones de las palabras con las que nos expresamos en términos de metrología y los aspectos relacionados con las mediciones.

A continuación se presentan algunas definiciones útiles de metrología utilizadas en este capítulo.[9],[12]

*Medición:* Conjunto de operaciones que tienen por objeto determinar el valor de una magnitud.

*Instrumento:* Dispositivo para determinar el valor o la magnitud de una cantidad o variable.

*Exactitud:* Aproximación con la cual la lectura de un instrumento se acerca al valor real de la variable medida.

*Precisión:* Medida de la reproducibilidad de las mediciones; esto es, dado el valor fijo de una variable, la precisión es una medida del grado con el cual las mediciones sucesivas difieren una de otra.

*Trazabilidad:* Propiedad de un resultado de medición consiste en poder relacionar a los patrones apropiados, generalmente internacionales o nacionales, mediante una cadena ininterrumpida de comparaciones.

Los errores en las mediciones son un gran problema pero también son de interés, porque al conocerlos, podemos mejorar o establecer la exactitud de la medición; existen diversos tipos de errores algunos se producen por el mal manejo del equipo o por la variación del medio ambiente en los instrumentos de medición y en el objeto a medir, entre otros.

### **Tipos de error**

*Error:* Desviación a partir del valor real de la variable medida.

*Errores graves:* Son en gran parte de origen humano, como mala lectura de los instrumentos, ajuste incorrecto y aplicación inapropiada, así como equivocaciones en los cálculos.

*Errores sistemáticos:* Se deben a fallas de los instrumentos, como partes defectuosas o gastadas, y efectos ambientales sobre el equipo del usuario.

*Errores aleatorios:* Ocurren por causas que no se pueden establecer directamente debido a variaciones aleatorias en los parámetros o en los sistemas de medición.

*Error (absoluto) de medición:* Resultado de una medición menos el valor (convencionalmente) verdadero de la magnitud medida.

Para tener un buen resultado en una medición y obtener un error mínimo se requiere realizar un gran número de mediciones.

### **Media aritmética**

Cuando el número de lecturas de la misma cantidad es muy grande, se obtiene la mejor aproximación.

En teoría, un número infinito de lecturas daría el mejor resultado, aunque en la práctica sólo se puede ejecutar un número finito de mediciones. La media aritmética está dada por la siguiente expresión:

$$\bar{X} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n} = \frac{\sum x}{n}$$

Donde  $\bar{X}$  = media aritmética.

$x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  = lecturas tomadas

$n$  = número de lecturas

### **Patrones de medición**

*Patrón:* Medida materializada, aparato de medición o sistema de medición destinados a definir, realizar, conservar o reproducir una unidad o uno o varios valores conocidos de una magnitud, para transmitirlos por comparación a otros instrumentos de medición.

Existen diversos tipos de patrones como:

Patrones internacionales.

Patrones primarios.

Patrones secundarios.

Patrones de trabajo.

*Patrones internacionales:* Se definen por acuerdos internacionales. Y representan ciertas unidades de medida con la mayor exactitud que permite la tecnología de producción y medición.

*Patrones primarios (básicos):* Se encuentran en los laboratorios de patrones nacionales en diferentes partes del mundo. El National Institute of Standards and Technology (NIST) en Washington es responsable del mantenimiento de los patrones primarios en Estados Unidos. Otros laboratorios adicionales son el National Physical Laboratory (NPL) en Gran Bretaña y, el más antiguo del mundo, el Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), de Alemania.

Los patrones primarios no están disponibles para utilizarse fuera de los laboratorios nacionales.

Una de las principales funciones de los patrones primarios es la verificación y calibración de los patrones secundarios.

*Patrones secundarios:* Son los patrones básicos de referencia que se usan en los laboratorios industriales de medición. Estos patrones se conservan en la industria particular y se verifican localmente con otros patrones de referencia en el área.

Los patrones secundarios por lo general, se envían periódicamente a los laboratorios nacionales para su calibración y comparación con los patrones primarios, luego son devueltos al usuario industrial con un certificado del valor de medición en términos del patrón primario.

*Patrones de trabajo:* Son las herramientas principales en un laboratorio de mediciones. Se utilizan para verificar y calibrar la exactitud y comportamiento de las mediciones efectuadas en las aplicaciones industriales.[8]

## 1.2. Metrología dimensional

La metrología dimensional nació con Galileo Galilei, la era de las mediciones realizadas, en forma objetiva y científica.

Para medir un objeto es necesario hacer una comparación entre el objeto que se desea medir y un objeto que tenga mayor precisión; este objeto se conoce como patrón y es la base que tomamos para medir.

La metrología dimensional esta encargada de medir las dimensiones de cualquier objeto; estas dimensiones pueden ser alto, ancho y profundidad.

### 1.2.1. La razón de medir

Remontándonos un poco en la historia; en la asamblea constituyente en Francia, primero en el ámbito nacional, reúne en Borda, a Laplace y a Lagrange, quienes proponen un sistema decimal

basado en la unidad metro (la diezmilésima parte del cuadrante terrestre) como base de la metrología dimensional.

En 1796 se depositó en los "Archivos" de París, el primer metro patrón de platino, pieza de carácter histórico que se guarda en el Conservatorio de Artes y Oficios de aquella ciudad. Sin embargo, es hasta 1837, que se establece en Francia el Sistema Métrico Decimal como obligatorio.

Las ventajas que ofrece este sistema son ponderadas fuera de Francia y muchos países deciden imponerlo; México lo adopta a partir del primero de Enero de 1857. Años antes, se había constituido una organización internacional de pesas y medidas "Bureau International Des Poids et Measures" (BIPM) que construye varios metros patrones de Platino con 10% de Iridio, de sección en forma de "X" ideada por Tresca en las que se graban, cerca de sus extremos, líneas microscópicas que establecen la longitud de la Unidad. Para la comparación, se utilizan métodos interferométricos ideados primero por Michelson y después por Fabry y Perot y ya marcados, se envían estos patrones de medida a los distintos países que los solicitan.

En 1900 se establece el sistema metro-kilogramo-segundo y su empleo se generaliza especialmente en el ámbito científico y tecnológico.

El metro se definió primero como la distancia entre dos rayas finas sobre una barra hecha de una aleación de iridio y platino, conservada en París.

En la conferencia de 1960 se redefinió como  $1\ 650\ 763\ 73$  longitudes de onda de la luz anaranjada-rojiza emitida por el isótopo criptón 86. La definición actual fue establecida en 1983 por la 17ª Conferencia General de Pesas y Medidas, como LA LONGITUD DE LA TRAYECTORIA RECORRIDA POR LA LUZ EN EL VACIO DURANTE UN LAPSO DE  $1/299\ 792\ 458$  DE SEGUNDO. Así, después de una gran cantidad de intentos, se ha llegado a una definición de la unidad básica en la metrología dimensional, definición que, por su carácter puede considerarse como espacial y temporalmente universal.

La razón de medir es garantizar que un objeto pueda ser tan confiable como el original; y si no tenemos la certeza de que así sea, al menos con nuestro patrón podemos determinar la exactitud, esto es con el fin de conocer el error (absoluto) de medición.

## 1.2.2. Sistemas de calidad

Los sistemas de calidad proporcionan seguridad; en cuanto al laboratorio que se encarga de realizar una calibración, la norma que se encarga de la calidad, es en el ámbito mundial.

La serie ISO 9000 son los estándares internacionales para sistemas de calidad. Estos se establecen a los proveedores y fabricantes los requerimientos de un sistema orientado a la calidad. No fijan requerimientos especiales adicionales sino que son estándares prácticos para sistemas de calidad que pueden ser utilizados por toda la Industria.

Los principios de las ISO 9000 son aplicables a todas las empresas independientemente del número de empleados que posea. Estos principios identifican las disciplinas básicas y especifican los procedimientos y criterios para asegurar que los productos o servicios que cumplen con los requerimientos de los clientes.

### Beneficios de aplicar las ISO 9000:

- Economía de producción porque los procedimientos están controlados desde el comienzo al fin.
- Economía de recursos y tiempo empleado porque los sistemas se hacen más consistentes y eficientes.
- Satisfacción del cliente porque consigue integrar la calidad en cada etapa.
- Ahorro de dinero y reducción de pérdidas.
- Necesidad de replanteos en los diseños y procedimientos.
- Mejoramiento de los productos o los procesos con relación a problemas de reclamo porque se obtiene un registro completo de cada etapa de la producción.

Calidad es un término que tiene muchos significados diferentes, pero la ISO 9000 la emplea en el sentido de aptitud y seguridad para el uso, si el servicio o el producto está diseñado y construido para lograr satisfacer las necesidades del cliente.

La serie ISO 9000 establece cómo se puede implantar, documentar y mantener un sistema efectivo de calidad que demuestre a los clientes que la empresa está comprometida con la calidad y es capaz de satisfacer sus necesidades de calidad. Es un estándar internacionalmente aceptado y es simplemente sentido común llevado al papel en forma organizada. Es clasificada en secciones para permitir a los fabricantes implementarlo fácil y eficientemente.[15]

La norma antiguamente ISO 25, ahora ISO 17025, es un reconocimiento de la capacidad del laboratorio, mientras que la ISO 9000 es simplemente un reconocimiento de la conformidad a un sistema de calidad.[16]

Con el reconocimiento de la norma ISO 17025, el laboratorio se cerciora de realizar el procedimiento o la actividad según lo recomendado. Un gravamen típico consistiría en el asesor:

- Repaso de documentos y de expedientes del sistema de calidad.
- Examinar el recurso y el equipo del laboratorio.
- Personal del laboratorio con la preparación y capacidad de laborar ahí.
- Procesos del laboratorio aseguren la calibración.

Además, el recurso será acreditado solamente para realizar la prueba o la calibración dentro de los límites de sus capacidades de facilidad/equipo/personal, a los estándares indicados y a los regímenes arancelarios mostrados en su certificado de la acreditación; cuando y si se concede la acreditación, las intervenciones de la vigilancia de la carta recordativa se programa cada dos años.

### **1.2.3. Calibraciones y aseguramiento de la calidad**

La Organización Internacional de Metrología Legal, define calibración de la siguiente manera:

Todas las operaciones que se efectúen con el propósito de determinar los valores de los errores de un instrumento de medición

(así como la determinación de otros valores metrológicos en caso necesario).

La calibración de todo instrumento es importante, porque permite verificar el instrumento contra un patrón conocido y reducir, por lo tanto, los errores de exactitud. Los procedimientos de calibración implican una comparación del instrumento particular con:

- 1) Un patrón primario.
- 2) Un patrón secundario con una mayor exactitud que la del instrumento que se calibra.
- 3) Con una fuente de entrada conocida.

La importancia de la calibración no puede dejar de recalcar ya que establece la exactitud de los instrumentos.

El aseguramiento de la calidad depende tanto de los patrones utilizados en la calibración como de la capacidad del personal -que maneja el o los equipos en el laboratorio-, el equipo -que cuente con la certificación- y los procedimientos empleados durante el proceso de calibración.[13]

### **Requisitos de un informe de Calibración**

Sea cual sea el medio por el que una empresa realiza las calibraciones (interna o externa), todo informe de calibración debe reflejar las siguientes condiciones, características y datos:

- Identificación del equipo. De modo que no exista posibilidad de confusión, el equipo objeto de calibración ha de estar claramente identificado.
- Lugar de la calibración y condiciones ambientales en el momento y lugar de la calibración.
- Persona que realiza la operación con objeto de poder determinar si está o no capacitado.
- Patrón empleado con declaración expresa de su trazabilidad e incertidumbre.
- Número de lecturas e iteraciones dependiendo del equipo y cubriendo todo el rango de uso habitual.



- Incertidumbre encontrada.
- Resultados de la operación realizada. Es conveniente adjuntar los cálculos o mencionar el procedimiento o guía seguidos para su obtención.

Un informe de calibración **NO DEBE REFLEJAR NUNCA** recomendación alguna de uso, periodo de recalibración ni declaración de validez, pues ésta es declarada por el usuario en función del destino y uso del equipo objeto.

## **1.3. Instrumentos básicos de medición dimensional**

Los instrumentos básicos de medición nos proporcionan ayuda en la metrología dimensional para determinar las dimensiones de alguna pieza o figura geométrica simple.

### **1.3.1. Reglas y escalas graduadas**

Estas herramientas sirven para referencia cuando se transfieren dimensiones longitudinales o para mediciones directas con el borde de la regla en contacto con el objeto a ser medido. La sección transversal de esta regla es rectangular con una relación de espesor a ancho alrededor de 1:5.

La grabación de las graduaciones en reglas de acero de exactitud controlada, se logra con máquinas de graduación especiales para grabar con tolerancias establecidas de las barras patrón del fabricante. Las barras patrón deberán estar contrastadas con los patrones de referencia del organismo nacional de calibración.

La mayoría de los modelos de las reglas graduadas tipo industrial tienen más de una sola graduación. Comúnmente ambos bordes de una cara, o de ambas caras tienen graduaciones, con lo que se provee de dos o cuatro escalas de tamaño natural.[10]

Frecuentemente las graduaciones usadas son  $1/32$  y  $1/64$  de pulgada para las escalas fraccionales y en  $1/10''$  y  $1/50''$  y excepcionalmente en  $1/100''$  para las escalas decimales.

En la figura 1.1 se muestran algunos tipos de reglas.

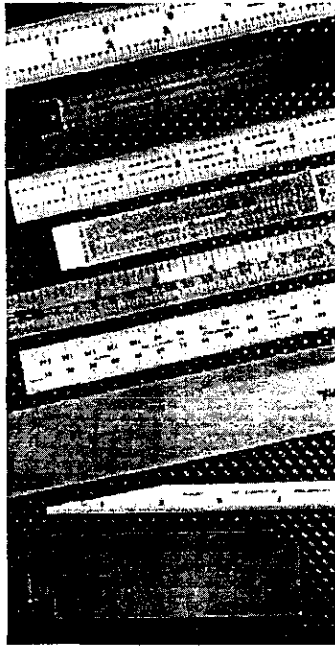


Figura 1.1. Diversos tipos de reglas.

### 1.3.2. Bloques patrón

Los bloques de calibración (también llamados bloques patrón, bloques de caras paralelas, galgas plano-paralelepípedas, bloques de precisión, calas o bloques Johansson), son los medios por los cuales se da forma física a los patrones de medición de longitud (ver figura 1.2).

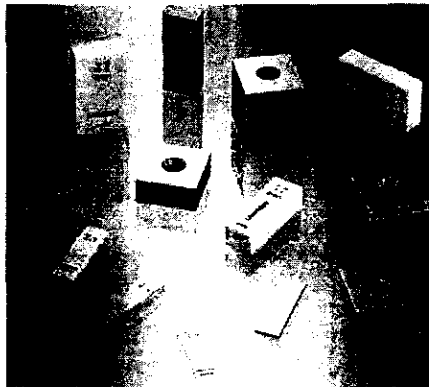
Como su nombre lo indica, son piezas rectangulares o cuadradas cuya distancia de los planos de medición, así como su planitud y paralelismo son muy exactos.

Son fabricados en acero, carburos o acero cromado y en su manufactura se emplea el método Johansson que produce superficies planas, con un grado de acabado sumamente fino que tiene el aspecto de plata bruñida (la cual se aproxima más al plano perfecto que cualquier otra superficie metálica producida por el hombre). Además, se les aplican tratamientos térmicos y envejecimientos efectivos de los aceros, lo que minimiza sus cambios dimensionales y les confiere alta dureza.

Los bloques han sido pieza fundamental en la metrología a lo largo de la historia; alrededor de 1890, H. Ellstrom, mecánico principal en una fábrica de armas suecas, fabricó bloques de medición de acero con superficies paralelas. Pero tenían un problema, era necesario contar con una gran cantidad de bloques para satisfacer todos los requerimientos de medición.

C.E. Johansson trabajó con Ellstrom en su desarrollo y concibió la idea de hacer un juego de calibres maestros que pudieran cambiarse para todos los tamaños dentro de un intervalo y para ello utilizó combinaciones aritméticas. Esto lo llevo a cabo y fue más lejos aún, ya que reconocía que para que su juego de bloques tuviera valor universal debía ser calibrado al patrón internacional. Hecho que logró un poco más tarde.

Como resultado de sus esfuerzos, surgieron patrones finales-replica de los patrones internacionales que se convirtieron en patrones disponibles para todos los laboratorios de metrología del mundo. Fue Johansson quien, además, propuso 20°C como la temperatura estándar para las mediciones.



**Figura 1.2.** Diversos bloques patrón.

En la norma ISO se define al bloque de calibración como: “Un bloque de sección rectangular, hecho de material durable y con un par de superficies de medición planas y mutuamente paralelas”. Podemos apreciar esta terminología en las figuras 1.3, 1.4 y 1.5.

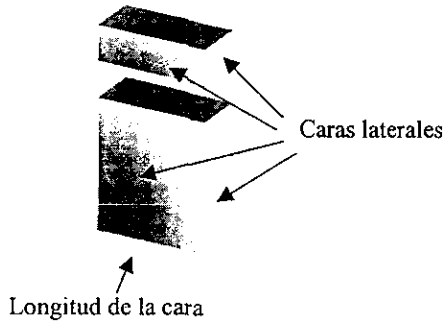


Figura 1.3. Longitud de la cara.

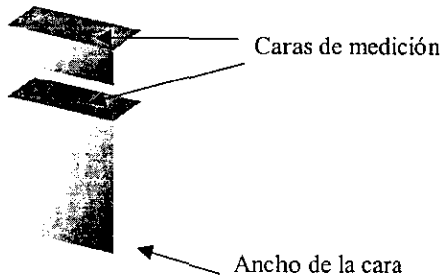


Figura 1.4. Ancho de la cara.

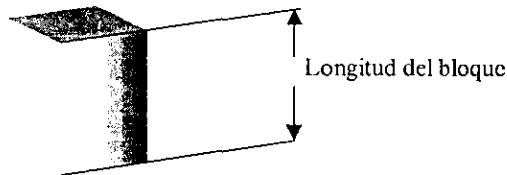


Figura 1.5. Longitud del bloque.

Términos con que se designan las partes de los bloques de calibración, establecidos por la Norma ISO - 3650 - 1978.

De acuerdo a la norma GGG-G-15C hay juegos que contienen 81, 88, 21, 28, 8, 36 y 20 bloques c/u con sistema ingles (pulgadas) para intervalos escalonados de (ver figura 1.6):

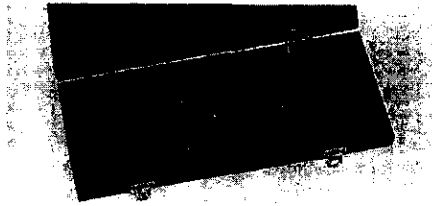
0.050 a 4.000 pulgadas,

0.010 a 0.020 pulgadas,

0.010 a 0.090 pulgadas,

5 a 20 pulgadas y

0.050 a 0.059 pulgadas.



**Figura 1.6.** Juego de bloque patrón (pulgadas).

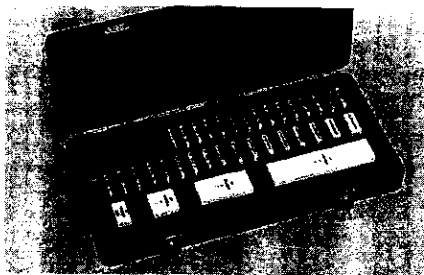
Para el sistema métrico, dicha norma establece juegos de 45, 88, 112, 17 y 8 bloques c/u para intervalos de (ver figura 1.7):

1.000 a 90 mm,

0.5 a 100 mm,

0.30 a 90 mm y

125 a 500 mm.



**Figura 1.7.** Juego de bloque patrón (metricos).

Por los tratamientos y acabados superficiales tan refinados de estos bloques, pueden unirse unos a otros haciendo que se adhieran las superficies de medición perfectamente limpias y secas de dos bloques calibradores sin ejercer presión alguna, por deslizamiento de sus superficies o haciendo una ligera presión hacia dentro. De esta forma quedan unidos como si estuviesen imantados, atribuyéndose este fenómeno a la atracción molecular y a una delgadísima película de aceite sobre las superficies pulimentadas. A mayor calidad superficial de las superficies de medición, resulta más fácil la adherencia por simple contacto.

Los bloques acoplados entre sí no deben permanecer unidos durante largos intervalos de tiempo para evitar el riesgo que se suelden en frío.

Existen diversos métodos para llevar a cabo una calibración, esto depende mucho de la longitud que se maneja y de la pieza que se requiere calibrar, también depende de la técnica empleada, del manejo de los bloques y de los respectivos accesorios que se utilicen. Los bloques patrón también requieren de la recalibración periódicamente dependiendo de la frecuencia con la que son utilizados, además de que tienen un tiempo específico para ser calibrados.

Así como existen métodos diversos para las mediciones y calibraciones, también existen formas de mantener en buen estado los bloques y la limpieza que se debe dar a cada uno de ellos, por que si alguno de estos bloques difiere en su tolerancia, todo el conjunto de bloques esta dentro de un margen de error y ya no es confiable la calibración de ninguna pieza.

## **1.4. Instrumentos de medición dimensional de alta exactitud**

Los instrumentos de alta exactitud permiten medir piezas de formas geométricas simples o complejas.

La confiabilidad en cuanto a la medición en estos instrumentos es muy grande porque los errores que se presentan al hacer las mediciones se pueden minimizar o reducir mediante programación, ya que estas máquinas casi siempre están interconectadas a un sistema electrónico que captura las mediciones hechas.

### **1.4.1. Máquinas de medir en un eje**

Básicamente son máquinas que se utilizan en la calibración de reglas y escalas graduadas, aunque también sirven para medir piezas con formas geométricas simples. Mediante la programación en la interfaz que se utilice se pueden reducir mucho los errores en las mediciones. En la mayoría de estas máquinas, la medición se hace por comparación, ya sea directamente o por medio de un pequeño ocular de microscopio.

### **1.4.2. Máquinas de medir en tres ejes**

Las máquinas de medición en tres ejes o de coordenadas (CMM, ver figura 1.8) recogen información dimensional detallada desplazando un palpador a lo largo de las superficies de la pieza de trabajo. La mayoría de las CMM adquieren los datos utilizando un palpador de gatillo que hace contacto en puntos individuales de la pieza de trabajo.

Esta técnica de medida de puntos individuales puede recolectar datos, por lo general, a velocidades máximas de 50 ó 60 puntos por minuto, velocidades considerablemente mayores que las obtenidas con instrumentos manuales de medición.

Lo que hace valiosa la metrología de coordenadas, como una herramienta de control de procesos, es que puede ser usada para medir con exactitud objetos en un amplio rango de tamaños y configuraciones geométricas, y discernir la relación entre diferentes rasgos de una pieza de trabajo. Esta flexibilidad, y la velocidad de operación de la medición por coordenadas comparada con las técnicas de superficies planas y de galgas fijas, significa que los resultados de la medición pueden ser utilizados para refinar de una manera económica aplicaciones de procesos de manufactura, además de analizar las tendencias del proceso.[17]

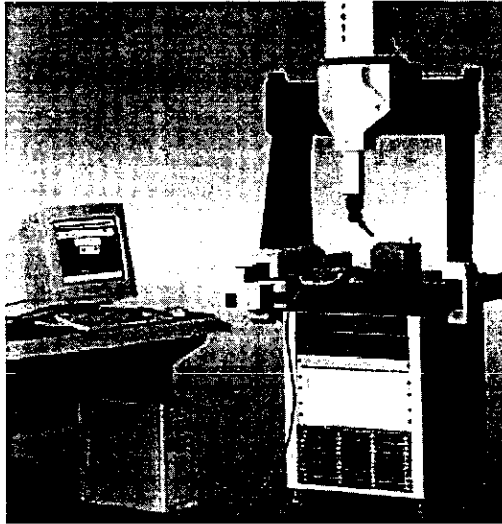


Figura 1.8. Máquina de medición por coordenadas.

### 1.4.3. Sistemas láser de medición

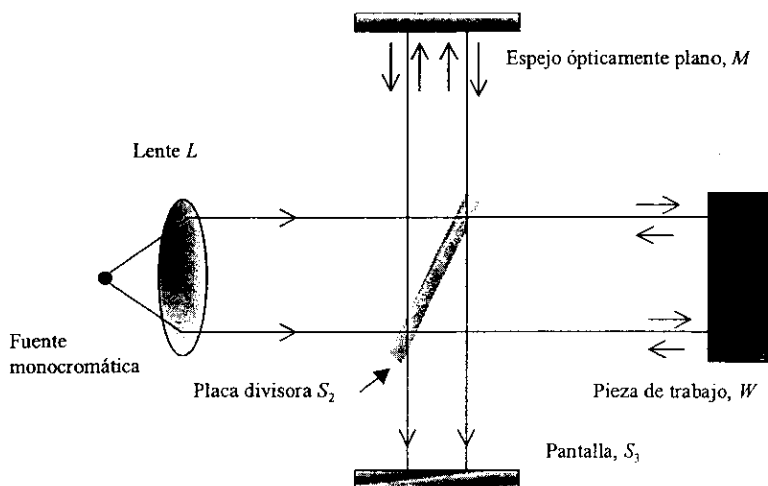
Un método óptico para medir dimensiones con mucha exactitud se basa en el principio de la interferencia de la luz. El instrumento basado en este principio se llama interferómetro y se usa en la calibración de los bloques calibradores y otras aplicaciones donde se requieren mediciones dimensionales absolutas con extrema precisión.

El principio de interferencia ofrece la posibilidad práctica de medir pequeños defectos de superficie y calibrar los bloques calibradores; sin embargo, se utiliza un plano óptico inclinado, como el de la figura 1.9.

La luz monocromática de la fuente se colima mediante la lente  $L$  en la placa divisora  $S_2$ , la cual es un espejo medio plateado que refleja la mitad de la luz hacia el espejo  $M$  ópticamente plano y permite la transmisión de la otra mitad hacia la pieza de trabajo  $W$ . Ambos haces se reflejan, se recombinan en la placa divisora  $S_2$  y entonces se transmiten a la pantalla. Pueden aparecer franjas en la pantalla que resultan de las diferencias en las longitudes de las trayectorias ópticas de los dos haces.



Si el instrumento está construido de manera apropiada, estas diferencias ocurren por las variaciones dimensionales de la pieza de trabajo.



**Figura 1.9.** Esquema del interferómetro.

Como muestra la ecuación,, la longitud de onda de la luz de la fuente monocromática influye en el espaciado de las franjas. La tabla 1.1 que se muestra a continuación detalla las longitudes de onda de algunas fuentes comunes de luz y el intervalo correspondiente entre franjas de media longitud de onda.[4]

Fuente	Longitud de onda $\mu m$	Intervalo de franja de longitud de onda de media $\mu m$
Helio	0.589	0.295
Kriptón 86	0.606	0.303
Mercurio	0.546	0.0.273
Sodio	0.598	0.299

**Tabla 1.1.** Longitudes de onda.

## 1.5. Transductores de posición utilizados en metrología dimensional

Un transductor es, simplemente, un dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una magnitud física, propiedad o condición específica que se desea medir.[3]

El transductor de posición permite determinar la longitud recorrida por un móvil en un tiempo determinado.

### 1.5.1. Transductores inductivos

Los elementos de transducción inductiva convierten un cambio de la magnitud en un cambio de la auto inductancia de un devanado único. Los cambios de inductancia pueden efectuarse mediante el movimiento de un núcleo ferromagnético interior al devanado o mediante cambios de flujo introducidos externamente en un devanado con un núcleo fijo.

Las figuras 1.10, 1.11, y 1.12 muestran una sección transversal de un LVDT real. En la práctica, el transductor consta de tres enrollamientos coaxiales, de los cuales el del centro es el primario y los extremos son los secundarios. Las posiciones reales del núcleo se aprecian en las figuras 1.10, 1.11, y 1.12. En ellas las posiciones del núcleo relativo al rango son, respectivamente, -100%, 0% y 100%.

Los tres enrollamientos se bobinan sobre un cilindro hueco de material no ferromagnético y aislado eléctricamente. El núcleo ferromagnético puede acoplarse a una amplia gama de vástagos. La carcasa es de metal ferromagnético con el fin de actuar de barrera frente a las interferencias electromagnéticas.[14]

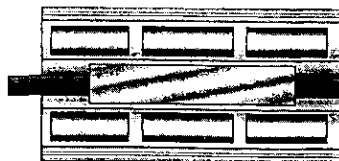


Figura 1.10. LVDT -100%.

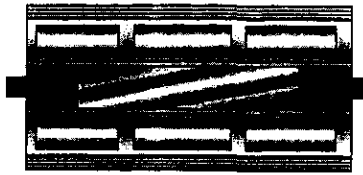


Figura 1.11. LVDT 0%.

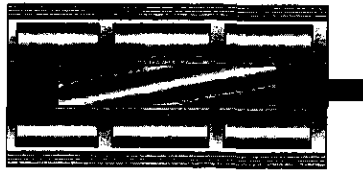


Figura 1.12. LVDT 100%.

### 1.5.2. Transductores ópticos

Con la excepción de los *codificadores ópticos*. Los transductores de desplazamiento electro óptico son los más típicos transductores sin contacto.

Estos dispositivos, que pueden ser usados para la medida de posición o desplazamiento, tienen su aplicación principal en el calibrado dimensional. La figura 1.13 muestra un sistema láser de medición.

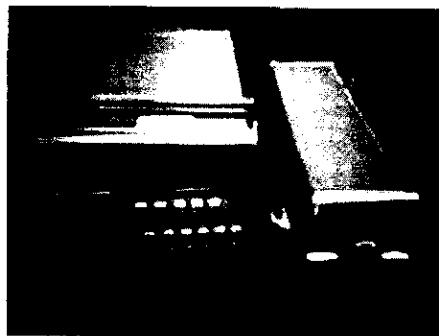


Figura 1.13. Sistema láser de medición.

### 1.5.3. Codificador lineal óptico

Este tipo de codificadores genera una salida digital, sin necesidad de usar un convertidor analógico-digital.

El método empleado es el siguiente: se hace incidir un haz de luz sobre un sensor, con la finalidad de interrumpir dicho haz, mediante una sección transparente que se encuentra marcada con segmentos opacos.

Cuando el haz de luz incide directamente sobre el sensor obtenemos una salida lógica, un "1", cuando por el contrario el sensor no recibe luz, obstruido por un segmento opaco se obtiene una salida lógica "0".

Los codificadores ópticos utilizan diodos emisores de luz (LED) y los segmentos opacos/transparentes se aplican con técnicas sofisticadas de bombardeo al vacío de material opaco sobre cristales transparentes (ver figura 1.14).

Dentro de los codificadores ópticos se encuentran los codificadores incrementales, que producen pulsos igualmente espaciados en cada sector, los pulsos son acumulados en un contador (incrementador/decrementador) y el contaje es la indicación del desplazamiento, el punto de origen puede fijarse o programarse en el dispositivo de lectura. Alternativamente, puede producirse una señal adicional de indexado (ver figura 1.15).

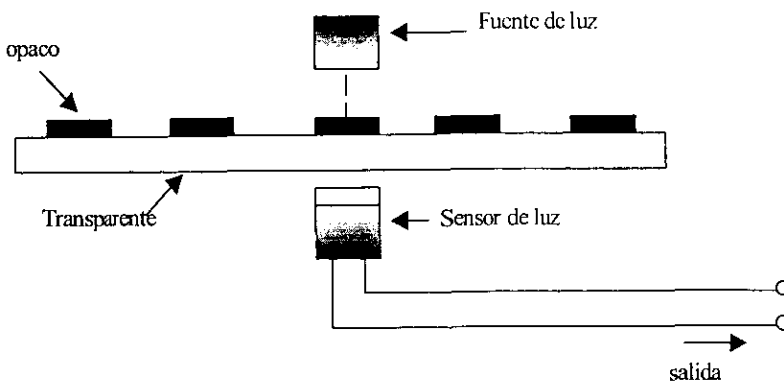


Figura 1.14. Codificador óptico.

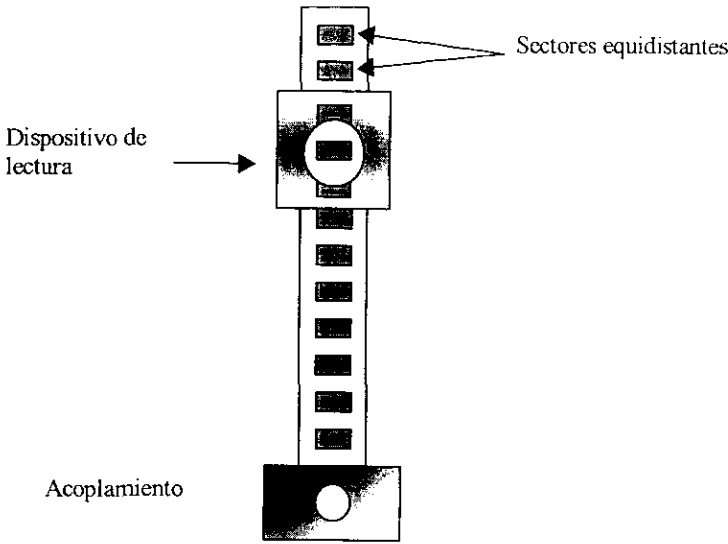


Figura 1.15. Codificador incremental (lineal).

## 1.6. Microcontrolador MC68HC811E2

El MC68HC11 es un microcontrolador de 8 bits, velocidad del bus de 2MHz. Cuenta con un convertidor analógico a digital, incluye 8 bits de resolución, una interfaz asíncrona de comunicación serial (SCI), una interfaz síncrona serial periférica (SPI), figuras 1.16 y 1.17.

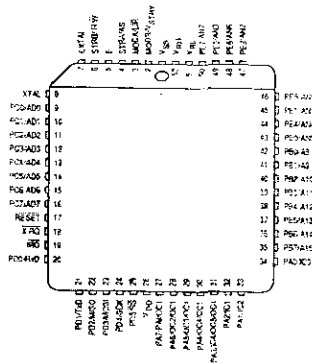


Figura 1.16. Empaque del MCU (PLCC).

### **1.6.1. Características del MC68HC811E2**

- CPU M68HC11.
- Modos de la PARADA y de la ESPERA del ahorro de potencia.
- 512 bytes de RAM de On-Chip, datos conservados durante recurso seguro.
- 2048 bytes de EEPROM con direccionamiento bajo seleccionable en MC68HC811E2.
- No retorno asíncrono (NRZ) en la interfaz de comunicaciones serial asíncrona (SCI).
- Interfaz Periférico Serial Síncrono (SPI).
- Convertidor analógico a digital de 8 canales, 8 bits.
- Sistema de temporizador de 16-Bits.
- Tres canales de entrada para la captura (IC).
- Cuatro canales de salida (OC).
- Un canal adicional, seleccionable como cuarto IC o quinto OC.
- Acumulador del pulso de 8-Bits.
- Circuito, en tiempo real, para interrupciones.
- Función de para la auto verificación de operación apropiada del software.
- 38 pines de entrada-salida de propósito general.
- 16 pines bidireccionales de entrada-salida.
- 11 pines de entrada-salida.
- Empaque Plastic Leaded Chip Carrier (PLCC).

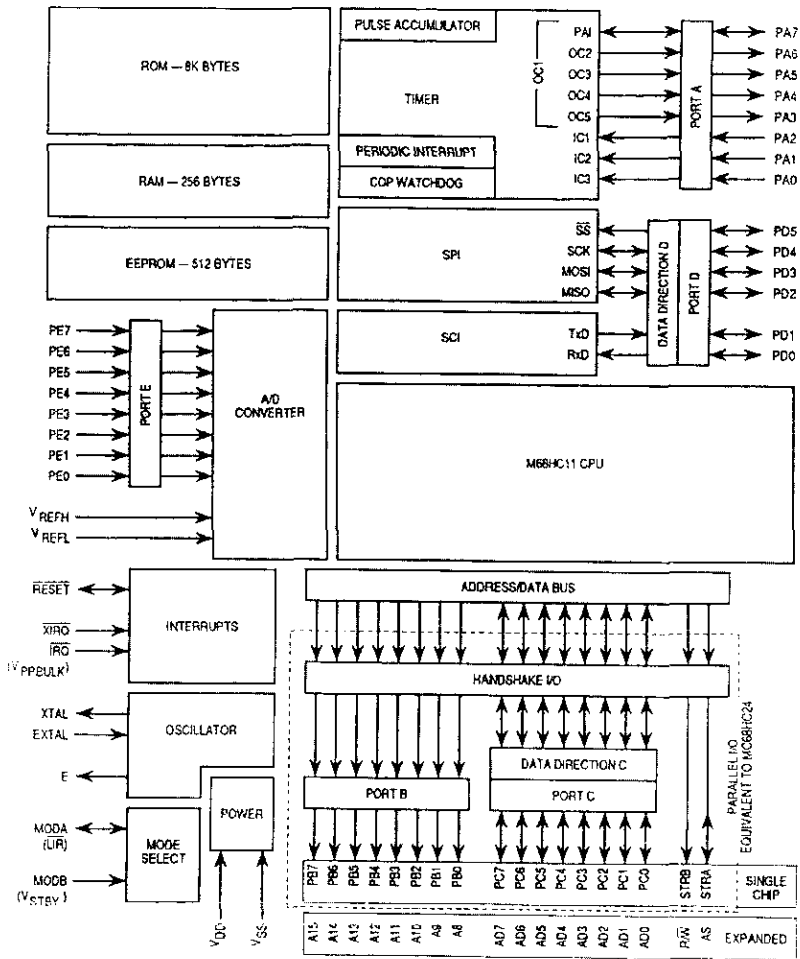


Figura 1.17. Diagrama a bloques.

## 1.6.2. Breve descripción de los bloques

### Fuente de poder de 5 V (nominal)

Los pines que son utilizados son VDD para el voltaje positivo y VSS para la tierra.

### **Modos de selección**

Mediante los pines MODA y MODB podemos seleccionar los modos que son: Normal Single Chip, Normal Expanded, Special Bootstrap y Special Test.

### **Oscilador**

Los pines utilizados son: EXTAL, XTAL y E, y pueden usarse con un cristal externo o una fuente generadora compatible.

### **Interrupciones**

#### 1. Reset pin RESET.

Esta señal de control es usada como entrada para inicializar al microcontrolador y como salida para indicar que un incidente interno se ha detectado en el monitor del reloj.

#### 2. Interrupciones XIRQ y IRQ.

El pin XIRQ proporciona los medios para solicitar interrupciones no-enmascarables después de la inicialización.

El pin IRQ proporciona los medios para solicitar interrupciones asíncronas al microcontrolador.

### **Convertidor analógico a digital y puerto E**

Los pines utilizados son: VREFL, VREFH, PE7-PE0.

El VREFL, VREFH proporcionan los voltajes de referencia para el convertidor. Estos pines son conectados normalmente al voltaje positivo y a tierra a través de un filtro paso-bajas, esto es para aislar el ruido que produce la fuente de poder.

El puerto E tiene sus pines solamente de entrada y son de propósito general o entradas analógicas.

### **Timer del puerto A**

El puerto A incluye tres pines únicamente de entrada, cuatro pines de salida y un pin que puede ser configurado para operar como entrada o como salida. Los pines de entrada (PA0/IC3, PA1/IC2 y PA2/IC1) sirven como contactos sensibles a la captura de información del temporizador. Los cuatro pines de salida



(PA3/OC5/OC1, PA4/OC4/OC1, PA5/OC3/OC1 y PA6/OC2/OC1) sirven como salidas de comparación.

El pin PA7/PA1/OC1 puede ser usado como un pin de propósito general de entrada-salida, como una entrada de acumulador de pulsos o como una salida OC1.

### **Puerto serial D**

El puerto D incluye seis pines de propósito general de entrada-salida, y pueden ser configurados individualmente como entradas o como salidas. Cuando la interfaz de recepción de comunicación serial (SCI) está habilitada, el pin PD0/RxD es una entrada de información de recepción.

Cuando el transmisor SCI está habilitado, el pin PD1/TXD es una salida de información de transmisión. Cuando el sistema periférico serial de interfaz SPI está habilitado, los pines PD2/MISO, PD3/MOSI, PD4/SCK y PD5/SS están en servicio para las funciones del SPI.

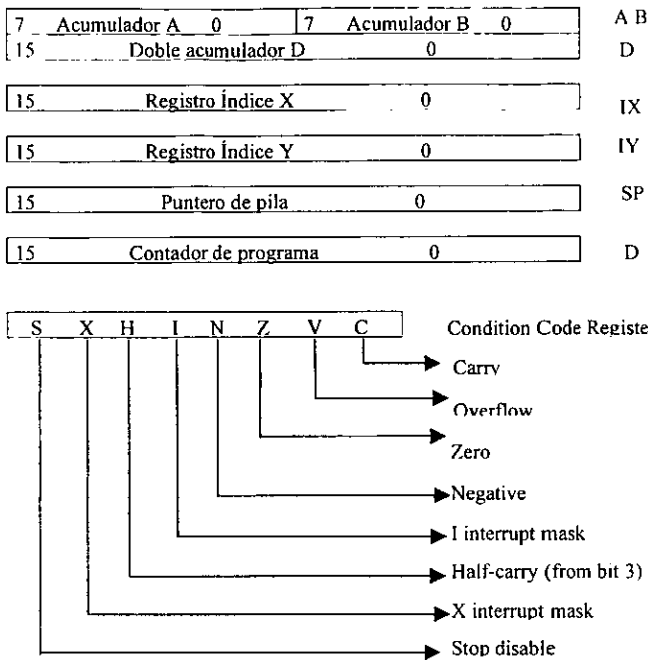
### **Puerto B y C**

Estos 18 pines son usados para propósitos generales de entrada-salida, cuando el microcontrolador opera en modo single-chip. Cuando opera en expanded mode, estos 18 pines son multiplexados en un bus de direcciones/datos. En modo single chip los 18 pines son de propósito general de entrada-salida. El puerto B cuenta con 8 pines de salida únicamente; el puerto C consta de 8 pines bidireccionales entrada-salida.

## **1.6.3. Modelo de programación**

En la figura 1.18 se muestran siete registros en el CPU disponibles para programarse. Existen dos acumuladores de 8 bits (A y B), que pueden ser utilizados por algunas instrucciones.

La unión de los registros A y B constituyen al registro D que es un acumulador de 16 bits. Dos índices de registro Y y X de 16 bits sirven para operar cualquier localidad de memoria. El puntero de pila (stack pointer) permite resguardar datos en las llamadas a subrutinas, interrupciones o código que así lo requiera. El contador de programa (program counter) lleva el flujo del programa que se está ejecutando.



**Figura 1.18.** Modelo de programación.

En el CCR (condition code register) contamos con 8 banderas que nos proporcionan la siguiente información.

Carry (acarreo), indica si el resultado de una operación excede en un bit a los operandos.

Overflow (sobreflujo), indica si el resultado de una operación (de 8 o 16 bits) excede en un bit el rango.

Zero (cero), indica si el resultado de una operación es cero.

Negative (negativo), indica si el resultado de una operación es negativo.

I Interrupt mask (mascara de interrupción), permite habilitar o deshabilitar interrupciones.

Half carry (medio acarreo), indica si el resultado de una operación se excedió de 4 bits.

X interrupt mask (mascara de interrupción), permite habilitar o deshabilitar las interrupciones mascarables.

Stop disable (deshabilitación del paro), permite el funcionamiento del microcontrolador en un bajo consumo de energía o de forma normal.

## CAPITULO 2

# INTERFAZ ELECTRÓNICA

En esencia, la máquina para la calibración de escalas graduadas es una máquina de medición en una coordenada con dos niveles de posicionamiento: uno fino que permite resoluciones de  $\mu\text{m}$  en un alcance limitado y uno burdo que permite el posicionamiento en el alcance completo de 1.2 m. En éste sentido, el sistema electrónico permite interconectar electrónicamente la computadora PC a dos motores usados en el sistema de posicionamiento.

Por otra parte, el codificador óptico en la máquina para la calibración de escalas graduadas, genera lecturas de posición que deben ser adecuadas electrónicamente a la computadora. La tarjeta de interfaz entre codificadores y PC realiza ésta tarea.

En el presente capítulo, presentamos una breve descripción del sistema mecánico, el cual nos proporcionará la pauta para establecer los requerimientos electrónicos de nuestro trabajo. Posteriormente, con los requerimientos electrónicos establecidos y el método descrito en la introducción, planteamos el diseño electrónico que forma una parte importante de nuestro trabajo de tesis.

## 2.1. Introducción

En este trabajo utilizamos un diseño mecánico con capacidad hasta 1200 mm de longitud útil, que además de prescindir del patrón (referencia para la calibración), garantiza la confiabilidad de la calibración de reglas o escalas graduadas de alta exactitud, inicialmente en concordancia con la recomendación OIML R35 y la norma JIS B 7516 (aplicables a reglas de uso general) y posteriormente en concordancia con la recomendación OIML R98 (aplicable a reglas de alta exactitud), figura 2.1. Tal diseño mecánico, ha sido desarrollado recientemente en el Laboratorio de Metrología del CI UNAM, y constantemente se le incorporan mejoras y adecuaciones.

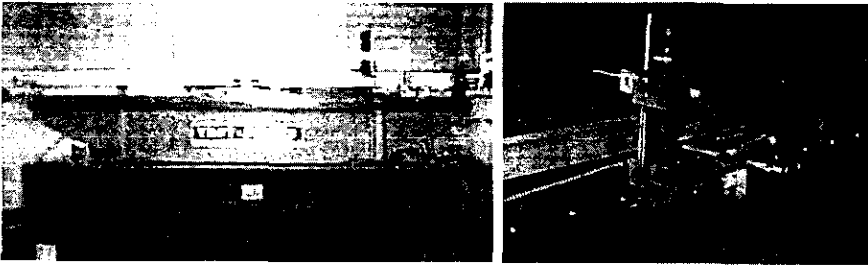


Figura 2.1. Máquina para la calibración de escalas.

## 2.2. Sistema mecánico

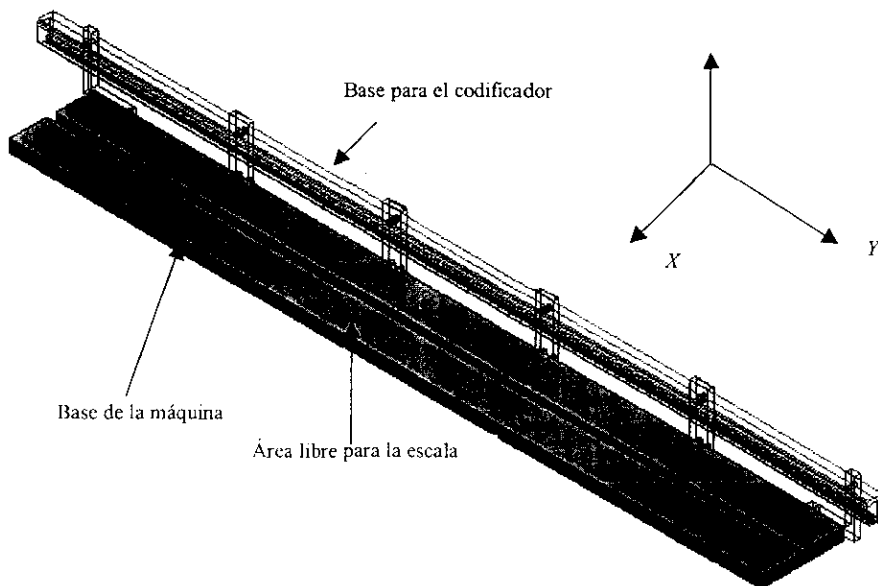
El sistema mecánico cuenta con un buen alineamiento entre dos carros y la guía (por la cual se deslizan), para que las lecturas de desplazamiento incluyan únicamente la componente longitudinal  $Y$ , figura 2.2.

La base de la máquina esta constituida por una bancada rectificada. Por uno de sus lados, se sostiene la base para el codificador óptico. Dos carros se unen a la guía del codificador por ese mismo lado. Por el otro lado de la bancada se dispone de un área para colocar la regla o escala graduada, es decir, el área libre para la calibración.

Al centro de la bancada se encuentra la guía, por la cual se van a deslizar dos carros; uno de los carros (carro 1, figura 2.3) esta unido al

cursor del codificador y el otro (carro 2, figura 2.4) se encuentra acoplado al primero mediante un tornillo micrométrico, ver figura 2.5. A su vez, en el carro 1 se encuentra un soporte para un pequeño microscopio (o cámara) mediante el cual se hará la inspección ocular para posicionar la medición actual.

El desplazamiento relativo entre los carros, mediante un tornillo micrométrico, permite el nivel de desplazamiento fino. Cuando el carro 2 este fijo con respecto a la bancada, el movimiento fino se obtendrá al girar un tornillo micrométrico que desplaza el carro 1.



**Figura 2.2.** Base para la bancada y el codificador.

El frenado del carro 2 se puede obtener frenando el sistema de posicionamiento burdo, como se verá más adelante.

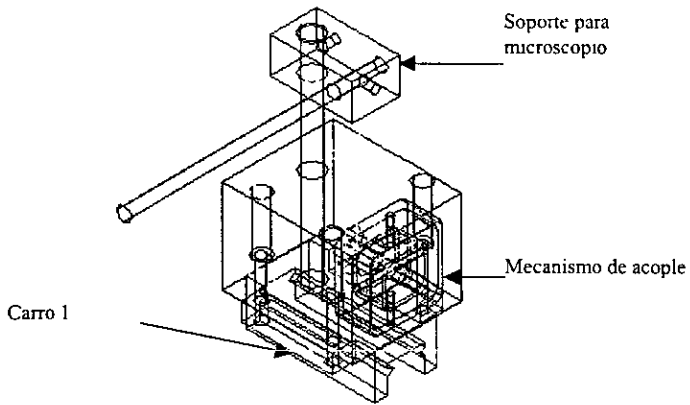


Figura 2.3. Carro 1.

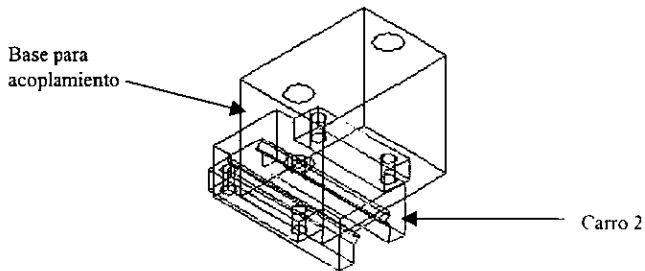


Figura 2.4. Carro 2.

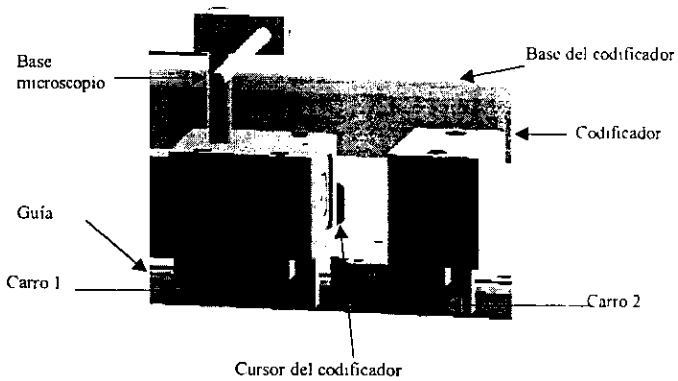


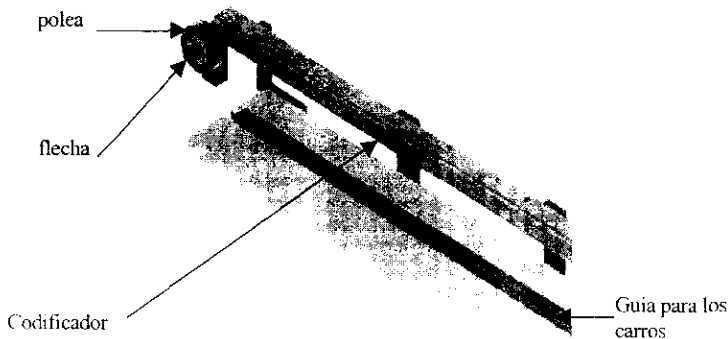
Figura 2.5. Carros sobre la guía.

El mecanismo que proporciona posicionamiento burdo y le da movimiento a los carros, se constituye por una polea y un cinta metálica solidaria al carro 2, ver figura 2.6. El movimiento es proporcionado por un motor de DC.

Por lo tanto, el frenado del motor de DC permite el posicionamiento fino descrito anteriormente.

La construcción y el diseño mecánico han sido depurados, principalmente cuidando el buen alineamiento entre las piezas.

Adicionalmente, el diseño contempla accesorios mecánicos para la calibración periódica de la máquina mediante un sistema de mayor resolución (sistema de medición láser).



**Figura 2.6.** Elementos de la máquina.

Típicamente, tales calibraciones periódicas, se realizan una vez por año. No obstante, el instrumento, una vez calibrado, puede desarrollar calibraciones de escalas graduadas durante el periodo de vigencia de su calibración, ver figuras 2.7 y 2.8.



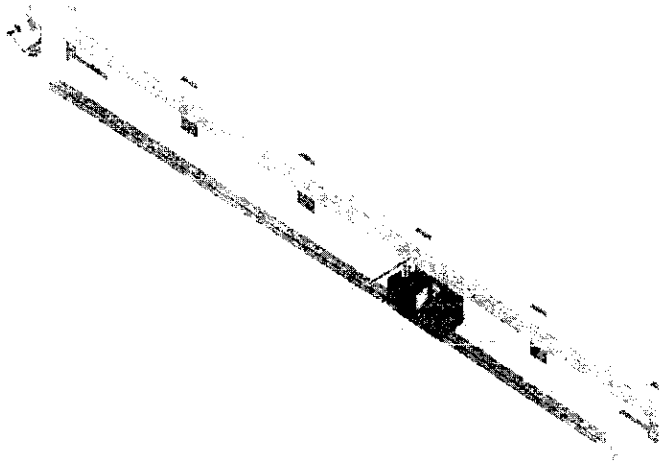


Figura 2.7. Sistema mecánico completo.

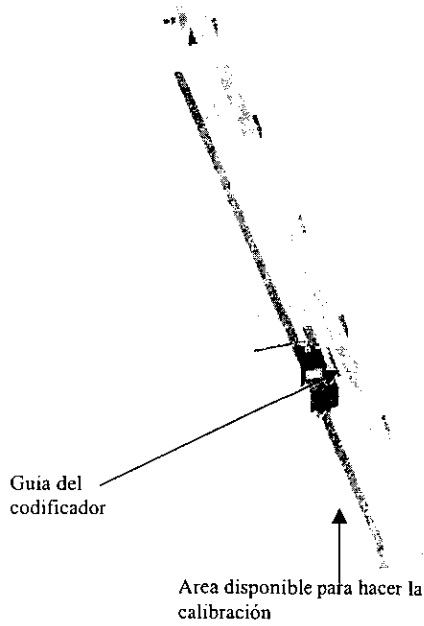


Figura 2.8. Sistema mecánico completo.

## **2.3. Requerimientos electrónicos**

En el desarrollo de la máquina para la calibración de reglas y escalas graduadas es necesario contar con un sistema electrónico que permita registrar los datos enviados del codificador óptico hacia la PC. El sistema electrónico que sirve como interfaz entre el codificador y la PC es una tarjeta de adquisición de datos, la cual dispone de diversos circuitos electrónicos como: contadores, circuitos de almacenamiento, circuitos de retención y multiplexores.

La función que desempeña la tarjeta es básicamente almacenar los datos registrados al hacer las mediciones y enviarlos a la PC.

En la máquina de calibración de reglas y escalas graduadas el codificador óptico es el patrón de medición y, por lo tanto, es el encargado de proporcionar las lecturas patrón mediante el posicionamiento del carro 1 sobre la lectura deseada. Estas lecturas son capturadas por la tarjeta de interfaz entre codificadores y PC. La tarjeta mantiene dichas lecturas en dispositivos electrónicos de retención para que puedan utilizarse como mejor convenga, en nuestro caso se utilizan en el programa MCREG.EXE que es la interfaz entre el usuario y la máquina.

En éste sentido, los requerimientos electrónicos son:

- Una tarjeta de interfaz entre codificadores ópticos y PC que contemple las adecuaciones necesarias para su interconexión eléctrica. La tarjeta debe ser capaz de capturar lecturas en forma asíncrona con respecto al procesador, de manera que no se pierdan transiciones en el codificador óptico. Una vez alcanzada la estabilidad de la posición, la tarjeta deberá ser capaz de registrar la posición estable y enviarla a solicitud de la interfaz con el usuario.
- Un sistema electrónico que proporcione el medio para el posicionamiento de dos motores en dos niveles de resolución (fino y burdo). En el nivel fino de posicionamiento se desea desplazar un tornillo micrométrico con el menor nivel de resolución posible. Lo anterior se puede lograr al mover paso a paso un motor de pasos.

En el nivel burdo de posición se desea mover el arreglo de los dos carros mostrado en la figura 2.5 con la inercia que ello implique. Tal situación se logra mediante el control de velocidad de un motor de DC de mediana potencia.

## 2.4. Codificador lineal ACU-RITE

El codificador lineal es el patrón de medición; cuenta con una longitud de 1.375m y una resolución de  $2\mu\text{m}$ . Cuando se mueve en cualquier dirección envía señales digitales en cuadratura que son utilizadas para codificar posición y realizar la intercomparación contra la regla o escala bajo inspección, figura 2.9.

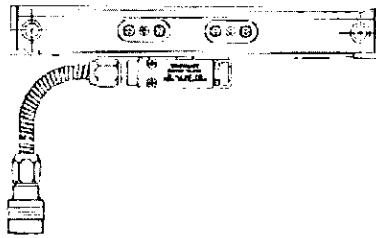


Figura 2.9. Codificador lineal ACU-RITE.

La tecnología basada en cristal del codificador óptico, es el estándar industrial y es preferido por todo el mundo para la realimentación de posición. Por casi cuatro décadas, la tecnología de cristal de los codificadores ópticos de precisión ACU-RITÉ ha probado su confiabilidad superior con exactitud y durabilidad consistente, ver figura 2.10.

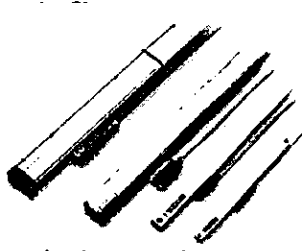


Figura 2.10. Codificadores ACU-RITE.

El cristal es un material intrínsecamente estable que resiste cambios de tamaño, dimensión de una variable o la densidad debido a las variaciones en temperatura o humedad. Esta estabilidad permite la generación de los modelos ultra-finos de la línea; proveyendo a las escalas del cristal de precisión de ACU-RITE una exactitud excepcional abajo de  $\pm 1.5\mu\text{m}$  (00006").

Los codificadores ópticos ACU-RITE están disponibles en longitudes del recorrido a partir de 1"-773" y en resoluciones a partir del  $0.5\mu\text{m}$  (00002") hasta  $10\mu\text{m}$  (0005").

### **2.4.1. Funcionamiento**

Un codificador óptico de precisión ACU-RITE consiste de una escala de cristal con buena calidad óptica y una pista de lectura foto electrónica. La cabeza lectora o cursor se desliza a lo largo de la escala de cristal iluminando un patrón de líneas de cromo de precisión. Este patrón es reconocido por los foto detectores, que generan una señal electrónica, ver figura 2.11.

Se puede ilustrar este proceso con dos peines de pelo: Si se tomaran dos peines y se pusiera uno encima del otro delante de una fuente de luz, y después se movieran hacia adelante y hacia atrás, se vería un modelo ondulado similar al que los receptores de luz del codificador detectan.

Sin embargo, debido a que los ojos no son tan agudos como receptores electrónicos, algunas condiciones como la lluvia o la niebla obscurecerían la visión. Los foto detectores, sin embargo, siendo mucho más sensibles, pueden detectar la luz infrarroja más intensa a través del líquido, por ejemplo líquido refrigerador, o el aceite.

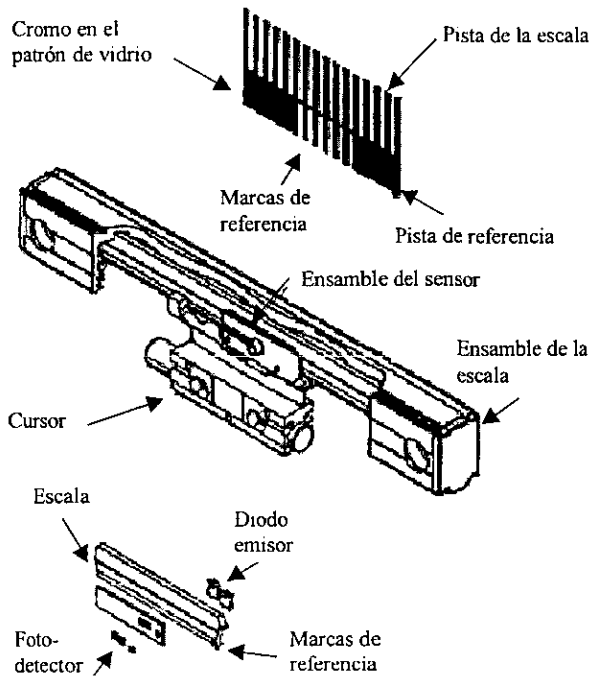


Figura 2.11. Funcionamiento de un codificador óptico.

## 2.4.2. Exactitud y resolución

Solamente con la escala de cristal de precisión ACU-RITE la tecnología puede asegurar que el codificador, en una máquina herramienta, está controlando millares de posiciones reales en cada pulgada del recorrido. Una escala de cristal de precisión  $1\mu\text{m}$  ACU-RITE, tiene 1270 líneas exactamente por pulgada, cada una de las cuales es detectada por el lector fotoeléctrico mientras se desliza la escala. Esto da a los codificadores de precisión ACU-RITE un intervalo de medición fundamental 10 veces más fino que la tecnología alternativa más cercana del codificador, ver figura 2.12.

La capacidad de los codificadores ópticos ACU-RITE de medir continuamente posiciones exactas es debido a las excelentes calidades del cristal. El cristal es un material intrínsecamente estable que resiste cambios de tamaño, la dimensión de una variable o la densidad debido a las variaciones de la temperatura.

Esta estabilidad permite la generación de los numerosos patrones de línea ultra-finos; proveyendo a los codificadores de precisión ACU-RITE con la exactitud excepcional para las longitudes del recorrido a partir de la 1"-120" en resoluciones a partir de la 10 $\mu$ m hasta un los 0.5 $\mu$ m.

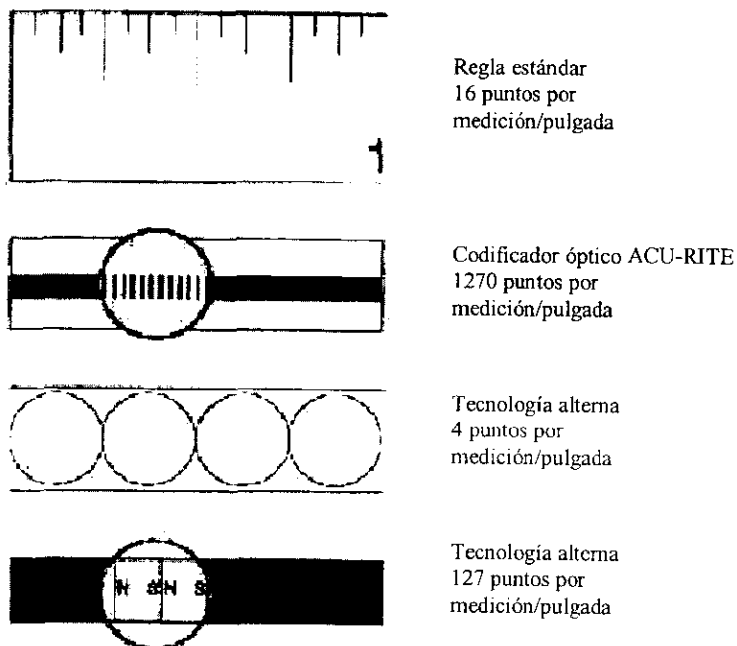


Figura 2.12. Comparación entre mediciones longitudinales.

## 2.5. Tarjeta de interfaz PC7266

La tarjeta PC7266, figura 2.13, constituye el medio electrónico a través del cual la PC se conecta a los codificadores ópticos en la máquina. El desplazamiento del eje en la máquina es registrado por los codificadores ópticos. Entonces la tarjeta PC7266 se encarga de contar las transiciones eléctricas ocurridas en los codificadores ópticos.

De esta forma, la PC puede encuestar el contenido de los contadores en la PC7266 para procesar tal cuenta e interpretarla como un desplazamiento lineal en la máquina.

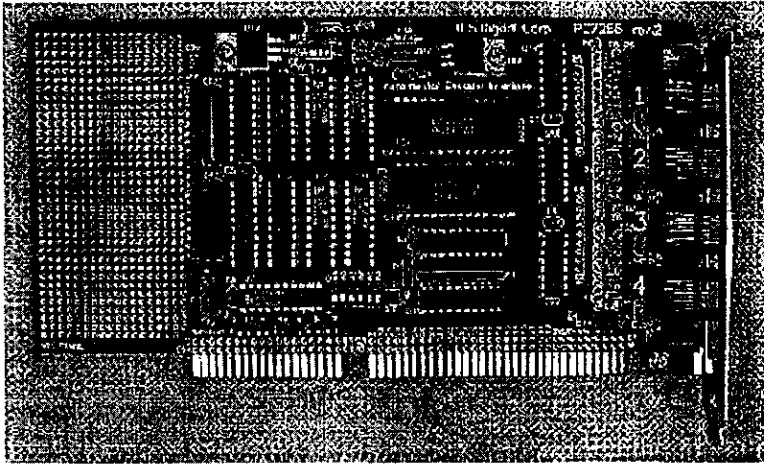


Figura 2.13. Tarjeta de adquisición de datos PC7266.

La tarjeta PC7266 se conecta en una cavidad ISA estándar de 16 bits de computadoras IBM PC y compatibles. Esta incluye dos contadores duales de 24 bits LS7266R1. La versión particular de la tarjeta acepta entradas compatibles con TTL. Cuatro PAL's reciben las entradas de "índice" y "acarreo" y controlan las señales de "carga de contador", "inicio de contador" e "interrupción". Cada uno de los cuatro canales de conexión a transductores ópticos puede programarse independientemente en uno de ocho modos diferentes. Siete "jumpers" son usados para seleccionar la dirección de interrupción IRQ. Esta tarjeta adicionalmente proporciona polarización 5.5Vcd a los codificadores externos. La tarjeta incluye capacidades de programación bajo Windows 98 en Visual C++ V6.0.

La figura 2.14 ilustra la implementación en la PC7266 utilizando un solo circuito integrado LS7266R1.

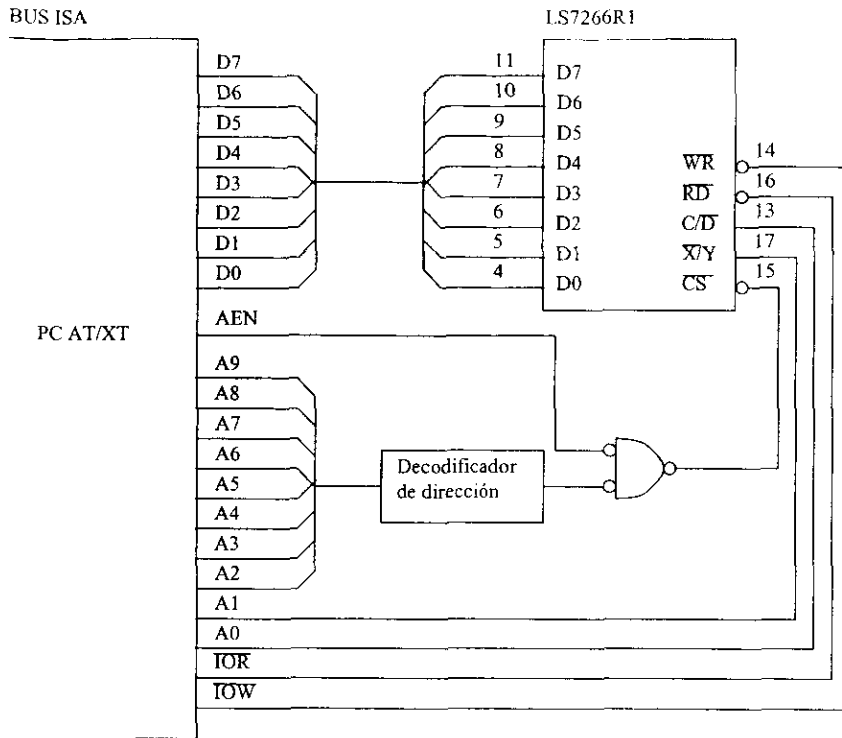


Figura 2.14. Implementación de la PC7266 usando el LS7266.

### 2.5.1. Descripción

La tarjeta PC7266 ha sido probada ejecutando el programa MCREG.EXE en una PC Pentium MMX a 200MHz, 32Mb en RAM y Windows 98. No obstante, el sistema puede ser transportable a diferentes arquitecturas. La siguiente es una lista de las características más importantes de la PC7266.

- 4 canales.
- Contadores de 24 bits con capacidad de pre-carga.
- Salidas retenidas de los contadores.
- Resolución multiplicada X1, X2 y X4.



- Interfaz TTL.
- Generador de interrupciones y entradas con índice programables.
- Puerto de entrada/salida de 8 bits.
- Software para desarrollar aplicaciones.
- Área de desarrollo de prototipos.

Los conectores en la tarjeta son modulares tipo telefónico de 6 pines, como los mostrados en la figura 2.15.

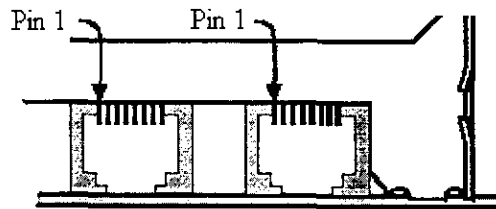


Figura 2.15. Conectores para los codificadores ópticos.

La función en cada pin del conector se describe en la tabla 2.1.

Pin	Nombre	Descripción
1	GND	Tierra común de polarización y datos
2	PWR	Salida de polarización a los codificadores
3	I-	Entrada en cuadratura, I+ invertida
4	I+	Entrada en cuadratura
5	A-	Entrada en cuadratura, A+ invertida
6	A+	Entrada en cuadratura
7	B-	Entrada en cuadratura, B+ invertida
8	B+	Entrada en cuadratura

Tabla 2.1. Función de los pines.

La selección de la dirección base se realiza con la ayuda del conector "dip switch" en la PC7266, mostrado en la figura 2.16, y con la tabla 2.2.

HEX	A9	A8	A7	A6	A5	A4
220	1	0	0	0	1	0
240	1	0	0	1	0	0

250	1	0	0	1	0	1
260	1	0	0	1	1	0
300	1	1	0	0	0	0
310	1	1	0	0	0	1
330	1	1	0	0	1	1
340	1	1	0	1	0	0
350	1	1	0	1	0	1
360	1	1	0	1	1	0

Tabla 2.2. Dirección base.

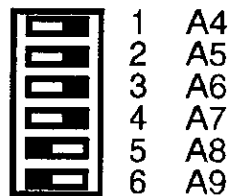


Figura 2.16. Dip switch, 0=bajo, 1=alto.

## 2.5.2. Mapa de puertos

El siguiente mapa de puertos de la tabla 2.3, ayuda al programador a establecer las funciones de la PC7266 mediante la lectura/escritura en tales direcciones.

Dir. (+base)	Leer / Escribir	Descripción
0	Leer/Escribir	Dato hacia/desde LS7266R1 Codificador #1
1	Leer	Bandera de estado desde LS7266R1 Codificador #1
1	Escribir	Control al LS7266R1 Codificador #1
2	Leer/Escribir	Dato hacia/desde LS7266R1 Codificador #2
3	Leer	Bandera de estado desde LS7266R1 Codificador #2
3	Escribir	Control al LS7266R1 Codificador #2
4	Leer/Escribir	Dato hacia/desde LS7266R1 Codificador #3
5	Leer	Bandera de estado desde LS7266R1 Codificador #3
5	Escribir	Control al LS7266R1 Codificador #3
6	Leer/Escribir	Dato hacia/desde LS7266R1 Codificador #4

7	Leer	Bandera de estado desde LS7266R1 Codificador #4
7	Escribir	Control al LS7266R1 Codificador #4
8	Leer	Estado desde todas las PAL's (cuatro primeros bits)
8	Escribir	Modo buffer para las PAL's 1 y 2
9	Escribir	Modo buffer para las PAL's 3 y 4
A	Leer/Escribir	Hacia/desde el puerto entrada/salida

Tabla 2.3. Mapa de puertos.

### 2.5.3. Programación

La figura 2.17 es un diagrama de flujo que ilustra los pasos a seguir para operar la tarjeta PC7266.

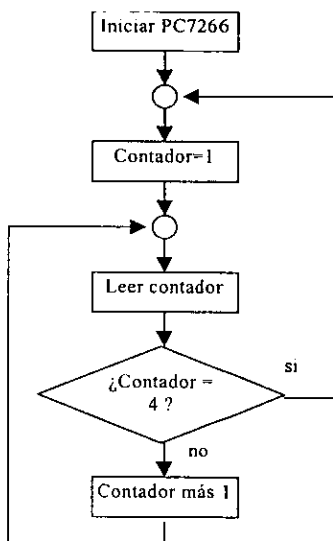
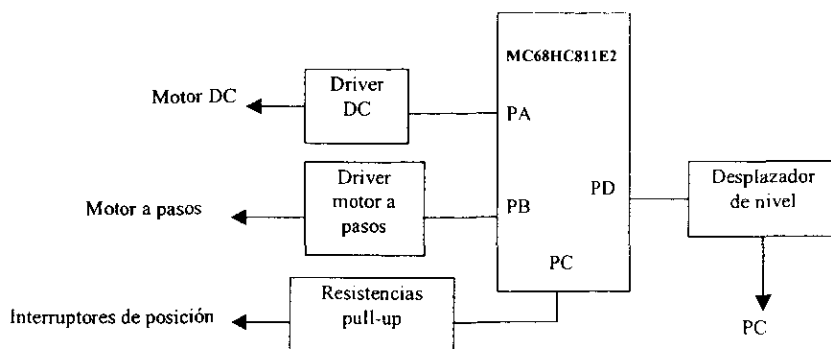


Figura 2.17. Diagrama básico de flujo.

## 2.6. Sistema electrónico



**Figura 2.18.** Diagrama a bloques del sistema.

La figura 2.18 muestra el diagrama a bloques del sistema electrónico empleado para el posicionamiento automático en la máquina de calibración de reglas y escalas graduadas de alta exactitud. Los detalles de la implementación se muestran en el Anexo al final de la tesis.

Breve descripción de bloques mostrados en la figura 2.18.

- El motor de corriente directa es controlado mediante la variación en el ancho del pulso que recibe; así se controla su velocidad, y su sentido se controla a través de un arreglo de transistores.
- El motor a pasos funciona cuando por sus bobinas circula una corriente, esa corriente debe seguir una secuencia determinada. Esta secuencia permite el control del sentido y de la velocidad del motor.
- Los interruptores de posición indican el límite para el movimiento permitido de cada uno de los dos motores.
- Las resistencias de pull-up permiten el intercambio entre los niveles lógicos recibidos por el HC11 al cerrar los interruptores mecánicos.

- Tanto el driver para el motor de DC como el driver utilizado en el motor a pasos, proporcionan la corriente necesaria que los motores demandan.
- El HC11 es la interfaz entre los dispositivos eléctricos y el usuario en la PC, únicamente para controlar la velocidad y el sentido de giro de los motores.
- El desplazador de nivel es el circuito que permite la adecuación de señales TTL a RS232 requeridas en el intercambio electrónico de información entre el microcontrolador y la PC.

### 2.6.1. Driver motor DC

El circuito utilizado para el control de velocidad y sentido en el motor de DC se muestra en la figura 2.19. Su funcionamiento se sustenta en el uso de amplificadores operacionales utilizados como comparadores, y un arreglo de transistores conectados en forma “complementaria”, Q2 y Q3, y un mando de deshabilitación, Q1 y Q4.

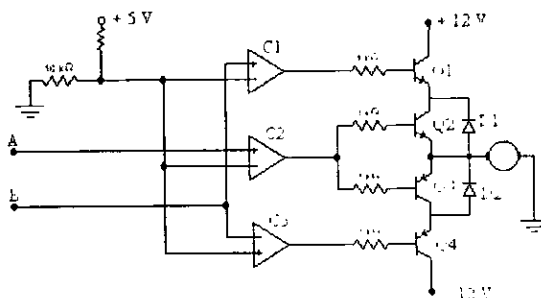


Figura 2.19. Driver para el motor de DC.

El control del sentido de giro del motor se explica a continuación: La función del comparador C2 (comparador no inversor) es la de intercambiar el nivel de voltaje en su salida, entre un voltaje positivo y un voltaje negativo. Esta acción nos permite modificar la dirección de la corriente que circula hacia el motor de DC ya sea a través del transistor Q2 o del transistor Q3.

Cuando la diferencia de potencial entre las terminales inversora y no-inversora del comparado C2 es cero (esto sucede cuando en la terminal

A de la figura 2.19 existe un voltaje cero), el voltaje que se presenta en la salida de C2 es positivo y esto hace que la corriente circule a través del transistor Q2, así como se muestra en la figura 2.20. Cuando esto sucede, el transistor Q3 se encuentra en corte (no conduce) y el motor gira en un sentido.

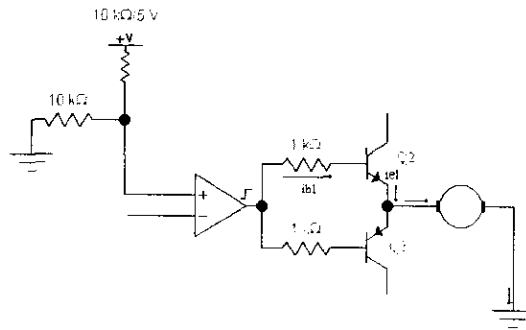


Figura 2.20. Comparador entregando un voltaje positivo.

Cuando la diferencia de potencial entre las terminales del amplificador operacional C2 es diferente de cero (esto ocurre cuando en la terminal inversora del amplificador existe un voltaje positivo), el comparador entrega un voltaje negativo y ahora la corriente circula a través del transistor Q3, como se puede ver en la figura 2.21. En este caso el transistor Q2 se encuentra en la región de corte y el motor gira en sentido contrario al caso expuesto anteriormente.

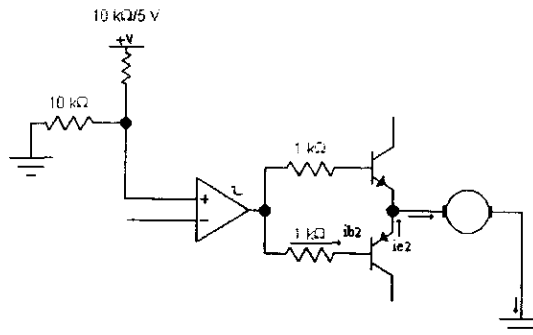


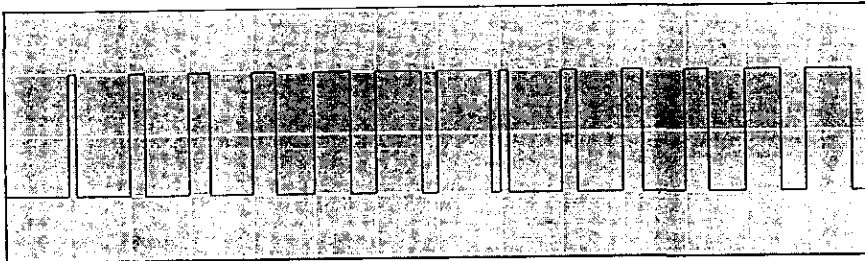
Figura 2.21. Comparador entregando un voltaje negativo.

La función de los transistores Q1 y Q4 de la figura 2.19 es únicamente de control, ya que al aplicar un voltaje positivo en la terminal B de la misma figura, tanto el transistor Q1 como el transistor Q4 conducen, pero si en la terminal B se aplica un voltaje cero los transistores Q1 y Q4 no conducen y el motor se encuentra sin energizar.

El control de la velocidad del motor de DC se explica a continuación: Para controlar la velocidad de un motor de corriente directa de forma digital es necesario utilizar un dispositivo que nos sirva como demodulador, conmutador y que proporcione además la corriente necesaria que el motor requiere. Este dispositivo es el arreglo de transistores mostrado en las figuras 2.20 y 2.21.

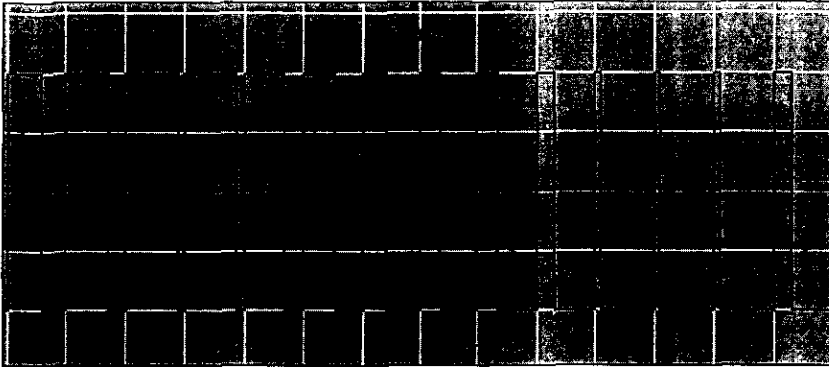
### **PWM (Pulse Width Modulation) Modulación por ancho de pulso**

Esta técnica consiste en generar una señal cuadrada de período constante, pero de ciclo de trabajo variable. En la figura 2.22 se muestra esta modulación.



**Figura 2.22.** Modulación por ancho de pulso.

Ahora bien, la demodulación significa literalmente la recuperación de una señal analógica a partir de una señal de pulsos, al demodular la señal recibida obtenemos una grafica como la que se muestra en la figura 2.23. En donde se muestra el voltaje como PWM y la señal de la corriente como una senoide.



**Figura 2.23.** Señal de voltaje demodulada en corriente.

Al hacer la demodulación del PWM obtenemos una señal analógica que es la corriente. La magnitud de la corriente proporciona el movimiento del motor; cuando la señal analógica de la corriente es positiva el motor gira en un sentido y cuando la señal es negativa gira en sentido contrario, esto es debido al arreglo de transistores mostrado en las figuras 2.20 y 2.21.

En el arreglo de la figura 2.19 se utilizan dispositivos de protección, que son los diodos D1 y D2. El propósito de estos diodos es proteger a los transistores que se encuentran conmutando, que en este caso son el transistor Q2 y el transistor Q3.

Ya que la conmutación de estos dispositivos es muy rápida es necesario proteger a los transistores por que pueden destruirse debido al cambio tan repentino entre el cierre y la apertura de dichos transistores [7].

### **2.6.2. Driver motor a pasos**

La forma de controlar el sentido de un motor de pasos es variando la corriente que circula a través de sus bobinas. La figura 2.24 muestra el circuito empleado para esta función, el circuito también cuenta con un sistema que permite mantener sin energizar a las bobinas del motor cuando así se requiera. Este sistema es similar al que se emplea en el control del motor de DC.



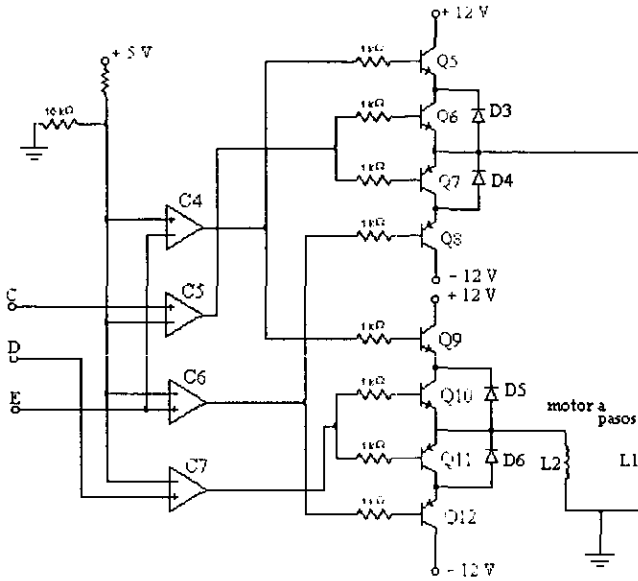


Figura 2.24. Driver para motor a pasos.

La función de los comparadores C4y C6 es de control; cuando en la terminal E existe un voltaje cero, los transistores Q5 y Q8 se encuentran en corte y no conducen corriente hacia la bobina L1, en ese mismo caso, los transistores Q9 y Q12 se encuentran en corte y la bobina L2 no esta energizada.

Ahora bien, cuando en la terminal E existe un voltaje positivo, las bobinas L1 y L2 están energizadas y pueden recibir corriente para mover el motor. La secuencia que se sigue para proporcionarle movimiento en un sentido al motor se muestra en la tabla 2.4.

Terminal C	Terminal D
Voltaje positivo ( 1 lógico)	Voltaje positivo ( 1 lógico)
Voltaje cero ( 0 lógico)	Voltaje positivo ( 1 lógico)
Voltaje positivo ( 0 lógico)	Voltaje positivo ( 0 lógico)
Voltaje positivo ( 1 lógico)	Voltaje positivo ( 0 lógico)

Tabla 2.4. Secuencia de control.

Para proporcionar al motor movimiento en sentido contrario al anterior se sigue la secuencia en forma inversa, como se puede observar en la tabla 2.5.

Terminal C	Terminal D
Voltaje positivo ( 1 lógico)	Voltaje positivo ( 0 lógico)
Voltaje cero ( 0 lógico)	Voltaje positivo ( 0 lógico)
Voltaje positivo ( 0 lógico)	Voltaje positivo ( 1 lógico)
Voltaje positivo ( 1 lógico)	Voltaje positivo ( 1 lógico)

Tabla 2.5. Secuencia de control (inversa).

### 2.6.3. Resistencias Pull-up

Las resistencias se conectan de Vcc (5 V) a las terminales del puerto encargado de recibir las señales, como se muestran en la figura 2.25 (en este caso las terminales del puerto se representan por las letras F, G, H e I). Estas resistencias permiten el intercambio entre niveles lógicos utilizados.

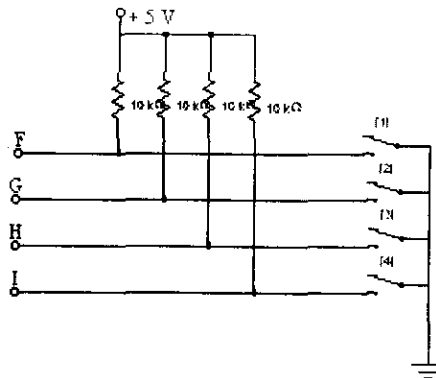


Figura 2.25. Resistencias Pull-Up.

Si un interruptor se encuentra cerrado, la corriente circula a través de la resistencia correspondiente, pasa por el interruptor cerrado y circula hacia tierra. De esta forma, se genera un “cero” lógico. Si por el contrario, el interruptor se encuentra abierto, la corriente circula a través de la resistencia en cuestión y llega a la terminal correspondiente. De esta forma se genera un “uno” lógico. Esto se puede apreciar en la figura 2.26. De esta forma los datos arriban al puerto del microprocesador y, mediante encuesta del puerto, se puede conocer, cuando y cual interruptor ha sido cerrado.

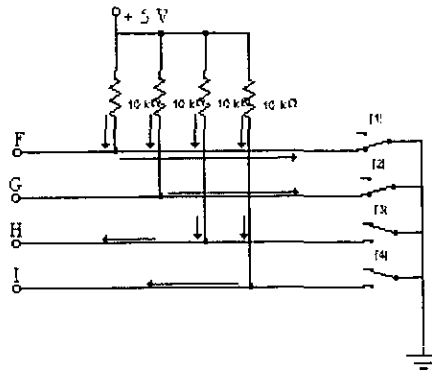


Figura 2.26. Corrientes circulando en interruptores abiertos y cerrados.

### 2.6.4. Desplazador de nivel

El circuito encargado de la transmisión y recepción de datos es el MAX 232. Este circuito adecua las señales TTL al formato RS232 que envía y recibe el microprocesador de la PC. En la figura 2.27 se muestra el MAX 232 conectado con una PC en su terminal serie.[5].

Este circuito permite prescindir de fuentes de  $\pm 12\text{Vcd}$ , requeridas por el formato RS232, ya que internamente genera tales niveles de voltaje a partir de una polarización sencilla de  $5\text{Vcd}$ .

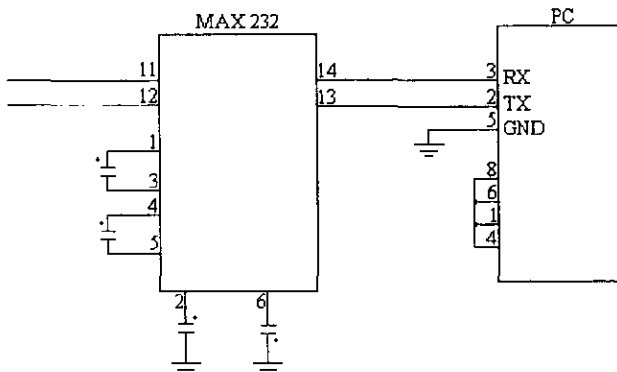


Figura 2.27. Circuito MAX 232.

### 2.6.5. Programa en ensamblador MC68HC811E2

El programa que controla el movimiento de los motores y recibe información sobre que interruptor se ha cerrado, se muestra en un diagrama de flujo en la figura 2.28.

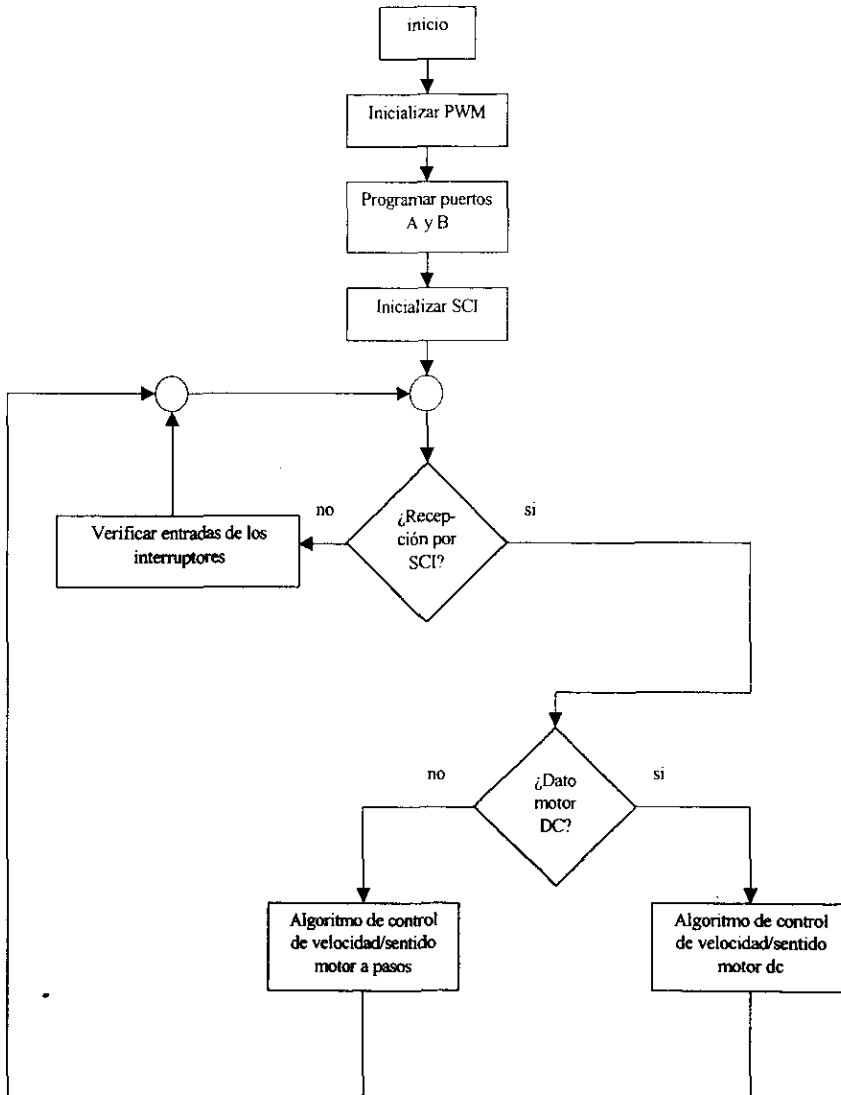


Figura 2.28. Diagrama de flujo del programa del MC68HC811E2.

Al inicio del programa se definen las variables que son utilizadas a lo largo del programa, después se configuran los registros que van a ser utilizados para generar el PWM. A continuación, se designan los puertos que son utilizados y en cada puerto se define cual o cuales de sus pines funcionan como entradas de datos y cuales funcionan como salidas. Posteriormente, en los registros encargados de la comunicación serie, se definen los parámetros de comunicación; en este caso la transmisión es a 1200 bps, 8 bits de datos, sin paridad, 1 bit de paro y 1 bit de inicio. El programa principal espera hasta que un dato es recibido por la interfaz de comunicación serie (SCI). Cuando esto sucede, hay que verificar si el dato enviado es un comando de control para el motor de DC o para el motor de pasos. Si el comando es para el motor a pasos, se le envía la secuencia de datos anteriormente explicada; si el comando recibido es para el motor de DC, se inicia el algoritmo de control que consiste en la generación del PWM. En caso de no recibir datos por el SCI, se verifica el estado de los interruptores y espera para repetir el ciclo.

# CAPITULO 3

## INTERFAZ DE PROGRAMACIÓN

A continuación proporcionamos una guía para el usuario del programa "MCREG Aplicación de metrología, MCREG.EXE", describiendo sus principales funciones. Posteriormente se realiza una breve descripción a nivel de programador y finalmente se enumeran los pasos básicos para realizar una calibración usando MCREG.

### 3.1. MCREG interfaz de calibración

#### 3.1.1. Información general

Finalmente el medio con el cual el usuario interactúa para hacer una calibración de una regla o escala graduada es el programa MCREG de las figuras 3.1. y 3.2. Esta diseñado bajo un entorno amigable para cualquier usuario relacionado con la metrología dimensional.

El programa MCREG desempeña las siguientes funciones principalmente:

- Captura de lecturas de posición.

- Guardar lecturas como archivo de calibración.
- Graficar errores correspondientes a lecturas.
- Impresión de los archivos de calibración.
- Transmisión de datos por el puerto serie para el control automático de la posición.
- Establecer el inicio de una aplicación de visión para el análisis ocular de las mediciones.

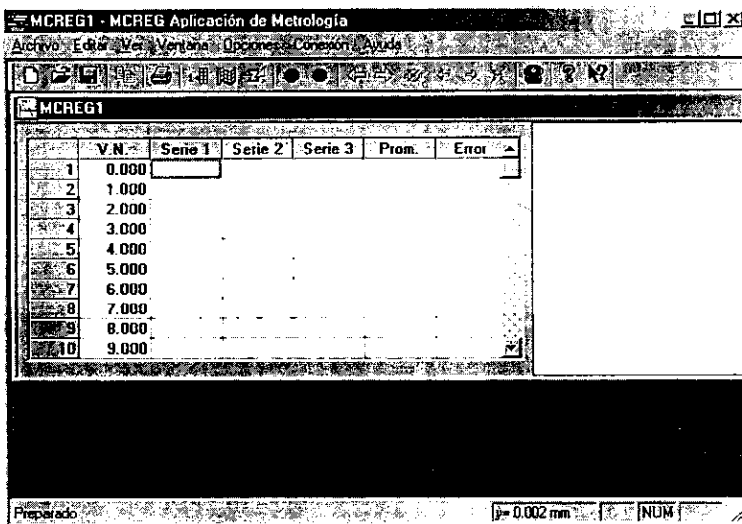


Figura 3.1. Programa MCREG.



Figura 3.2. Icono MCREG.

### 3.1.2. Descripción del programa

MCREG cuenta con menús de:

**Archivo** Manejo de archivos. El icono con el cual se representan los documentos se muestra en la figura 3.3.



Mcreg1

Figura 3.3. Icono de documentos de MCREG.

- Editar** Opciones del portapapeles.
- Ver** Barra de herramientas y de estado.
- Ventana** Administración de ventanas.
- Opciones** Manejo de datos.
- Conexión** Permite configurar el puerto serie.
- Ayuda** Opciones de ayuda.

El programa MCREG cuenta con un área para incluir múltiples archivos de calibración en donde tenemos la historia de los datos y la gráfica de estos, figura 3.4 [1].

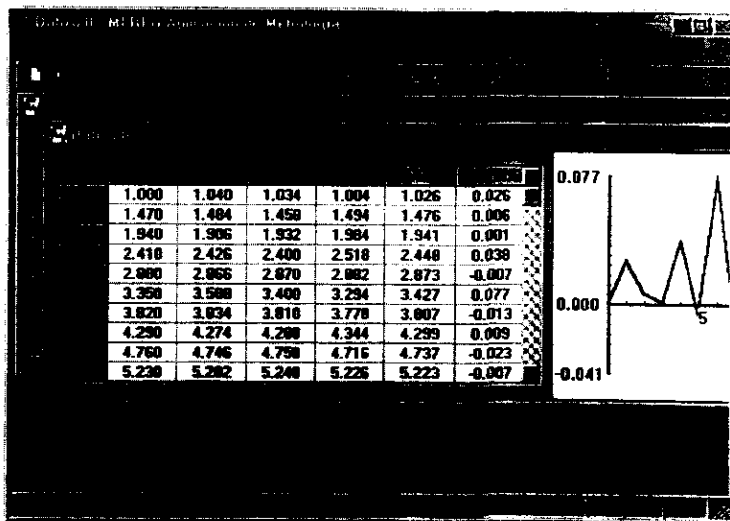


Figura 3.4. MCREG con múltiples archivos de calibración.



### 3.1.3. Barra de herramientas

Esta barra de herramienta se encuentra debajo del menú principal y permite el acceso a las funciones más importantes del sistema.

La barra puede ser desplazada a cualquier lugar dentro de la ventana del programa. Ésta se muestra en la figura 3.5.



Figura 3.5. Barra de herramientas.

#### Funciones de la barra de herramientas:

<b>Nuevo</b>	Crea un nuevo archivo de calibración.
<b>Abrir</b>	Abre un archivo existente.
<b>Guardar</b>	Guarda el archivo de calibración activo.
<b>Copiar</b>	Copia la selección de la rejilla al portapapeles.
<b>Imprimir</b>	Imprime el archivo de calibración activo.
<b>Capturar Lectura</b>	Captura la lectura que se muestra en la barra de estado en ese momento en la celda correspondiente.
<b>Poner a ceros</b>	Lleva a ceros el indicador de lectura del codificador en la barra de estado.
<b>Graficar</b>	Grafica el error de las lecturas.
<b>Iniciar transmisión</b>	Inicia la transmisión serie con el microcontrolador.
<b>Detener transmisión</b>	Finaliza la transmisión serie.
<b>Movimiento burdo izq.</b>	Controla el movimiento del motor de DC hacia la izquierda.
<b>Movimiento burdo der.</b>	Controla el movimiento del motor de DC hacia la derecha.
<b>Frenado del motor DC</b>	Envía el comando para frenar el motor de DC, siempre y cuando exista transmisión.
<b>Movimiento fino izq.</b>	Controla el movimiento del motor de pasos hacia la izquierda.
<b>Movimiento fino der.</b>	Controla el movimiento del motor de pasos hacia la derecha.

<b>Desenergizar motor a pasos</b>	Envía el comando para dejar sin energía al motor a pasos, siempre y cuando exista transmisión.
<b>Activar cámara</b>	Ejecuta el programa de captura de video.
<b>Acerca de</b>	Muestra una caja de diálogo con información de MCREG.
<b>Ayuda</b>	Sistema de ayuda.

### 3.1.4. Barra de estado

En la parte más baja de la ventana de MCREG, encontramos esta barra que cuenta con un indicador en la primer casilla en donde se muestran las posiciones del codificador patrón en tiempo real, figura 3.6.



Figura 3.6. Barra de estado.

### 3.1.5. Menú Archivo

El menú Archivo, figura 3.7, cuenta con las opciones normales de archivos, como son:

<b>Nuevo</b>	Crea un documento nuevo.
<b>Abrir...</b>	Abre un documento existente.
<b>Cerrar</b>	Cierra el documento activo.
<b>Guardar</b>	Guarda el documento activo.
<b>Guardar como...</b>	Guarda el documento activo con un nombre nuevo.
<b>Imprimir...</b>	Imprime el documento activo.
<b>Presentación preliminar</b>	Muestra páginas completas.
<b>Configurar impresora...</b>	Cambia las opciones de impresora y de impresión.
<b>Archivos recientes</b>	Área para la presentación de los archivos recientemente abiertos.
<b>Salir</b>	Sale de la aplicación.

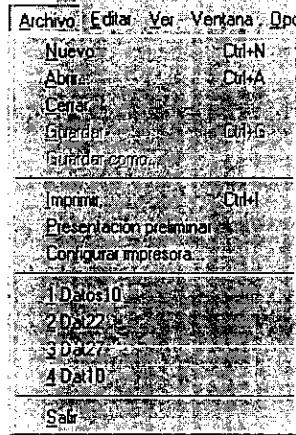


Figura 3.7. Menú Archivo.

### 3.1.6. Menú Editar

La única opción que existe en este menú es la de copiar, y consiste en seleccionar una parte o toda la rejilla y llevar estos datos al portapapeles, para después pegarlos en otra aplicación. El menú se muestra en la figura 3.8.



Figura 3.8. Menú Editar.

### 3.1.7. Menú Ver

El menú ver, mostrado en la figura 3.9, tiene la característica de mostrar o esconder tanto a la barra de herramientas como a la barra de estado.

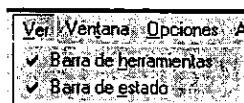


Figura 3.9. Menú Ver.

### 3.1.8. Menú Ventana

El menú Ventana de la figura 3.10 ayuda a visualizar documentos en el escritorio con las siguientes funciones:

<b>Nueva Ventana</b>	Abre otra ventana para el documento activo.
<b>Cascada</b>	Organiza las ventanas en modo de cascada.
<b>Mosaico</b>	Organiza las ventanas como mosaicos que no se superponen.
<b>Organizar iconos</b>	Organiza los iconos en la parte inferior de la ventana.
<b>Documentos</b>	Área que lista los documentos activos y realiza el documento activo.

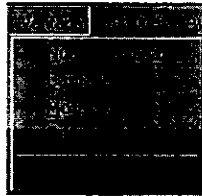


Figura 3.10. Menú Ventana.

### 3.1.9. Menú Opciones

Es el menú más importante en el programa, ya que en el se encuentran las funciones que interactúan con la tarjeta PC7266 y nos permiten realizar la calibración. El menú se muestra en la figura 3.11.

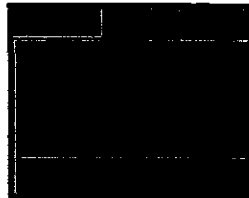


Figura 3.11. Menú Opciones.

El menú cuenta con las siguientes funciones:

- Poner a cero** Carga con ceros el contador de la tarjeta y se muestra en la barra de estado.
- Precargar valor** Carga un valor dado al contador de la tarjeta y se muestra en la barra de estado. Despliega la caja de diálogo “Precargar valor” de la figura 3.12.

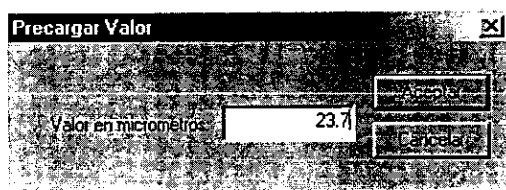


Figura 3.12. Caja de diálogo “Precargar valor”.

- Cambiar signo** El sentido con el que aumenta o disminuye la lectura en la barra de estado se invierte.
- Capturar lectura** El valor mostrado en la barra de estado es capturado en la celda seleccionada.
- Cálculos y gráfica** Realiza los siguientes cálculos a partir de los datos en la rejilla: valor promedio de las series 1 a 3 y valor de error entre el promedio y el valor nominal V.N. Al terminar de realizar los cálculos, se presenta la gráfica de error contra valor nominal.

### 3.1.10. Menú Conexión

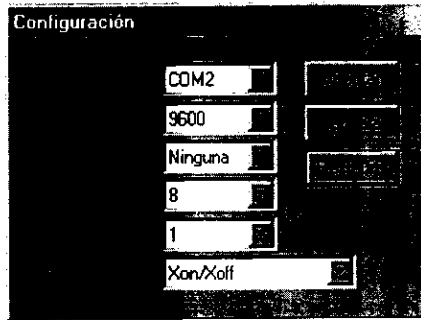
Es el menú que permite configurar las opciones de la transmisión serie con el microcontrolador MC68HC11 y se muestra en la figura 3.13.



Figura 3.13. Menú Conexión.

A continuación se muestran las funciones del menú.

**Establecer Configuración** Establece la comunicación del puerto serie. Permite modificar los parámetros de la conexión, como se muestra en la figura 3.14.



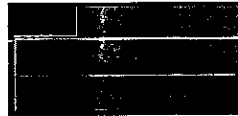
**Figura 3.14.** Caja de diálogo para configurar parámetros de transmisión.

**Cortar** Finaliza la transmisión de datos por el puerto serie.

### 3.1.11. Menú Ayuda

El menú se muestra en la figura 3.15. Proporciona información necesaria para conocer el programa y la forma de hacer las calibraciones, cuenta con:

**Temas de ayuda** Despliega el sistema de ayuda del programa MCREG.  
**Acerca de** Muestra una caja de diálogo con información de MCREG.



**Figura 3.15.** Menú Ayuda.

## 3.2. Programación Visual C++ de la interfaz MCREG

MCREG es la interfaz para hacer calibraciones de reglas o escalas graduadas. El desarrollo de este programa es 100% en el lenguaje de programación Visual C++ versión 6.

Visual C++ es un lenguaje que permite la programación orientada a objetos (OPP, *Oriented Object Programming*), esto nos permite hacer una aplicación muy atractiva y de fácil manejo para el usuario.

La tarjeta de adquisición de datos, PC7266, maneja a sus contadores por medio de un programa que se desarrollo como una librería dinámica (DLL *Dinamic Link Library*) y es la 32pc7266.dll escrita en Visual Basic versión 5. Para poder tener acceso a esta librería es necesario programar en Visual Basic versión 5 o posterior, o en Visual C++ versión 4 o posterior.

La infraestructura desarrollada a la fecha en el Laboratorio de Metrología del CI UNAM esta escrita en Visual C++ versión 1.51, por tal motivo tomamos la decisión de desarrollar la aplicación usando la ultima versión del Visual C++ (versión 6) la cual cuenta con la característica de producir aplicaciones para 32 bits (Windows 9X y posteriores).

A continuación se presenta la descripción de la aplicación MCREG a grandes rasgos.

### 3.2.1. Descripción general del programa

En Visual C++ versión 6 se presenta la tecnología de compilación más avanzada para 32 bits para desarrollar aplicaciones más rápidas y de menor tamaño. También cuenta con MFC&T que combina la biblioteca MFC (*Microsoft Foundation Class*) con la biblioteca ATL (*Active\_Template Library*). De esta forma el desarrollo de aplicaciones se hace más fácil.

Algunas de las herramientas que proporciona MFC&T y que ocupamos en nuestro programa son:

- Interfaz de múltiples documentos.

- Objetos como ventanas, cajas de diálogos, barras de desplazamiento, botones de pulsación, objetos GDI (*Graphic Device Interface*).
- Manejo de controles ActiveX, que son bibliotecas dinámicas para 32 bits.
- Sistema de ayuda.
- Uso de temporizadores.
- Impresión y presentación preliminar.
- Conversión y manejo de cadenas de caracteres y arrays.[6]
- Intercambio de datos con otras aplicaciones.
- Creación y utilización de bibliotecas dinámicas
- Transmisión de datos por el puerto serie.[2]

Para terminar de desarrollar la aplicación fue necesario escribir los archivos siguientes.

#### **Archivos cpp.**

MCREGDoc.cpp	Contiene la implementación de las clases CMCREGDoc para crear un documento nuevo y permite guardar archivos de calibración y CREnglon para el manejo de datos de la rejilla.
MCREGView.cpp	Contiene la implementación de las clases CMCREGView para visualizar el documento(con la rejilla y gráfica), abrir archivos de calibración, cargar la librería dinámica necesaria, impresión y presentación preliminar y CPrecargaValor para el manejo de la caja de diálogo "Precargar Valor".
msflexrg1.cpp	Contiene la implementación de la clase CMSFlexGrid para el manejo de cambios en la rejilla.
MCREG.cpp	Contiene la implementación de las clases CAboutDlg para la caja de dialogo de Acerca de y CMCREGApp para la aplicación principal.



ChildFrm.cpp	Contiene la implementación de la clase CChildFrame para el manejo de ventanas divisibles.
MainFrm.cpp	Contiene la implementación de las funciones del marco de aplicación (barra de estado y barra de herramientas) en la clase CMainFrame.
Stdafx.cpp	Ayuda a construir un archivo de cabecera y un archivo precompilado.
ParamCom.cpp	Contiene la implementación de la clase CParamCom para el manejo de la transmisión serie.

### Archivos h.

MCREGDoc.h	Contiene la declaración de las clases CMCREGDoc y CREnglon.
MCREGView.h	Contiene la declaración de las clases CMCREGView y CPrecargaValor.
msflexgrid.h	Contiene la declaración de la clase CMSFlexGrid.
MCREG.h	Contiene la declaración de las clases CAboutDlg y CMCREGApp.
ChildFrm.cpp	Contiene la declaración de la clase CChildFrame.
MainFrm.cpp	Contiene la declaración de la clase CMainFrame.
Stdafx.h	Contiene declaraciones para la precompilación.
ParamCom.h	Contiene la declaración de la clase CparamCom.

### Iconos.

icon1.ico	Icono relacionado con la aplicación.
icon2.ico	Icono relacionado con el documento.

### Otros.

MCREG.rc	Archivo de recursos.
MCREG.dws	Archivo para cargar el proyecto.
MCREG.dsp	Archivo para obtener el archivo ejecutable.
MCREG.clw	Contiene información necesaria para editar y añadir clases, así como para generar funciones prototipo miembro de las clases.
Toolbar.bmp	Barra de herramientas.

### Archivos bmp.

Para desarrollar el sistema de ayuda en Visual C++ versión 6 son necesarios los siguientes archivo:

Archivonuevo.bmp	Mapa de bits de la opción Nuevo de la barra de herramientas.
------------------	--

Docnuevo.bmp	Mapa de bits con la caja de diálogo “Valor de las mediciones en [mm]” para especificar mediciones de un nuevo documento.
Archivoabrir.bmp	Mapa de bits de la opción Abrir de la barra de herramientas.
Menu.bmp	Mapa de bits del menú que se localiza esquina superior izquierda de la aplicación.
Archivoguardar.bmp	Mapa de bits de la opción Guardar de la barra de herramientas.
Salir.bmp	Mapa de bits de la orden Salir en la esquina superior izquierda de la aplicación.
Copiar.bmp	Mapa de bits de la opción Copiar de la barra de herramientas.
Barrah.bmp	Mapa de bits de una parte de la barra de herramientas.
Archivoimp.bmp	Mapa de bits de la opción Imprimir de la barra de herramientas.
Botoncapturar.bmp	Mapa de bits de la opción Capturar lectura de la barra de herramientas.
Botoncero.bmp	Mapa de bits de la opción Lectura a cero de la barra de herramientas.
Botoncalcygraf.bmp	Mapa de bits de la opción Graficar de la barra de herramientas.
Barraestado.bmp	Mapa de bits de la barra de estado de la aplicación.
Ayudaflech.bmp	Mapa de bits de la opción Ayuda de la barra de herramientas.
Barratitulos.bmp	Mapa de bits de la barra en donde se muestran los títulos de los archivos de calibración.
Puntonegro.bmp	Mapa de bits de un punto negro para simular viñetas.
Minimizar.bmp	Mapa de bits de la orden minimizar que aparece en la esquina superior derecha de la aplicación.
Maximizar.bmp	Mapa de bits de la orden maximizar que aparece en la esquina superior derecha de la aplicación.
Ciunam.bmp	Mapa de bits del logotipo del Centro de Instrumentos.
Precarga.bmp	Mapa de bits con la caja de diálogo “Precargar valor” a la tarjeta.
Lectura.bmp	Mapa de bits que muestra la rejilla de la aplicación.
Grafica.bmp	Mapa de bits que muestra una gráfica de un archivo de calibración.

Mcreg.bmp	Mapa de bits de la máquina con el programa ejecutándose.
Impresión.bmp	Mapa de bits de cómo se ve un archivo de calibración impreso.
<b>Archivos rtf.</b>	
AfxCore.rtf	Archivo de ayuda para MCREG.
AfxPrint.rtf	Archivo de ayuda para impresión en MCREG.
<b>Otro</b>	
mcreg.hpj	Archivo proyecto de ayuda.

### 3.2.2. Descripción de las clases

A continuación se hace una breve descripción de las clases ocupadas, estas clases constituyen la construcción y el desarrollo de la aplicación ejecutable. Las clases utilizadas se muestran en la figura 3.16.

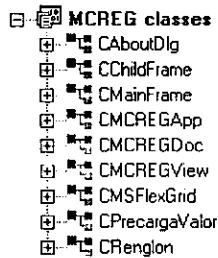


Figura 3.16. Clases utilizadas en la aplicación.

#### CChildFrame

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.17.

CChildFrame(); Constructor. No cuenta con código alguno.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Crea la ventana hija y sus características.

virtual ~CChildFrame(); Destructor. No cuenta con código alguno.

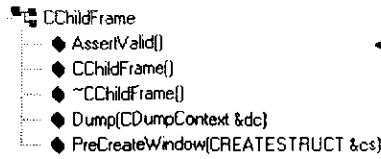


Figura 3.17. Clase CChildFrame.

**ESTA TESIS NO SALE DE LA BIBLIOTECA**

**CMainFrame**

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.18.

CMainFrame(); Constructor. No cuenta con código alguno.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); Crea a la ventana padre y algunas de sus características.

virtual ~CMainFrame(); Destructor. No cuenta con código alguno.

afx\_msg int OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct); Crea características de la ventana padre, como el tamaño de la ventana y los indicadores de la barra de estado, etc.

afx\_msg void OnUpdateMedicion(CCmdUI \*pCmdUI); Definición del temporizador para capturar las lecturas en la barra de estado.

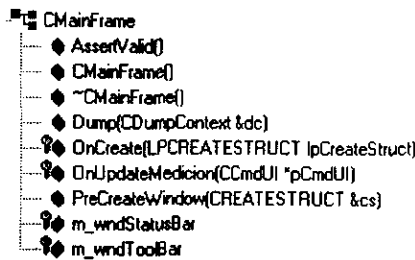


Figura 3.18. Clase CMainFrame.

**CMCREGApp**

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.19.

CMCREGApp(); Constructor. No cuenta con código alguno.

virtual BOOL InitInstance(); Carga archivos necesarios para iniciar la aplicación de formas diversas (arrastrar el archivo desde el explorador al programa ejecutado, hacer doble clic al archivo de calibración para ejecutar el programa).

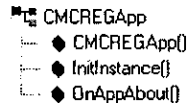


Figura 3.19. Clase CMCREGApp.

### CAboutDlg

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.20.

afx\_msg void OnAppAbout(); Muestra la caja de diálogo Acerca de MCREG.

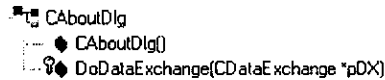


Figura 3.20. Clase CAboutDlg.

### CMCREGDoc

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.21.

CMCREGDoc(); Constructor. Carga valores iniciales para un nuevo documento.

virtual BOOL OnNewDocument(); Muestra la caja de diálogo para crear un nuevo documento con los valores indicados por el usuario.

virtual void Serialize(CArchive& ar); Guarda los datos de la rejilla en archivos de calibración.

virtual BOOL OnOpenDocument(LPCTSTR lpszPathName); Envía mensaje a la vista para abrir archivo.

virtual ~CMCREGDoc(); Destructor. No cuenta con código alguno.

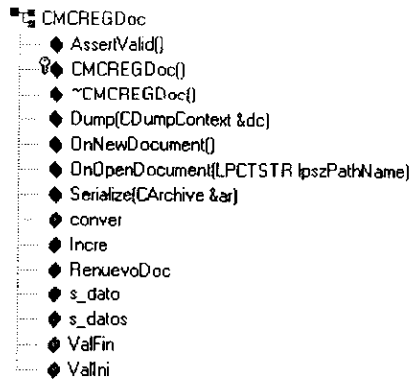


Figura 3.21. Clase CMCREGDoc.

### CRenglon

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.22.

CRenglon(CWnd\* pParent = NULL); Constructor estándar.  
 Asignación de valores a variables miembro.

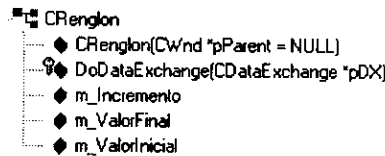


Figura 3.22. Clase CRenglon.

### CMCREGView

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.23.

CMCREGView(); Constructor. Inicia variables.

void DimensionesCeldas(); Establece el ancho y alto de las celdas en la rejilla.

void GuardarDatos(); Guarda los datos de la rejilla en una variable.

virtual BOOL PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs); No cuenta con código alguno.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange\* pDX); Definición de variable miembro para el manejo de las características en la rejilla.

virtual void OnInitialUpdate(); Llama a DimensionesCeldas() y carga la librería dinámica para interactuar con la tarjeta PC7266

virtual BOOL OnPreparePrinting(CPrintInfo\* pInfo); Establece el número de hojas con que cuenta el archivo.

virtual void OnBeginPrinting(CDC\* pDC, CPrintInfo\* pInfo); No cuenta con código alguno.

virtual void OnEndPrinting(CDC\* pDC, CPrintInfo\* pInfo); No cuenta con código alguno.

virtual void OnPrint(CDC\* pDC, CPrintInfo\* pInfo); Establece las formas de impresión y la impresión para cada página.

virtual void OnDraw(CDC\* pDC); Función que dibuja la gráfica en el programa y en la presentación preliminar.

afx\_msg void OnCero(); Pone el contador de la tarjeta en ceros.

afx\_msg void OnCambiarSigno(); Se invierte el sentido de la medición.

afx\_msg void OnPrecargarVal(); Muestra la caja de diálogo de precargar valor y carga el valor dado por el usuario a la tarjeta PC7266.

afx\_msg void OnCapturar(); Toma el valor que se encuentra en ese momento en la barra de estado y lo captura en la celda seleccionada.

afx\_msg void OnTimer(UINT nIDEvent); Definición del temporizador para actualizar la lectura de la barra de estado.

afx\_msg void OnCalculos(); Hace cálculos con las mediciones tomadas.

afx\_msg void OnUpdateCalculos(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción Cálculos y Gráfica.

afx\_msg void OnEditCopy(); Copia al portapapeles los datos de la rejilla seleccionados.

`afx_msg void OnUpdateEditCopy(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Copiar.

`afx_msg void AbrirDocumento();` Se encarga de verificar el archivo y abrirlo.

`afx_msg void PrintCabecera(CDC* pDC, CPrintInfo * pInfo, CString sHdr);` Imprime el nombre y la primer página del archivo.

`afx_msg void OnUpdateFileSave(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Guardar.

`afx_msg void OnUpdateFileSaveAs(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Guardar como.

`afx_msg void PrintPag2(CDC* pDC, CPrintInfo * pInfo);` En caso de existir imprime la segunda página del archivo.

`afx_msg void PrintPag3(CDC* pDC, CPrintInfo * pInfo);` En caso de existir imprime la tercer página del archivo.

`afx_msg void PrintPag4(CDC* pDC, CPrintInfo * pInfo);` En caso de existir imprime la cuarta página del archivo.

`afx_msg void OnUpdateCapturar(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Capturar Lectura.

`afx_msg void OnUpdateCambiarSigno(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Cambiar Signo.

`afx_msg void OnUpdateCero(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Poner a Cero.

`afx_msg void OnUpdatePrecargarVal(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción Precargar Valor.

`afx_msg void OnCamara();` Ejecuta el programa video.exe.

`afx_msg void OnUpdateCamara(CCmdUI* pCmdUI);` Habilita o deshabilita la opción activa cámara

`afx_msg void OnCerrar();` Finaliza la transmisión serie.

`afx_msg void OnConfigParam();` Permite configurar los parámetros de la transmisión serie.



afx\_msg void OnUpdateConfigParam(CCmdUI\* pCmdUI);  
Habilita o deshabilita la opción configurar parámetros.

afx\_msg void OnConexionEstablecer(); Establece la conexión serie.

afx\_msg void OnUpdateConexionEstablecer(CCmdUI\* pCmdUI);  
Habilita o deshabilita la opción Establecer

afx\_msg void OnConexionCortar(); Permite finalizar la transmisión serie.

afx\_msg void OnUpdateConexionCortar(CCmdUI\* pCmdUI);  
Habilita o deshabilita la opción cortar.

afx\_msg void OnMbi(); Proporciona el movimiento del motor de DC a la izquierda.

afx\_msg void OnMbd(); Proporciona el movimiento del motor de DC a la izquierda.

afx\_msg void OnMfd(); Proporciona el movimiento del motor a pasos a la derecha.

afx\_msg void OnMfi(); Proporciona el movimiento del motor a pasos a la izquierda.

afx\_msg void OnUpdateMbi(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción MBI.

afx\_msg void OnUpdateMbd(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción MBD.

afx\_msg void OnUpdateMfd(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción MFD.

afx\_msg void OnUpdateMfi(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción MFI.

afx\_msg void OnDmd(); Envía el comando al motor de directa para frenarlo.

afx\_msg void OnUpdateDmd(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción DMD, de la barra de herramientas.

afx\_msg void OnDmp(); Envía el comando al motor a pasos para dejarlo sin energía.

afx\_msg void OnUpdateDmp(CCmdUI\* pCmdUI); Habilita o deshabilita la opción DMP, de la barra de herramientas.

virtual ~CMCREGView(); Destructor Descarga la librería y detiene los mensajes del timer.

```

E CMCREGView
  AbrirDocumento()
  AssertValid()
  CMCREGView()
  ~CMCREGView()
  ConfigurarDirCom()
  CortarConexion()
  DimensionesCeldas()
  DoDataExchange(CDataExchange *pDX)
  Dump(CDumpContext &dc)
  EscribirCarPuesto(BYTE *pByteaEscriba, DWORD dwBytes)
  EstablecerConexion()
  GetDocument()
  GuardarDatos()
  Iniciar()
  LeerCaracteresPuesto(BYTE *pBytesLeidos, int iBloqueMax)
  MensajeDeError(DWORD rError)
  OnBeginPrinting(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  OnCalculos()
  OnCamera()
  OnCambiarSigno()
  OnCapturar()
  OnCero()
  OnCerrar()
  OnConexionCortar()
  OnConexionEstablecer()
  OnConfigParam()
  OnCmd()
  OnDmp()
  OnDraw(CDC *pDC)
  OnEdtCopy()
  OnEndPrinting(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  OnEventoCon(UINT wParam, long lParam)
  OnInitialUpdate()
  OnMbd()
  OnMbt()
  OnMid()
  OnMI()
  OnPrecargaVal()
  OnPreparePrinting(CPrintInfo *pInfo)
  OnPrint(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  OnTimer(UINT nIDEvent)
  OnUpdateCalculos(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateCamera(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateCambiarSigno(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateCapturar(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateCero(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateConexionCortar(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateConexionEstablecer(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateConfigParam(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateCmd(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateDmp(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateEdtCopy(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateFileSave(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateFileSaveAs(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateMbd(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateMbt(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateMid(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdateMI(CCmdUI *pCmdUI)
  OnUpdatePrecargaVal(CCmdUI *pCmdUI)
  OnVisualizarCar(CBYTE *, int)
  PreCreateWindow(CREATESTRUCT &cs)
  PrintCabecera(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo, CString sHdr)
  PrintPag2(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  PrintPag3(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  PrintPag4(CDC *pDC, CPrintInfo *pInfo)
  Terminar()

```

Figura 3.23. Clase CMCREGView.

### CPrecargaValor

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.24.

CPrecargaValor(CWnd\* pParent = NULL); Constructor estándar, asignación de valores a variables miembro.

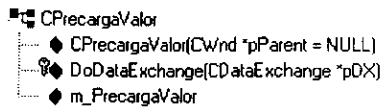


Figura 3.24. Clase CPrecargaValor.

### CParamCom

El contenido de la clase se muestra en la figura 3.25.

CParamCom(CWnd\* pParent = NULL); Constructor estándar, asignación de valores a variables miembro.

virtual void DoDataExchange(CDataExchange\* pDX);

afx\_msg void OnPorOmission(); Proporciona los parámetros por omisión de la transmisión serie.

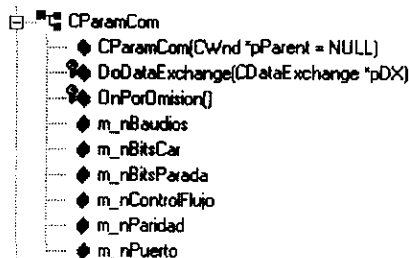


Figura 3.25. Clase CParamCom.

### CMSFlexGrid

La clase CMSFlexGrid es un objeto activeX y cuenta con múltiples funciones,. Aquí solamente se describen las que son utilizadas para esta aplicación y se ilustra solamente la clase en la figura 3.26.

`void SetRows(long nNewValue);` Propiedad de la rejilla para establecer el número de renglones.

`long GetRow();` Propiedad de la rejilla para determinar en que renglón se encuentra el foco.

`void SetRow(long nNewValue);` Propiedad de la rejilla para determinar la celda activa, según el renglón especificado.

`long GetCol();` Propiedad de la rejilla para determinar en que columna se encuentra el foco.

`void SetCol(long nNewValue);` Propiedad de la rejilla para determinar la celda activa, según la columna especificada.

`long GetRowSel();` Propiedad de la rejilla para determinar hasta que renglón se encuentra seleccionada la rejilla.

`long GetColSel();` Propiedad de la rejilla para determinar hasta que columna se encuentra seleccionada la rejilla.

`CString GetText();` Propiedad de la rejilla para extraer el texto de la celda previamente seleccionada.

`void SetText(LPCTSTR lpszNewValue);` Propiedad de la rejilla para escribir texto en la celda anteriormente seleccionada.

`void SetRedraw(BOOL bNewValue);` Propiedad de la rejilla para repintar o no la rejilla.

`CString GetClip();` Propiedad de la rejilla para copiar el contenido del rango de celdas seleccionadas a una variable especificada.

`void SetCellAlignment(short nNewValue);` Propiedad de la rejilla para centrar el texto de una celda seleccionada.

`void SetColWidth(long index, long nNewValue);` Propiedad de la rejilla para especificar el ancho de la columna seleccionada.

`void SetRowHeight(long index, long nNewValue);` Propiedad de la rejilla para especificar el alto del renglón seleccionado.

 CMSFlexGrid

**Figura 3.26.** Clase CMSFlexGrid.

### 3.3. Procedimiento típico para hacer una calibración

- Encender la PC.
- Energizar el sistema electrónico.
- Colocar la regla o escala graduada sobre la máquina en la superficie libre.
- En la PC ejecutar la aplicación MCREG.EXE indicando los valores de inicio, final y el incremento entre dichos valores. El número máximo de mediciones es cien.
- En la opción “Parámetros” del menú “Conexión”, establecer los valores de comunicación o utilizar los valores por omisión.(1200bps, 8 datos, sin paridad, 1 bit de inicio y de fin).
- Con ayuda de las flechas del teclado, (**así es como se mueven los motores**) y la inspección ocular, posicionar la guía del codificador hasta que coincida con el cero de la regla o escala graduada, para iniciar con las mediciones.
- Las mediciones pueden empezar en cualquier parte de la regla o escala, ya que por medio de la aplicación MCREG.EXE, se puede poner en cero a los contadores, y las mediciones hechas inician desde cero. También es posible precargar cualquier valor (múltiplo de 0.002 mm).
- En el programa existen dos formas de capturar las mediciones: una es presionar la tecla F5 y así la lectura será capturada en la celda que se encuentre seleccionada. Otra forma es con ayuda del mouse presionar el botón que se encuentra en la barra de herramientas que realiza la misma función de captura.
- Este proceso se repite tres veces, una para cada serie de lecturas.
- Al finalizar la captura de las mediciones, se habilita un botón en la barra de herramientas que grafica el error de las mediciones

hechas en comparación con el patrón, al hacer la gráfica se puede guardar el archivo.

- Al momento de finalizar la calibración se puede terminar con la transmisión de datos por el puerto serie, si así se desea, con la opción que se encuentra en la barra de herramientas o en el menú conexión.
- Se puede imprimir el archivo en uso o cualquier otro archivo de este tipo.
- Las modificaciones en una lectura son posibles al posicionarse sobre la celda errónea y simplemente se captura nuevamente el valor (como se explico anteriormente).

## CAPITULO 4

# RESULTADOS Y CONCLUSIONES

Actualmente existen resultados previos al realizar el proceso de calibración de reglas graduadas, utilizando un Sistema de Medición marca Hewlett Packard, modelo 5528A, basado en interferometría láser; en *substitución del transductor de posición*. Tales resultados, basados en nuestros procedimientos internos de calibración, han producido una incertidumbre estimada en  $\pm(1,0+10L) \mu\text{m}$ , en donde L es la longitud de la regla en m.

Tales resultados son similares a los que estimamos se pueden obtener en este trabajo, con la ventaja adicional de ofrecer sistemas más económicos, que ofrezcan capacidades similares a los medios actualmente disponibles. Estimamos que nuestro sistema puede ofrecer una incertidumbre de aproximadamente  $\pm(2,0+12L) \mu\text{m}$  (L en m), con la ventaja adicional de contar con desarrollos propios, económicos, y que no nos limiten para controlar de forma fina los procesos.

Debido a las constantes modificaciones en los diseños mecánicos, los resultados de nuestro trabajo, no son aplicables cien por ciento en el corto plazo. La máquina para la calibración de reglas y escalas graduadas esta en un proceso de diseño y puesta a punto que requiere un alto grado de exactitud y una colaboración multidisciplinaria.



En este sentido, nuestro trabajo colabora con la etapa electrónica y de programación para conformar un sistema ambicioso de medición.

Por lo tanto, los resultados reportados se basan en pruebas parciales pero fundamentadas que nos dan una idea de la viabilidad de nuestros diseños.

## 4.1. Resultados

El resultado de este proyecto se muestra en la figura 4.1.

El mecanismo se encuentra montado sobre una mesa rectificada y a un lado se encuentra ejecutándose en una PC el programa MCREG.



**Figura 4.1.** Máquina de calibración de reglas y escalas graduadas.

Es bien conocido que la evaluación de la máquina en conjunto (tanto hardware como software) se realiza mediante la calibración del instrumento.

Nuestra infraestructura actual nos permite calibrar la máquina mediante un sistema de medición láser con menor división mínima, mayor exactitud y trazabilidad vigente. Dicha tarea se realiza periódicamente y reporta los errores propios del sistema. Con tales resultados, podemos realimentar el software de forma que los errores del sistema sean descontados para obtener mediciones de mayor confiabilidad.

Las siguientes son las variables que influyen en la formación de incertidumbre:

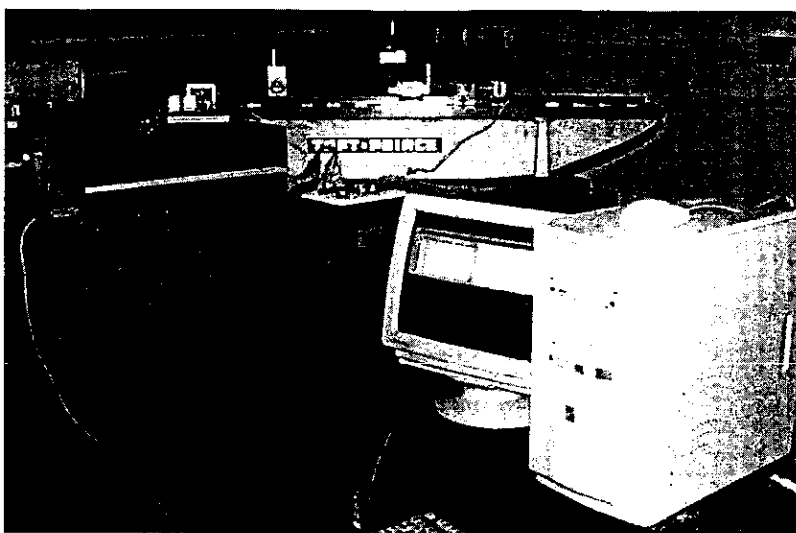
- Variaciones ambientales.
- Apreciaciones visuales al realizar mediciones por observación sin contacto.
- Error coseno.
- Error de Abbe.

De las cuales, el sistema puede compensar el error coseno y los errores producidos por las variaciones ambientales (al calibrar la máquina e introducir la compensación en el código fuente). Desafortunadamente, la calibración de la máquina sólo se puede evaluar al contar con el diseño mecánico final. No obstante, nuestros diseños electrónicos y de programación pueden ser evaluados independientemente de la máquina para la calibración de reglas sobre una base fundamentada que simula las condiciones casi reales de operación.

Los resultados parciales bajo un ambiente apropiado para la calibración (laboratorio de metrología) se muestran a continuación.

#### **4.1.1. Evaluación del posicionamiento fino**

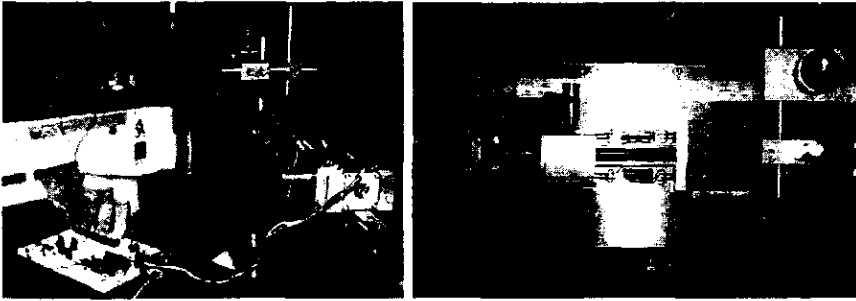
Para evaluar el desempeño de nuestro sistema electrónico y de programación en el posicionamiento fino, diseñamos el siguiente experimento mostrado en la figura 4.2.



**Figura 4.2.** Arreglo para el posicionamiento fino.

En la figura se puede observar la inercia mecánica que simula las condiciones reales de operación de la máquina: un motor a pasos montado sobre el carro 2 impulsa el carro 1 que soporta la carga mecánica real. La resolución del arreglo depende fuertemente de la resolución del paso mínimo en el motor y de la densidad de hilos en el tornillo micrométrico (aproximadamente  $5\mu\text{m}$  por paso). Lo importante del arreglo, es comprobar que la potencia del motor es la suficiente para desplazar controladamente la carga mecánica del carro 1. La figura 4.3 muestra los detalles del experimento. Se utiliza el programa MCREG para el posicionamiento fino.



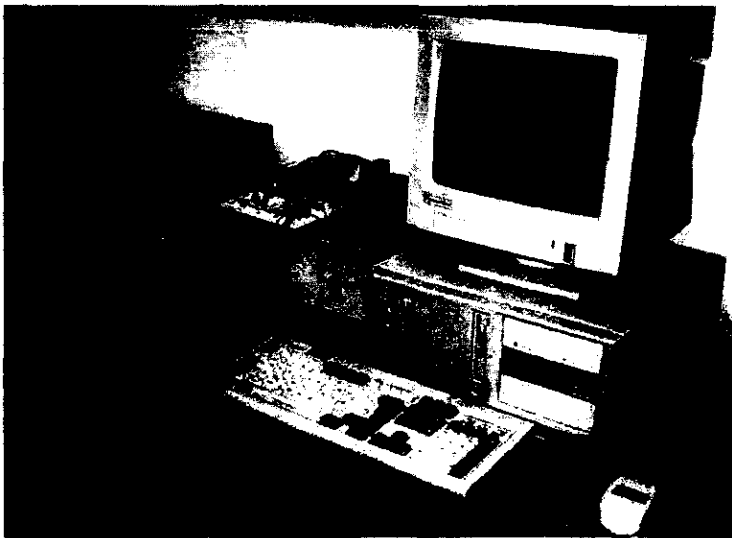


**Figura 4.3.** Detalles de la implementación para el posicionamiento fino.

Al término del experimento, comprobamos que la programación y su electrónica asociada proporcionan un buen desempeño en el posicionamiento fino.

#### **4.1.2. Evaluación del posicionamiento burdo**

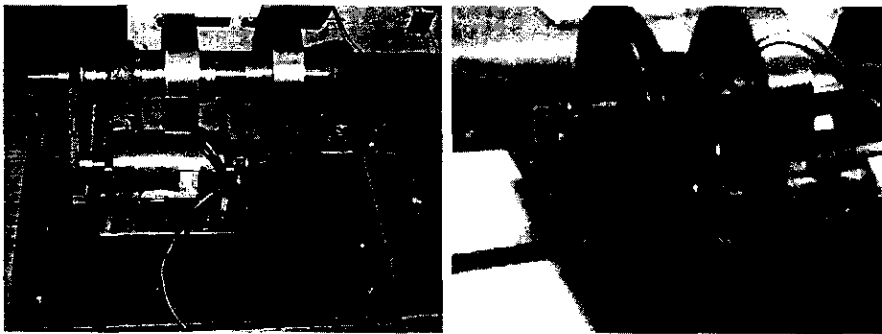
Por otra parte, diseñamos un experimento que simula una inercia parecida a la que impulsará nuestro diseño electrónico. El experimento se muestra en la figura 4.4.



**Figura 4.4.** Experimento para el posicionamiento burdo.

La figura ejemplifica el siguiente proceso: El programa MCREG controla el sistema electrónico que impulsa un motor DC. El motor DC se acopla a un mecanismo que contempla los aspectos relacionados a la carga inercial y al control de posición. La carga inercial se simula mediante sobrepesos en el eje del mecanismo. El control de posición se obtiene al leer la posición de un codificador óptico angular ensamblado al eje del mecanismo.

La figura 4.5. muestra los detalles de la implementación en donde se pueden observar tanto los sobrepesos en el mecanismo, como el codificador angular.



**Figura 4.5.** Detalles del arreglo para el posicionamiento burdo.

Cualitativamente, podemos mencionar que el posicionamiento burdo se puede realizar de forma fácil y amigable, por parte del usuario, al utilizar el programa MCREG. La interfaz de programación contiene gran cantidad de elementos visuales que auxilian al operador en un posicionamiento controlado. Los elementos gráficos de MCREG (botones de control de velocidad en la barra de herramientas y lectura en la barra de estado) proporcionan el medio de realimentación para que el usuario pueda alcanzar la posición deseada.

### **4.1.3. Desempeño en la calibración de reglas**

Independientemente a los ejercicios explicados en las secciones 4.1.1 y 4.1.2, se calibro una regla de prueba utilizando el arreglo de la Figura 4.6.



**Figura 4.6.** Experimento para la calibración de reglas.

En el experimento de la figura 4.6 comprobamos que el objetivo fundamental de este trabajo se cumple plenamente. Es decir, el programa MCREG automatiza el proceso de calibración al tomar lecturas del codificador óptico y procesarlas para su administración. En el arreglo de la figura 4.6, utilizamos un diseño mecánico de Máquina de Medición por Coordenadas (MMC) en donde se utiliza un solo eje que simula la operación real de la máquina para la calibración de reglas. El programa MCREG controla la adquisición de lecturas y uno de los ejes de la MMC es desplazado manualmente. La figura 4.7 muestra la calibración de la regla a detalle.

Los resultados de la operación se muestran en la figura 4.8.

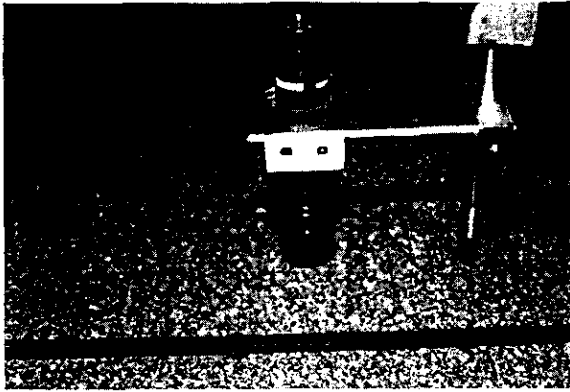


Figura 4.7. Detalle de la calibración de reglas.

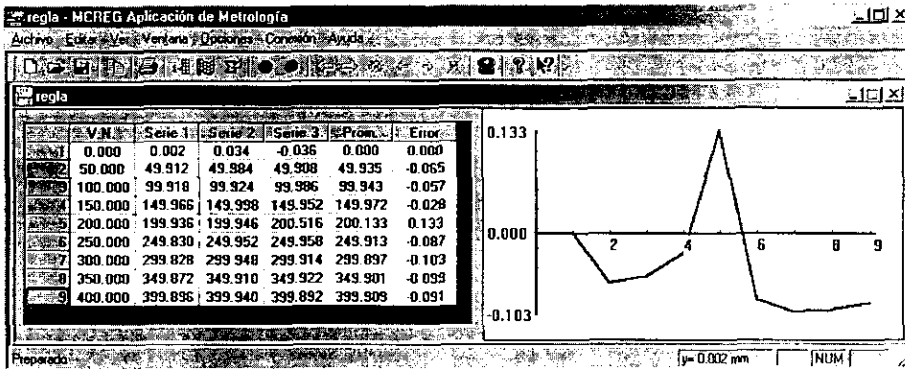


Figura 4.8. MCREG conteniendo el archivo de calibración.

Los resultados de la figura 4.8 nos indican un alto grado de viabilidad en la implementación final de nuestro diseño electrónico y de programación. Inclusive, el arreglo de la figura 4.6 puede ser utilizado actualmente en la calibración de reglas y escalas graduadas mediante posicionamiento manual. En realidad, el posicionamiento automático es prescindible y sólo constituye un elemento que simplifica aún más la operación del instrumento pero no limita las características del mismo.

## 4.2. Conclusiones

A continuación se presentan los puntos que se lograron satisfacer al hacer este proyecto.

- Se ha logrado simplificar el procedimiento de calibración de escalas graduadas de hasta 1,2m de longitud con división mínima de  $2\mu\text{m}$ .
- Se ha logrado liberar el equipo de interferometría láser de su uso dedicado a la calibración individual de escalas graduadas.
- Actualmente se satisface sobradamente la exactitud requerida para la calibración de escalas graduadas con mayor grado de exactitud (según la recomendación internacional OIML No. 45 – 1984).
- La incertidumbre estimada (de acuerdo con la guía para la expresión de la incertidumbre publicada por BIPM *et al* en 1993) actualmente es de:  $\pm(10 + 10L)\mu\text{m}$ , para L en m y considerando un factor de cobertura  $k=2$ .
- El sistema electrónico y de programación propuesto, actualmente puede realizar calibraciones prescindiendo de la máquina para calibración de reglas y apoyándose en una MMC.
- Los experimentos realizados para comprobar el desempeño en el posicionamiento, nos dan la pauta para confiar en la implementación final de nuestros diseños.

El sistema ofrece enormes ahorros, ya que una vez calibrado, este puede realizar mediciones consecutivas de escalas durante la vigencia de su calibración (típicamente 1 año). También ofrece la ventaja de eliminar completamente un sistema de referencia láser, usado anteriormente para calibrar escalas, que contemplaba engorrosos procedimientos de alineación óptica.



### 4.3. Trabajo a futuro

Como trabajo a futuro, planteamos la implementación del diseño mecánico para del desplazamiento en un eje con dos niveles de sensibilidad: un desplazamiento longitudinal burdo para aproximaciones rápidas al trazo de la escala en cuestión y un desplazamiento fino para realizar mediciones finales sobre los trazos.

Por otra parte, deseamos sustituir el dispositivo de visión actual (microscopio 25X o cámara multimedia) por una cámara, tarjeta de digitalización de imágenes, PC y software "inteligente" para el procesamiento de imágenes correspondientes a los trazos de las escalas graduadas. Con lo anterior, pensamos eliminar completamente la intervención humana, reduciendo sustancialmente los errores de apreciación.

Otra línea de trabajo es desarrollar métodos de calibración y perfeccionar los dispositivos mecánicos. La figura 4.9 muestra un ejercicio de alineación de la máquina para la calibración de escalas mediante el sistema láser HP.

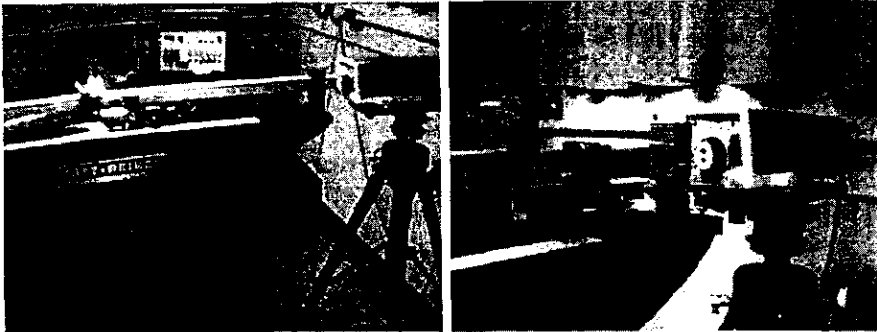
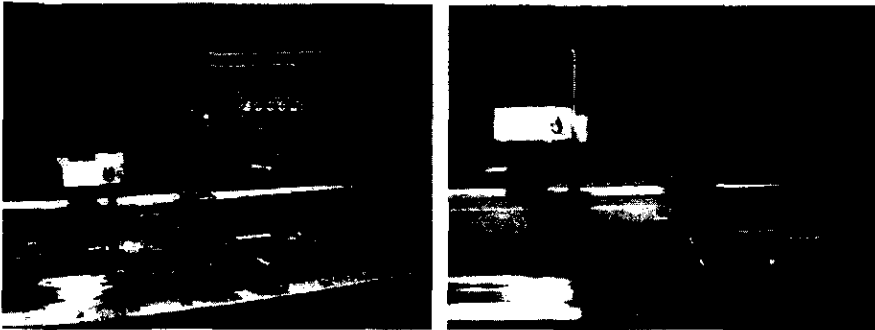


Figura 4.9. Máquina de calibración de reglas y escalas graduadas.

El ejercicio de alineación nos proporciona la pauta para diseñar dispositivos mecánicos de mayor exactitud, como lo muestra la figura 4.10.



**Figura 4.10.** Dispositivos mecánicos.

# Anexo. Diagrama electrónico

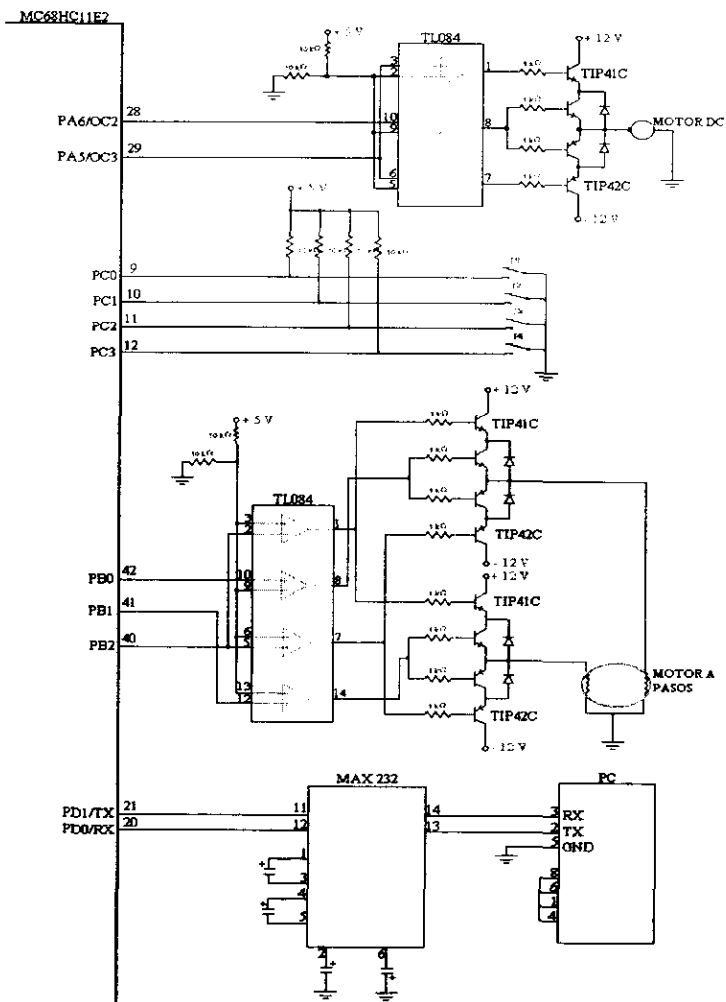


Figura A.1. Sistema electrónico.

## Bibliografía.

- [1] Francisco J. Ceballos, Visual C++ Aplicaciones para Win32, Ed. Ra-ma.
- [2] Francisco J. Ceballos, Visual C++ 6 Programación Avanzada en Win32, Ed. Ra-ma.
- [3] Harry N. Norton, Sensores y analizadores, Ed. Gustavo Gili S.A.
- [4] Holman Jack P. Métodos Experimentales para Ingenieros, Ed. McGraw-Hill (segunda edición en español).
- [5] Joe Campbell. El libro del RS232, 2ª Edición revisada y ampliada, Ediciones Anaya Multimedia.
- [6] Kernighan, Ritchie, Lenguaje de programación C, Ed. Prentice Hall, 2ª Edición.
- [7] Takashi Kenjo. Power Electronics for the microprocessor age, Oxford science publications, Ed. Oxford University Press Inc.
- [8] William D. Cooper. Instrumentación Electrónica y Técnicas de Medición.
- [9] Cuadernos SECOFI, Metrología Vocabulario de Términos fundamentales y globales (Serie Normas).
- [10] Curso básico de metrología dimensional, Centro de Instrumentos UNAM (Sección de metrología).
- [11] Manual de referencia MC68HC11.
- [12] Norma Oficial Mexicana NOM-Z-55-1986.
- [13] <http://www.idoslab.com/utilidad/news.htm> - herral
- [14] [http://www2.uca.es/grup-invest/instrument\\_electro/ppijgdr/Transdeslin.html](http://www2.uca.es/grup-invest/instrument_electro/ppijgdr/Transdeslin.html)