

317 74



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

INSTRUMENTO PARA LA MEDICION
DE ANGULO Y DESPLAZAMIENTO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A
GENARO TORRES AYALA

DIRECTOR DE TESIS: M.I. BENJAMIN VALERA OROZCO

SINODALES:

ING. RICARDO GARIBAY JIMENEZ
ING. BENJAMIN RAMIREZ HERNANDEZ
M.I. SERGIO QUINTANA THIERRY
ING JESUS RAMIREZ ORTEGA

MEXICO, D.F.,

MARZO 2002

**TESIS CON
FALLA DE ORIGEN**





Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Al Centro de Instrumentos de la UNAM, en especial al personal de la sección de metrología.

Al Maestro Benjamin Valera Orozco por el enorme apoyo que me brindo durante la realización de esta tesis.

DEDICATORIAS

A mis padres:

Por el amor y el esfuerzo de cada uno de ellos para hacer de sus hijos hombres de bien.

A mis hermanos:

Por el afecto que siento por cada uno de ellos aunque no lo demuestre.

A Jesús Ramírez Ortega:

Mi eterno agradecimiento por brindarme su ayuda cuando más lo necesitaba.

A Olivama de la Rosa González:

Por el apoyo, por el amor y por los momentos felices que hemos compartido.

A mi hija Jessica:

Motivo de mi esfuerzo y lucha por la vida.

A mis suegros:

Por su serenidad y paciencia para conmigo.

A Oglá de la Rosa González:

Por brindarme su apoyo y sabios consejos en los momentos difíciles.

A Benjamin Valera Orozco:

Por su amistad y por su interés en mi superación.

A mis amigos que directa o indirectamente me motivaron a titularme, con quienes he vivido momentos alegres pero también tristes, al fin y al cabo vivencias que han enriquecido las experiencias de mi vida:

Abigail de la Rosa González, Rodrigo Gutiérrez González, Alejandra Nava, Ana Lilia Cruz Gutiérrez, Sandra Cortés López, Sergio Cortés Fragoso, Jaime Iberri Montes, Arturo Ocampo Martínez, Aurora Sánchez Moreno, Claudia Martínez Moreno, Rafael Briseño Zarza, Marco Tulio Treviño Cobos.

A Dios:

Por permitirme la vida y por las bendiciones recibidas.

PAGINACIÓN

DISCONTINUA

ÍNDICE TEMÁTICO

Introducción	1
1. Conceptos Generales	7
1.1. Metrología dimensional	8
1.1.1. Procedimiento básico de calibración para un instrumento	9
1.1.2. Instrumentos básicos	10
1.2. Instrumentación electrónica	12
1.2.1. Generalidades	12
1.2.2. Sistemas Analógicos a Digitales	14
1.3. Transductores de posición y ángulo	15

1.3.1.	Transductores ópticos	15
1.3.2.	Transductores inductivos	16
1.3.3.	Sistemas láser	21
2.	Acondicionador de señal para transductores inductivos	23
2.1.	Introducción general	23
2.1.1.	Acondicionador basado en síntesis de forma de onda	24
2.1.2.	Acondicionador basado en circuitos integrados comerciales	26
2.1.3.	Esquema seleccionado	27
2.2.	Procesamiento analógico	28
2.2.1.	Descripción general del NE5521	28
2.2.2.	Esquema para la medición de desplazamiento usando el NE5521	32
2.3.	Procesamiento digital	34
2.3.1.	Esquema general	34
2.3.2.	Conversión A/D con el TC835	35
2.4.	Interfase de comunicaciones	38

2.4.1. Descripción	39
2.4.2. Esquema de la interfase sobre la base del microcontrolador HC11	40
2.4.3. Breve descripción del microcontrolador	43
2.4.4. Modelo de programación del microcontrolador	45
2.4.5. Algoritmo para la obtención y transporte de lecturas	46
3. Programa para PC	49
3.1. Descripción de la operación	49
3.1.1. Menú <i>Conexión</i>	50
3.1.2. Menú <i>Configuración</i>	50
3.1.3. Menú <i>Ayuda</i>	51
3.1.4. Ventana <i>Medición</i>	52
3.1.5. Procedimiento para operar el instrumento	52
3.2. Descripción de la programación	52
3.2.1. Descripción del proyecto	53
3.2.2. Descripción de las clases	54
4. Resultados y conclusiones	61
4.1. Calibración	61
4.2. Resultados	70
4.3. Conclusiones	72
Anexo	75
Bibliografía	79

INTRODUCCION

Objetivo

Diseñar un instrumento de medición de ángulo y desplazamiento con interfase a una PC

Definición del problema

Entorno actual

En la actualidad en el Centro de Instrumentos UNAM en el Laboratorio de Metrología existen diversas técnicas de medición dimensional (ángulo y desplazamiento) entre las que destacan por su exactitud y división mínima:

- La maquina de medición por coordenadas MMC.
- El sistema de medición láser.
- Indicadores electrónicos de carátula.

Sistemas, que por sus características, son aplicables a diversas situaciones particulares pero no cubren totalmente la amplia gama en metrología dimensional.

Por ejemplo, la inconveniencia de los dos primeros métodos radica en que los procesos son relativamente costosos y requieren de protocolos complicados de operación.

Por otra parte, el tercer método ha probado su utilidad en mediciones por comparación con contacto mecánico de forma rápida y sustancialmente económica.

En éste sentido, nuestro esfuerzo reciente es enfocado a desarrollar instrumentos electrónicos para la medición de desplazamiento y ángulo que utilicen los transductores inductivos LVDT (Linear Variable Differential Transformer, Transformador diferencial linealmente variable) disponibles en nuestro laboratorio y que ofrezcan ventajas adicionales a los instrumentos comerciales.

Descripción del problema a resolver

Un LVDT o RVDT (Linear/Rotary Variable Differential Transformer) es un transductor electromecánico que produce una salida eléctrica proporcional al desplazamiento de su núcleo móvil. El LVDT tiene características útiles que lo hacen recomendable para su uso en una amplia gama de aplicaciones. El LVDT/RVDT proporciona una solución robusta y extremadamente confiable para el posicionamiento preciso lineal (LVDT) o angular (RVDT) y la medición dimensional. Estos son usados donde quiera que una cantidad física pueda convertirse a un desplazamiento lineal o angular. La construcción simple del dispositivo lo hace una solución económica para un gran rango de aplicaciones.

Un LVDT esta formado por un embobinado primario y dos secundarios simétricamente espaciados en un arreglo cilíndrico. El núcleo magnético móvil en el interior de los embobinados proporciona la ruta de enlace de flujo magnético entre los embobinados (figura 1).

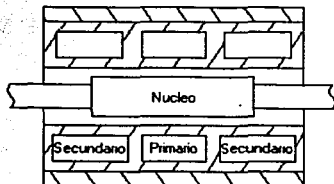


Figura 1. Constitución de un LVDT.

Cuando se energiza el primario mediante una señal senoidal externa, dos tensiones se inducen en los embobinados secundarios. Estos se conectan opuestamente en serie de manera que los dos voltajes tengan polaridad opuesta. Por lo tanto la salida de la red del transductor es la diferencia entre estos voltajes, que es cero cuando el núcleo está en la posición central. Cuando el núcleo se mueve de la posición central, la tensión inducida en el embobinado hacia el cual el núcleo se mueve incrementa, mientras la tensión inducida en el embobinado opuesto decrece. Esta acción produce una salida de tensión diferencial que varía linealmente con el movimiento en el núcleo. La fase de tal tensión de salida cambia abruptamente 180° conforme el núcleo se mueve de la posición central hacia los lados (figura 2).

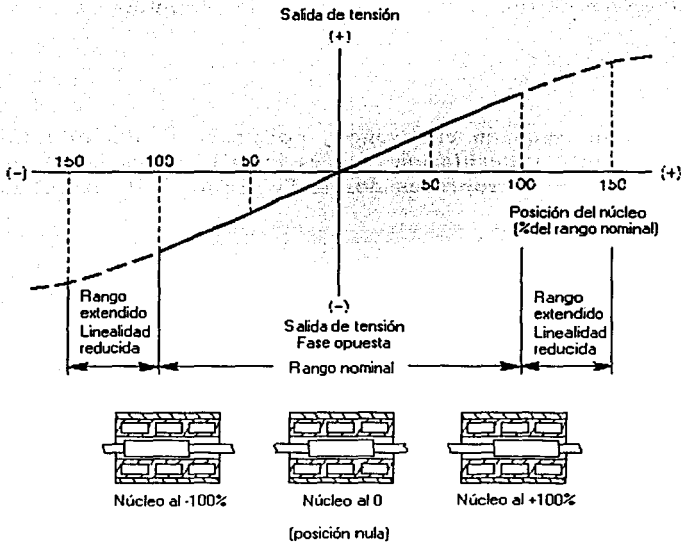


Figura 2. Posición del núcleo.

En éste sentido, nuestro problema a resolver se concreta en construir la electrónica necesaria para energizar el circuito primario de un LVDT y obtener mediciones dimensionales a partir de las señales generadas en el secundario. Adicionalmente, planteamos la opción de interconectar nuestro desarrollo a equipos de cómputo, como una PC.

Relevancia

El Centro de Instrumentos, en su Laboratorio de Metrología, contará con el diseño electrónico necesario para constituir un instrumento y software para realizar mediciones dimensionales mediante contacto mecánico con una gran rapidez y exactitud. También podrá prestar los servicios de esta herramienta a la industria.

Relación con otras áreas

Existe una gran relación con las áreas de metrología dimensional, electrónica analógica, electrónica digital, microcontroladores, instrumentación electrónica y programación de computadoras.

Método

El método involucrado en el diseño y construcción del instrumento de medición de ángulo y desplazamiento es la utilización de la electrónica digital, analógica y microprocesadores. La figura 3 ilustra el método a seguir.

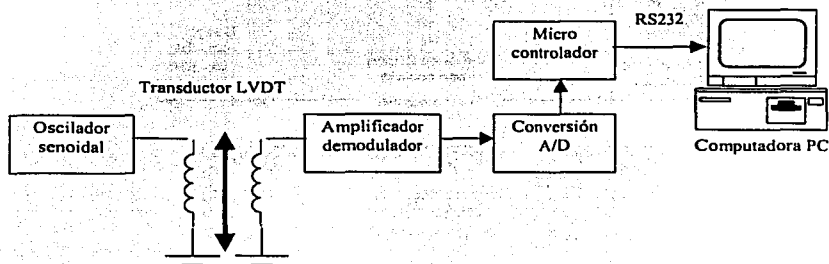


Figura 3. Instrumento para la medición de ángulo y desplazamiento.

Resultados esperados

Desarrollar un instrumento digital para la medición de ángulo (alcance $\pm 1000s$, división mínima 0.1s) y desplazamiento (alcance $\pm 200\mu m$, división mínima 0.1 μm .)

Resumen de la tesis

La presente tesis se desarrolla en cuatro capítulos, a continuación se presenta una breve descripción de los mismos:

El capítulo uno "Conceptos Generales", describe los conceptos básicos de la metrología dimensional, la instrumentación electrónica y los diferentes transductores de posición y ángulo dándole mayor interés a la descripción del transformador diferencial variable lineal (LVDT) por ser este el transductor empleado en nuestro aparato de medición.

El capítulo dos "Acondicionador de señal para transductores inductivos LVDT", contiene la parte sustancial del desarrollo de la tesis, esta dividida en cuatro bloques, en el primero se describen dos diseños para el acondicionador de señal de un LVDT, y se analizan las ventajas de la opción elegida. En el segundo bloque se describe el procesamiento analógico del aparato de medición. La tercera parte comprende la conversión de los datos analógicos a digitales. El cuarto bloque describe la interfaz de comunicaciones entre el aparato de medición y la PC por medio del microcontrolador HC11.

El capítulo tres "Programa para PC", describe el procedimiento a seguir por parte del usuario para la operación del programa desarrollado para la PC, y se hace una breve descripción de la programación empleada.

Capítulo cuatro "Resultados y Conclusiones", presenta el procedimiento de calibración del aparato de medición los resultados obtenidos y las conclusiones.

CAPITULO 1

Conceptos generales

Hoy en día, con la globalización de la economía, la ciencia y la tecnología se rigen por las normas y estándares internacionales. Como en la industria manufacturera, el empleo de estándares de referencia primarios certificados y usados de acuerdo a procedimientos establecidos, asegura que las partes manufacturadas cuentan con las condiciones de calidad que la industria requiere para proveer productos a sus consumidores con las especificaciones que ellos buscan. El uso de estos estándares de referencia y de instrumentos precisos de metrología son primordiales para lograr la alta calidad que se requiere para el avance de la tecnología cada día más exigente.

Las mediciones así como los instrumentos de medición se describen con ayuda de varios símbolos convenciones y términos. Se debe uno familiarizar con los más comunes de esos términos antes de estudiar los detalles de las técnicas e instrumentos de medición.

De acuerdo con este principio, este capítulo da comienzo con algunos de los conceptos mas generales de la metrología dimensional, prestando mayor interés por los métodos para medir desplazamiento y ángulo. El capítulo se enfoca principalmente a dar una descripción de los transductores del tipo L/RVDT así como de sus características, también se presta interés por las señales que manejan estos transductores y conceptos de instrumentación electrónica.

1.1. Metrología Dimensional

Se puede afirmar que el adelanto de las civilizaciones ha sido dependiente de su capacidad para medir y que la necesidad de medir ha abarcado siempre todos los ámbitos del quehacer humano.

Se puede decir que la metrología dimensional nació con Galileo pues con él comienza la era de las mediciones realizadas en forma objetiva y científica, casi dos siglos después surge la necesidad de unificar los criterios metrológicos en el ámbito internacional, es así que en 1837 se establece en Francia el sistema métrico decimal, En 1900 se establece el sistema Metro-Kilogramo-Segundo y después de varios intentos de unificación se llega en 1960 al sistema internacional de unidades "SI"

Antes de iniciar en forma nuestro estudio de la metrología dimensional trataremos de unificar nuestros conceptos mediante las siguientes definiciones [7].

Sensibilidad: Es la razón del movimiento del indicador de un instrumento al cambio en la variable medida que causa este movimiento, en otras palabras, es la relación de la señal de salida o respuesta del instrumento con respecto al cambio de entrada o variable medida.

Exactitud: Es la desviación de la lectura respecto a una entrada conocida, a esta desviación se le conoce como *error*. Generalmente la exactitud se expresa como un porcentaje de la lectura de la escala completa.

Precisión: Es la capacidad de un instrumento para reproducir cierta lectura con una exactitud dada, es decir, es la medida de la repetibilidad de un instrumento.

División mínima: Es el cambio mínimo del valor medido al cual el instrumento responde.

Incertidumbre: Como ya se mencionó, la desviación de la lectura al valor conocido se llama error, pero en muchas ocasiones experimentales no se tiene un valor conocido para compararlo con las lecturas del instrumento; sin embargo, se puede confiar en que el instrumento esté dentro de un margen mayor o menor al del valor real. En este caso se dice que el margen expresa la *incertidumbre* de las lecturas del instrumento.

Tolerancia: La imprecisión inevitable de los procesos de manufactura hace que una pieza no pueda especificarse con una dimensión fija, sino que dicha dimensión deba especificarse entre dos dimensiones límite, compatibles con un funcionamiento correcto de la pieza, la diferencia entre esas dos dimensiones constituye la tolerancia.

Calibración: Es la comparación de un instrumento contra un patrón o estándar conocido, con esto se logran reducir los errores de exactitud. Los procedimientos de calibración implican una comparación del instrumento con:

- Un patrón primario.
- Un patrón secundario con una mayor exactitud; o
- Un con una fuente de entrada conocida.

1.1.1. Procedimiento básico de calibración para un instrumento

El lado opuesto de la exactitud de un instrumento es la incertidumbre, esta es el resultado de todos los errores compuestos. Cada posible fuente de error es conocida como una variable. Luego, la calibración consiste en tres acciones metrologías:

1. Determinación de las variables que pueden contribuir a formar la incertidumbre del instrumento.
2. Medición del error aportado por cada variable.
3. Determinar el efecto neto de la interacción de las variables en la capacidad de medición el instrumento.

Los bloques de calibración son una herramienta de mucha precisión y exactitud para medir las variables en forma separada.

El procedimiento general para la calibración de instrumentos puede hallarse en la especificación MIL-STD-124, en los manuales de los propios instrumentos y en la literatura especializada.

Para calibrar, el instrumento debe limpiarse completamente. Se revisara visualmente si no tiene rebabas, asperezas, fracturas o pandeos.

Las superficies de precisión se asentaran con un bloque de acondicionamiento o una piedra de Arkansas, por ejemplo. La acción

mecánica se inspeccionará vigilando el libre viaje de las partes móviles. Si se ha cambiado de lugar deberá darse suficiente tiempo para que se normalice la temperatura. Después de todo esto el instrumento se halla listo para ser calibrado.

1.1.2. Instrumentos básicos

La medición de longitud es un proceso de comparación de la distancia a ser medida con una dimensión longitudinal conocida y el camino más simple para llevar a cabo esta operación es por comparación directa, entre los instrumentos básicos para realizar esta medición se tienen barras y reglas graduadas, barras de referencia graduadas, barras de inspección graduadas, reglas de trabajo graduadas y cintas métricas de acero entre los más básicos.

Como instrumentos de mayor precisión se tienen el calibrador vernier y el micrómetro ambos instrumentos de medición portátiles con capacidad de medir dimensiones por indicación directa en un intervalo substancial. En adición a estas ventajas inherentes a sus sistemas y el relativamente bajo precio de estos instrumentos los hacen la herramienta de medición imprescindible en el taller.

Como instrumentos de mayor exactitud y complejidad se tienen los siguientes [7]:

- Comparadores.
- Mesas de planitud.
- Bloques de calibración.
- Comparador óptico.
- Microscopio para fabricantes de herramientas.

Comparadores

A diferencia de las mediciones directas de distancias lineales como las llevadas a cabo con instrumentos con escala graduada, la medición comparativa de longitud utiliza un calibre muestra de tamaño conocido, el cual es substituido por la longitud nominal de la dimensión a ser calibrada. Así el instrumento indicador (carátula) solo mide el tamaño y muestra la dirección de cualquier desviación lo cual puede existir con relación al tamaño nominal.

Mesas de planitud

La planitud representa el concepto geométrico del plano cuando se aplica a una superficie sólida con posibilidad de ser medida por medios mecánicos, ya sea directamente o en combinación con instrumentos ópticos.

El concepto de planitud para todos aquellos involucrados en la producción metal - mecánica esta asociada con Mesas de planitud (en nuestro país se suelen denominar simplemente granitos o mármoles), estas se utilizan generalmente para establecer un plano sólido de referencia para propósitos de un gran numero de mediciones dimensionales.

Bloques de calibración

Los bloques de calibración (también llamados bloques patrón, bloques de caras paralelas, galgas plano-paralelepipedas, bloques de precisión, calas o bloques Johansson), son los medios por los cuales se da forma física a los patrones de medición de longitud y de los que se dispone para las mediciones practicas.

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, 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 además se les aplican tratamientos térmicos y envejecimientos efectivos de los aceros lo que minimiza sus cambios dimensionales y les confiere alta dureza.

Comparador óptico

El comparador óptico es un sistema de medición que consta de:

- Uno o dos sistemas de iluminación (de contornos o de superficies).
- Platina móvil (o fija) para sujeción de piezas.
- Sistema de proyección en pantalla.

Su funcionamiento consiste en la proyección de superficies o contornos de piezas en una pantalla, y la medición se puede efectuar directamente sobre la pantalla con reglas, se pueden medir las desviaciones de la

imagen respecto de un perfil dibujado y sobrepuesto a la pantalla, o se puede medir dimensiones de la pieza valiéndose de la retícula de la pantalla y los movimientos de precisión de la platina.

Microscopio para fabricantes de herramientas

El microscopio para fabricante de herramientas consiste en un microscopio ajustable montado en una base que contiene una platina con movimientos de coordenadas, posicionada por micrómetros de precisión.

En algunos casos los micrómetros están provistos de codificadores para leer o registrar la posición mediante el uso de contadores digitales (read-out). El poder de amplificación del instrumento varía de 10 a 100 aumentos.

Se han desarrollado accesorios como soportes entre puntas o bloques "V" en la platina, o plantillas de contornos que se introducen en el sistema óptico.

En algunos casos el instrumento está provisto de iluminación superior para hacer medición sobre superficies.

El microscopio puede tener retícula graduada sobre escala angular, lo que nos permite medir ángulos.

El instrumento es particularmente útil para medir roscas, diamantes de herramientas, etc.

1.2. Instrumentación electrónica

1.2.1. Generalidades

Las mediciones juegan un papel importante en la validación de las leyes de la ciencia. También son esenciales para estudiar, desarrollar y vigilar muchos dispositivos y procesos. Sin embargo, el proceso mismo de medición implica muchos pasos antes de producir un conjunto útil de información. Para estudiar los métodos que produzcan mediciones efectivas, se considerará el proceso de medición como una secuencia de cinco operaciones. Estas operaciones se pueden citar como siguen [8].

1. El diseño de un dispositivo eficiente de medición. Esto comprende una selección adecuada del equipo disponible y una interconexión correcta de los diferentes componentes e instrumentos.
2. El manejo inteligente del aparato de medición.
3. El registro de los datos de un modo claro y completo. La información registrada debe ser una referencia inequívoca para interpretaciones futuras.
4. El cálculo de la exactitud de la medición y las magnitudes de posibles errores implícitos.
5. La preparación de un informe que describa la medición y sus resultados para aquellos que puedan interesarse en su empleo.

Como puede observarse, el punto 1 requiere de un dispositivo de medición, pero existen distintos instrumentos de medición para una misma variable física. Esto es porque generalmente el diseño de un instrumento de medición se basa en algún principio de transducción y existen distintos transductores para una misma variable.

Los sistemas electrónicos de medición son conjuntos de instrumentos y componentes interconectados para llevar a cabo una función general de medición. Los componentes del sistema no solo deben efectuar correctamente sus funciones individuales, sino que también deben trabajar eficazmente con los demás componentes que constituyen el sistema. Este requisito resalta la importancia de asegurar que exista la interconexión o interfase adecuada entre todos los componentes que constituyen el sistema. La interconexión o interfase se define como la unión de los componentes de tal modo que puedan funcionar en forma coordinada y compatible.

Como los instrumentos tanto analógicos como digitales con frecuencia se emplean en los sistemas de medición, se debe conocer la interfase entre los tres casos siguientes:

1. Interfase entre instrumentos analógicos con analógicos
2. Interfase entre instrumentos analógicos con digitales
3. Interfase de instrumentos digitales con otros dispositivos digitales (impresoras, computadoras, etc.)

En nuestro caso solo trataremos el punto 2 por ser esta la interfaz utilizada en nuestro aparato de medición.

1.2.2. Sistemas Analógicos a Digitales

Los sistemas de medición en los cuales los datos medidos se adquieren en forma analógica, pero a continuación se convierten en forma digital antes de mostrarlos, registrarlos o transmitirlos tienen un uso muy amplio. Con mas frecuencia se emplean cuando la señal eléctrica o el proceso físico que se está monitoreando presenta un estrecho ancho de banda y cuando se necesita de gran exactitud (un ejemplo sería un proceso que varíe lentamente con el tiempo). Estos sistemas pueden medir un gran número de parámetros de entrada, comparar los datos contra límites o condiciones preestablecidas y llevar a cabo cálculos y decisiones basados en los datos de entrada, además tienen otra ventaja muy importante, la de la inmunidad al ruido, los datos digitales se pueden transmitir exactamente debido a que la diferencia de voltaje entre los estados de "0 lógico" y de "1 lógico" de un sistema digital generalmente es muy superior a la amplitud del ruido eléctrico captado por la línea de transmisión.

Un sistema analógico a digital puede contener algunos o todos los elementos siguientes:

La fuente de señal (señal eléctrica directa o de un transductor).

Un multiplexor (en los sistemas multicanal)

Acondicionador de señal (amplificación, filtrado, linealización de datos etc.).

Circuito de muestreo y retención. Muestra la salida del acondicionador de señal a un determinado tiempo y mantiene el nivel de voltaje en su salida hasta que el convertidor analógico a digital lleva a cabo su operación de conversión.

Convertidor analógico a digital.

Dispositivo de control del sistema.

1.3. Transductores de posición y ángulo

Las mediciones dimensionales son mediciones del tamaño de un objeto, en tanto que una medida de desplazamiento implica la medición del movimiento de un punto de una posición a otra. Estos tipos de mediciones son el campo de estudio de la metrología dimensional.

Existen distintos transductores para la medición del desplazamiento y ángulo [6].

1.3.1. Transductores ópticos

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

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 1.1).

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 conteo 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 1.2).

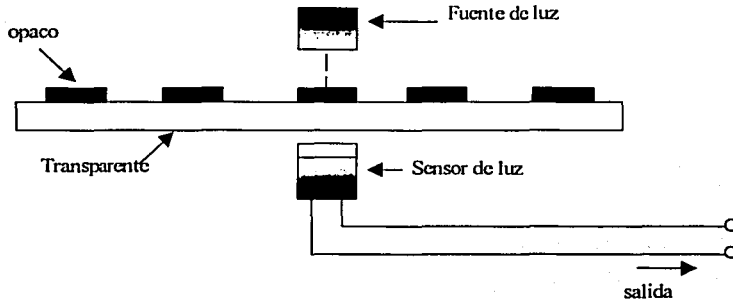


Figura 1.1. Codificador óptico.

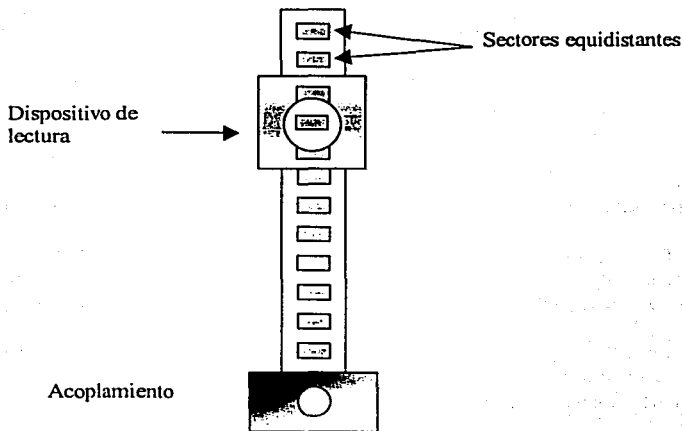


Figura 1.2. Codificador incremental (lineal).

1.3.2. Transductores inductivos

Un LVDT o RVDT (Linear/Rotary Variable Differential Transformer) es un transductor electromecánico que produce una salida eléctrica

proporcional al desplazamiento de su núcleo móvil. El LVDT tiene características útiles que lo hacen recomendable para su uso en una amplia gama de aplicaciones. El LVDT/RVDT proporciona una solución robusta y extremadamente confiable para el posicionamiento preciso lineal (LVDT) o angular (RVDT) y la medición dimensional. Estos son usados donde quiera que una cantidad física pueda convertirse a un desplazamiento lineal o angular. La construcción simple del dispositivo lo hace una solución económica para un gran rango de aplicaciones.

Un LVDT está formado por un bobinado primario y dos secundarios simétricamente espaciados en un arreglo cilíndrico. El núcleo magnético móvil en el interior de los bobinados proporciona la ruta de enlace de flujo magnético entre los bobinados (figura 1.3 y 1.4).

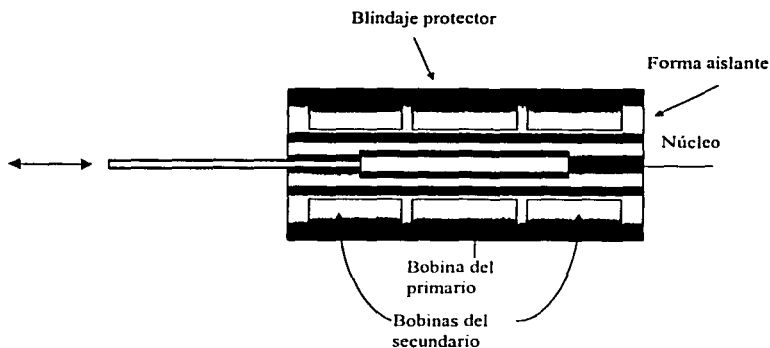


Figura 1.3. Constitución de un LVDT.

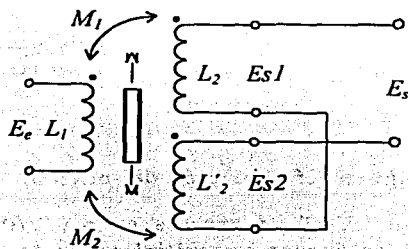


Figura 1.4. Conexión de los bobinados de un LVDT.

Cuando se energiza el primario mediante una señal senoidal externa, dos tensiones se inducen en los embobinados secundarios. Estos se conectan opuestamente en serie de manera que los dos voltajes tengan polaridad opuesta. Por lo tanto la salida de la red del transductor es la diferencia entre estos voltajes, que es cero cuando el núcleo está en la posición central. Cuando el núcleo se mueve de la posición central, la tensión inducida en el embobinado hacia el cual el núcleo se mueve incrementa, mientras la tensión inducida en el embobinado opuesto decrece. Esta acción produce una salida de tensión diferencial que varía linealmente con el movimiento en el núcleo. La fase de tal tensión de salida cambia abruptamente 180° conforme el núcleo se mueve de la posición central hacia los lados (figura 1.5).

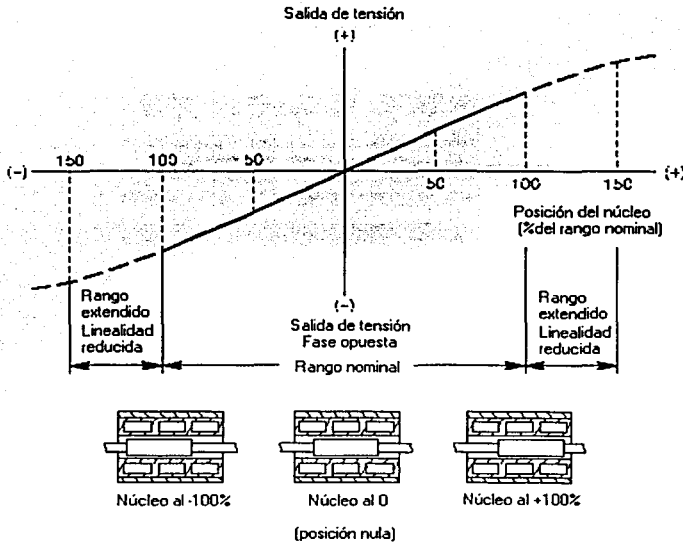


Figura 1.5. Posición del núcleo.

La sensibilidad de un LVDT se expresa en $mV/V/0.001$ pulgadas. Su voltaje real de salida se encuentra multiplicando la sensibilidad por el voltaje de entrada y por el desplazamiento en pulgadas. Como la salida es directamente proporcional al voltaje primario aplicado, se necesita una

muy buena regulación de la fuente de poder. Cualquier variación ya sea en la frecuencia o en el voltaje aparecerá en la señal de salida. Una señal típica de entrada va de 1 a 10 V de corriente alterna y de 1 KHz. a 100 KHz. Una ventaja del transformador diferencial LVDT es su capacidad para cambiar el nivel de la señal de salida sin modificar el circuito de acondicionamiento de señal. En lugar de ello, se cambia la frecuencia o el nivel de voltaje de la señal de entrada al primario.

La linealidad del transformador diferencial LVDT se define como la desviación máxima de la curva de salida de la línea recta de mejor ajuste que pasa por el origen, expresada como un porcentaje de la salida nominal. Por ejemplo, si la salida de un transformador diferencial lineal LVDT es de 5 volts a un desplazamiento de 0.25 pulgadas, y la desviación máxima de la curva de salida, de la línea recta a través del origen es de 0.006 volts, la linealidad es entonces:

$$\text{linealidad} = \frac{\text{desviación}}{\text{salida}} = \frac{0.006}{5.00} = 0.12\%$$

Al aumentar el voltaje de entrada al primario, aumenta también la distorsión armónica y se necesita tener cuidado al diseñar el oscilador del voltaje primario.

Para que el LVDT entregue máxima potencia, la impedancia de entrada del circuito acondicionador de señal debe igualarse con la impedancia de salida del LVDT.

El RVDT es un transductor que tiene el mismo principio de funcionamiento del LVDT, produce una señal eléctrica que es linealmente proporcional al desplazamiento angular. Los desplazamientos que puede detectar este transformador son bastante pequeños en comparación con los que puede detectar un nivel de burbuja o un nivel mecánico.

El RVDT detecta ángulos mediante el desplazamiento del núcleo ferromagnético dentro de un transformador especial como lo muestra la figura 1.6. El transformador tiene un embobinado primario y dos secundarios. Los tres embobinados se devanan en el mismo tubo aislante. El embobinado primario se devana en el centro del tubo, y los dos devanados secundarios (que tienen el mismo número de vueltas) se conectan en serie y en oposición. Esto significa que el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el primario es igual, el voltaje

E_S de la figura 1.4 entre los conductores del devanado secundario será cero, aún cuando el primario esté excitado por una señal de c.a.

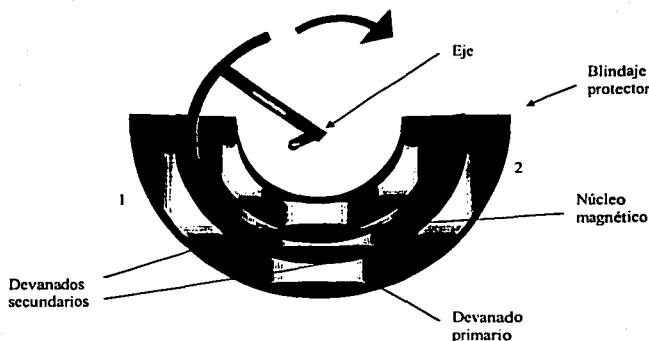


Figura 1.6. Configuración de los devanados de un RVDT.

Si se centra el núcleo ferromagnético (con respecto a la longitud del transformador), el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el primario será igual. Siempre que exista ésta condición, $E_S = 0$. Sin embargo si el núcleo se mueve con respecto a su posición central, el acoplamiento mutuo entre cada devanado secundario y el primario ya no será igual. Por ejemplo, si se mueve el núcleo como se indica en la figura 1.6, el acoplamiento mutuo entre el devanado secundario 1 y el primario aumentará, mientras que el acoplamiento mutuo entre el devanado secundario 2 y el primario disminuirá. Un corrimiento de la posición del núcleo hacia el otro sentido tendrá el efecto contrario. Como resultado de los cambios en el acoplamiento mutuo, el voltaje E_S entre los conductores de salida conectados a los devanados secundarios ya no será cero. En lugar de ello (para desplazamientos angulares pequeños del núcleo), este voltaje de salida será linealmente proporcional a la magnitud del desplazamiento angular.

Como puede observarse, el funcionamiento es el mismo que el del LVDT, lo único que cambia es la disposición del arreglo físico para permitir la medición de desplazamientos angulares. El modelado del RVDT es el mismo que el modelado del LVDT, por lo tanto, las señales que se

manejan tienen las mismas características así como los transductores en sí tienen las mismas ventajas y desventajas.

1.3.3. Sistemas láser

Estos dispositivos, que pueden ser usados para la medida de posición o desplazamiento, tienen su aplicación principal en el calibrado dimensional. La figura 1.7 muestra un sistema láser de medición.

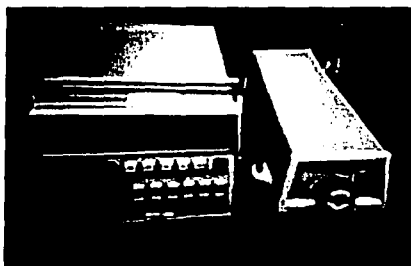


Figura 1.7. Sistema láser de medición.

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 1.8.

La luz monocromática de la fuente se colima mediante la lente L en la placa divisora S_2 , la cual es un espejo semi-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.



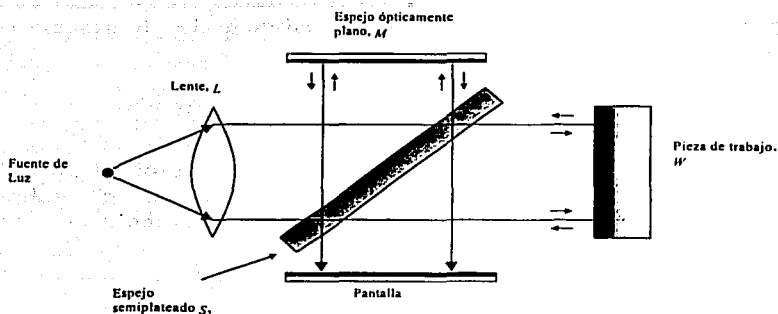


Figura 1.8. Principio de interferencia de la luz.

La longitud de onda de la luz de la fuente monocromática influye en el espaciamiento 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.

Fuente	Longitud de onda μm	Intervalo de franja de media longitud de onda μm
Helio	0.389	0.293
Kriptón 86	0.606	0.303
Mercurio 198	0.346	0.273
Sodio	0.398	0.299

Tabla 1.1. Longitud de onda.



Capítulo 2

Acondicionador de señal para transductores inductivos LVDT

Como se describió en el capítulo anterior, los transductores inductivos LVDT requieren de un sistema acondicionador de señal para poder realizar mediciones, y la exactitud y precisión de dichas mediciones dependen en gran medida del sistema empleado, por lo que el diseño de las diferentes etapas que lo conforman no es una tarea trivial.

En este capítulo se plantean dos opciones para el desarrollo del acondicionador de señal, se analiza la mejor opción y se describe el acondicionador elegido, así también la etapa de conversión analógico a digital y la interfaz de comunicaciones con la PC.

2.1. Introducción general

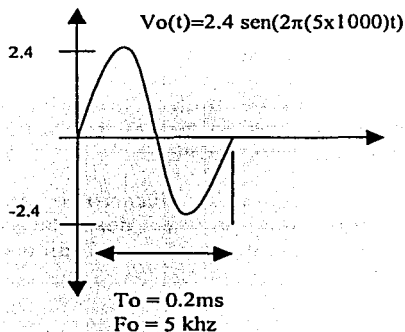
Como se menciona en el capítulo anterior, el transformador diferencial variable lineal o rotatorio (por simplicidad LVDT) requiere de un circuito acondicionador de señal que proporcione la señal de entrada al devanado primario y maneje la señal de salida en los devanados secundarios del LVDT. Este acondicionador de señal debe ser lo suficientemente estable tanto en frecuencia como en voltaje para que no

presente variaciones que alterarían el funcionamiento del transductor. En un principio se trabajo sobre el diseño de un circuito acondicionador basado en la síntesis de forma de onda, implementando un circuito muy complejo y con demasiados componentes electrónicos, posteriormente se trabajo con el circuito integrado NE5521 especialmente diseñado para el acondicionamiento de señal de los transductores LVDT.

En este capítulo se describe de manera muy general el primer circuito que se implemento, el segundo circuito se describe mas detalladamente debido a que fue el que se empleo para nuestro aparato de medición por las ventajas que presenta con respecto al primer circuito como veremos en el análisis de ambas opciones.

2.1.1. Acondicionador basado en síntesis de forma de onda

Este acondicionador de señal se basa en la síntesis de forma de onda para generar la señal senoidal que alimenta al embobinado primario del LVDT, para lo cual tomamos en cuenta los siguientes datos de la figura 2.1.



Resolucion digital = 8 bits

Datos por periodo = $2^8 = 256$

Periodo de datos = $0.2\text{ms}/256 = 0.78125\mu\text{s}$

Frecuencia del contador digital = $1/0.78125 = 1.28\text{Mhz}$

Figura 2.1. Forma de onda a sintetizar.

Como puede observarse en el diagrama a bloques de la figura 2.2, la señal se obtiene al leer una memoria a la cual se le ha grabado previamente la señal digitalizada de una onda senoidal. Esta señal digitalizada es convertida en una señal analógica y amplificada para obtener así una senoidal de 3V de pico a pico de amplitud, con una

frecuencia de 5khz lo suficientemente estable para alimentar el embobinado primario del transductor LVDT.

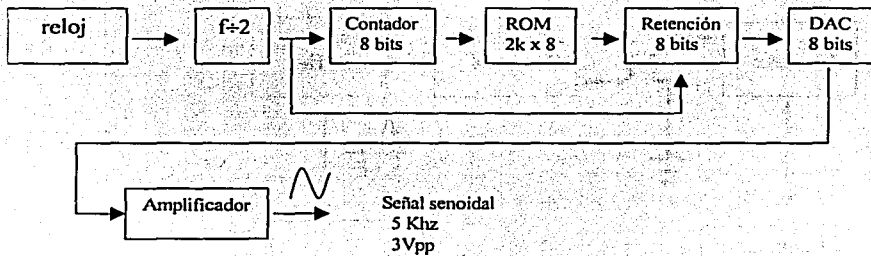


Figura 2.2. Diagrama a bloques del oscilador.

Con la señal generada por el oscilador se alimenta el primario del transductor LVDT, como se muestra en la figura 2.3. El voltaje diferencial obtenido en los devanados secundarios se amplifica con un amplificador diferencial básico el cual tiene la característica de amplificar pequeñas señales que se encuentran inmersas en señales más grandes. Con un comparador la señal del oscilador se convierte en una señal de referencia, el demodulador emplea dicha señal de referencia en fase con la señal senoidal que viene del secundario del transductor. Para asegurar que estén en fase ambas señales es necesario el bloque de corrimiento de fase. El demodulador entrega una señal rectificada y demodulada en amplitud, la cual pasa a través de un filtro RC para obtener una señal de corriente directa donde las variaciones de voltaje son directamente proporcionales a las variaciones de la posición del núcleo en el transductor LVDT. El bloque de desplazamiento de nivel nos permite ajustar el rango de la variación de voltaje [3].

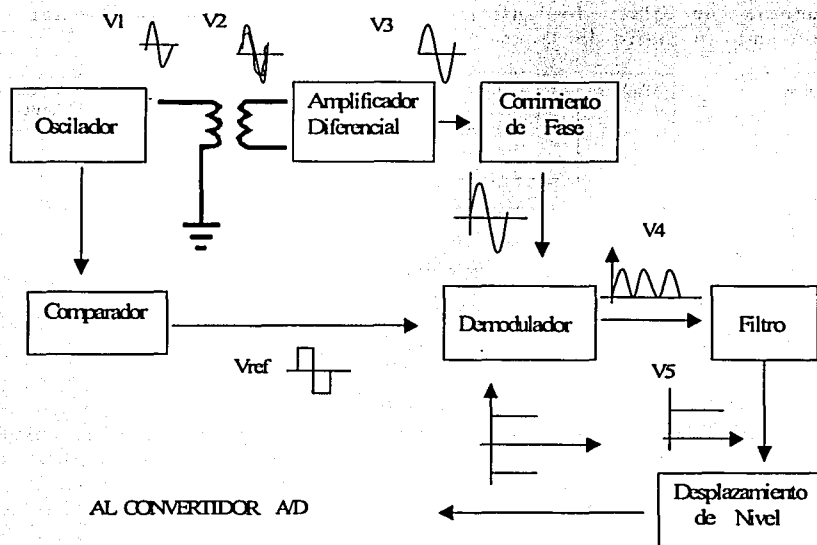


Figura 2.3. Diagrama a bloques del acondicionador de señal.

2.1.2. Acondicionador basado en circuitos integrados comerciales

Como se observó en la sección anterior, implementar un circuito acondicionador de señal para transductores LVDT resulta muy complejo por la cantidad de componentes que requiere, afortunadamente ya se encuentran disponibles en el mercado circuitos integrados que contienen en un solo encapsulado prácticamente todos los componentes necesarios; tan solo hay que agregar algunos capacitores y resistencias externas para realizar el acondicionamiento de la señal y así obtener a la salida del circuito integrado la señal analógica correspondiente a la medición hecha por el transductor LVDT.

El NE/SA/SE5521 es un circuito acondicionador de señal para usarse con el transformador diferencial linealmente variable (LVDT) y el transformador diferencial variable rotatorio (RVDT) [11].

En la figura 2.4 se muestran los bloques internos del NE5521. El chip incluye un oscilador de onda senoidal de amplitud estable y baja distorsión, con frecuencia programable para manejar el primario del LVDT/RVDT. Un demodulador síncrono convierte la amplitud y fase de la salida del LVDT/RVDT a la información de posición del núcleo y un amplificador de salida provee la amplificación y el filtrado de la señal demodulada.

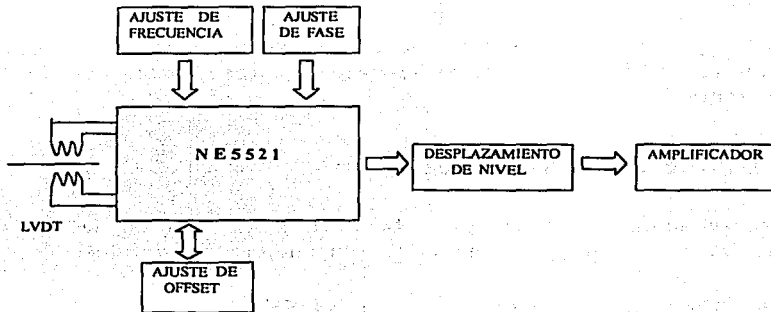


Figura 2.4. Diagrama a bloques usando el NE5521.

Los bloques de ajuste de frecuencia, de fase, y offset solo requieren unos cuantos capacitores y resistencias, el desplazamiento de nivel y el amplificador lo constituyen solo dos amplificadores operacionales. El funcionamiento de los bloques internos del NE5521 es similar al funcionamiento del circuito propuesto con síntesis de forma de onda. Mas adelante se analizara mas a fondo la constitución y el funcionamiento de este circuito integrado

2.1.3. Esquema seleccionado

El acondicionador de señal basado en síntesis de forma de onda resulta ser muy complejo por el número de componentes que las diferentes etapas requieren, simplemente basta analizar el bloque correspondiente al oscilador el cual contiene un generador de pulsos de reloj con cristal, circuitos flip flop, una memoria EEPROM, un contador, un circuito retenedor y un convertidor D/A. Tan solo para generar la señal senoidal, y aunque es muy estable, resulta poco practico este oscilador y en general todo el acondicionador de señal de este tipo.

Por lo anterior, no es difícil elegir entre este acondicionador de señal y el acondicionador basado en el circuito integrado NE5521 ya que este presenta las siguientes ventajas con respecto al primero:

- Requiere menos componentes.
- El consumo de energía es menor.
- Requiere menos espacio.
- Al emplear menos componentes su costo es menor.

En la siguiente sección se describe detalladamente el esquema seleccionado. El anexo al final del trabajo, presenta los detalles de su implementación.

2.2. Procesamiento analógico

A continuación se describe el NE5521 y su uso en la aplicación particular para la medición mediante transductores inductivos.

2.2.1. Descripción general del NE5521

Características

- Baja distorsión.
- Se puede alimentar con voltajes de 5V a 20V o con un suministro de $\pm 2.5V$ a $\pm 10V$.
- Frecuencia de oscilación de 1Khz a 20KHz.
- Operación radiométrica.
- Bajo consumo de potencia (182mV).

Aplicaciones

- Acondicionador de señal para LVDT.
- Acondicionador de señal para RVDT.
- Acondicionador de señal para LPDT (Lineal Phase Differential Transformer).
- Circuitos puente.

El acondicionador de señal NE5521

El acondicionador de señal consiste esencialmente de tres grandes bloques: un oscilador con frecuencia programable, un demodulador síncrono y un amplificador auxiliar (ver figura 2.5).

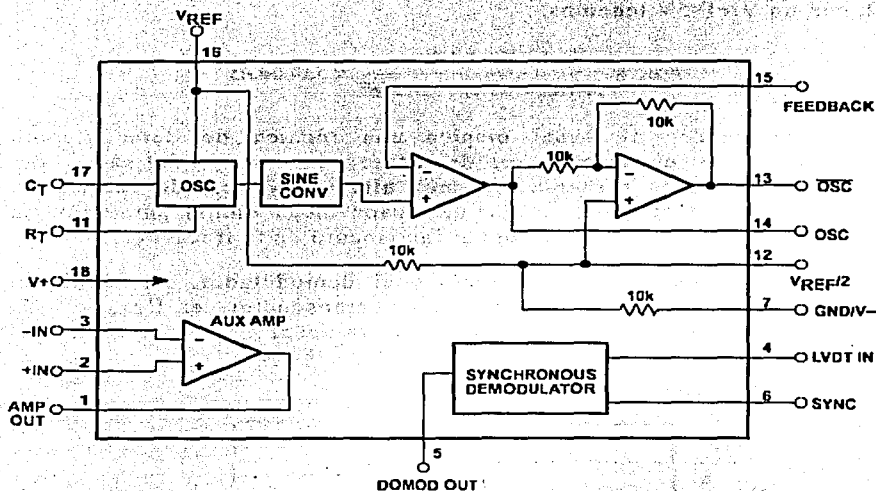


Figura 2.5. Diagrama a bloques del NE5521.

El oscilador genera una onda senoidal de amplitud estable con un valor RMS determinado por un voltaje de referencia V_{REF} , en el pin 16 del dispositivo y referido a $V_{REF}/2$.

La señal del oscilador es acondicionada por dos amplificadores operacionales de alta ganancia y bajo offset que producen la señal a del oscilador OSC y la señal invertida \overline{OSC} .

Las señales OSC y \overline{OSC} tienen una distorsión armónica inferior al 2%. Estas señales son usadas para excitar diferencialmente al primario del LVDT/RVDT.

Una resistencia R_T , y un capacitor C_T (externos al chip) determinan la frecuencia del oscilador.

La frecuencia del oscilador esta dada por:

$$F_{osc} = \frac{V_{REF} - 1.3V}{V_{REF}(RT + 1.5K\Omega)CT}$$

Para obtener una frecuencia de 5Khz empleamos $CT=0.015\mu F$ y $RT=8.2$ k Ω , con un $V_{ref}=5V$ tenemos:

$$F_{osc} = \frac{5V - 1.3V}{5V(8.2k + 1.5k)0.015\mu F} = 5.086Khz$$

El acondicionador de señal emplea una técnica de demodulación síncrona para obtener información de la fase y la posición del núcleo del transductor, también presenta una muy alta impedancia de carga a la salida del transductor (del orden de varios mega ohms) para máxima linealidad y relativa insensibilidad al incremento de la frecuencia.

La figura 2.6 muestra como funciona el demodulador. La señal del oscilador, la cual excita el primario del transductor, es llevada a la entrada *SYNC* del demodulador. Note que la señal *OSC* y la salida del transductor (*input demodulator*) son referidos a $V_{REF}/2$.

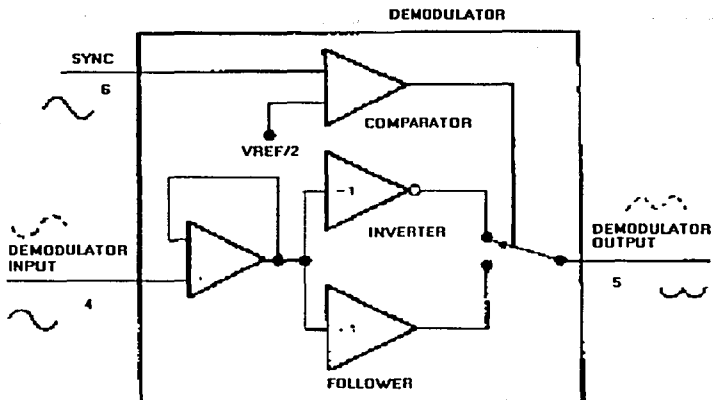


Figura 2.6. Demodulador.

La señal *SYNC* es comparada con un voltaje de referencia $V_{REF}/2$ generado internamente. Durante la primera mitad del ciclo, como la

señal *SYNC* es superior a $V_{REF}/2$ el demodulador funciona como un inversor y así la señal *DEMODULADOR INPUT* aparece invertida a la salida. Sin embargo durante el segundo medio ciclo, como la señal *SYNC* es inferior a $V_{REF}/2$ el demodulador funciona como un seguidor, así la señal aparece a la salida con ganancia unitaria.

La rectificación de la onda completa ocurre en sincronía con la señal de excitación del primario, la amplitud de la señal rectificada nos indica la posición del núcleo, la polaridad de la salida nos dice en que lugar esta el núcleo con respecto al centro de su recorrido.

El offset del demodulador tiene un valor menor a 2mV con un incremento en el offset de $5\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ y un error de linealidad de $\pm 0.05\%$ a escala completa con un rango de temperatura de -55°C a $+125^\circ\text{C}$.

Un bajo nivel de offset es esencial para el sistema de transductor en aplicaciones de precisión, un nivel alto de offset puede disfrazar la posición nula del núcleo en el transductor, también provocaría que las mediciones de posición resulten inexactas con las variaciones de temperatura. El offset del sistema acondicionador de señal puede ser anulado por el ajuste de offset del amplificador auxiliar.

Hay dos formas de reducir el voltaje de offset. El primer método consiste en ajustar la frecuencia del oscilador para que la señal del secundario este en fase con la señal de excitación del primario, la señal del demodulador y del oscilador pueden ser monitorcadas en un osciloscopio para corregir la fase como se muestra en la figura 2.7.a y 2.7.b.

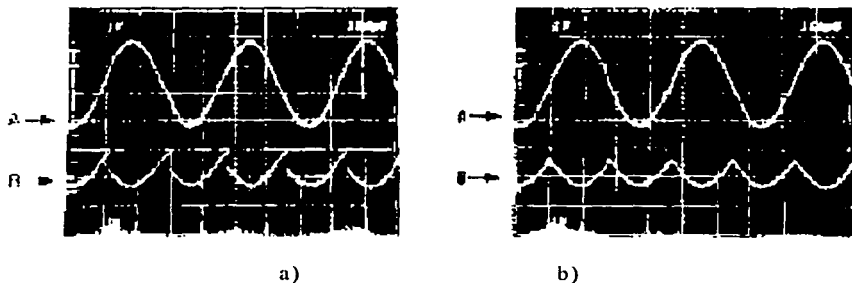


Figura 2.7. (a) El trazo A es la señal del oscilador y el trazo B es la salida del demodulador resultante del cambio de fase del LVDT. (b) El trazo B es la salida del demodulador después del ajuste de fase apropiado.

Un segundo método de corrección de fase es usando una red de ajuste de fase entre la salida del oscilador y la entrada *SYNC* del circuito integrado como la mostrada en la figura 2.8 la cual consiste en un potenciómetro de 20k Ω en serie con el capacitor C_3 . El potenciómetro es ajustado para corregir la fase del demodulador como se observa en la figura 2.7.a y 2.7.b.

La salida del LVDT es referida a $V_{REF}/2$, conectando una punta del secundario al pin 12 del C.I. Un capacitor entre pin 12 y tierra provee una tierra de AC para $V_{REF}/2$.

La salida del pin 12 es una fuente de alta impedancia, puede requerir ser reforzada/acondicionada en algunas aplicaciones para prevenir el efecto de carga en el divisor de voltaje.

El potenciómetro (P1) de 20K Ω de ajuste de offset se utiliza para anular el offset a la salida del acondicionador de señal para LVDT.

El voltaje en modo común y el valor RMS de la señal del oscilador esta determinado por V_{REF} , consecuentemente V_{REF} debe ser un voltaje de referencia fijo, pero haciendo $V+$ mayor que V_{REF} , la salida del amplificador auxiliar es incrementada y el filtro puede ajustar una alta ganancia en lazo cerrado.

La ganancia del amplificador esta dado por la siguiente formula

$$Ganancia = 1 + \frac{R_f}{R/2}$$

la ganancia a la salida del amplificador auxiliar fue:

$$Ganancia = 1 + \frac{12k}{\left(\frac{8.2k}{2}\right)} = 3.93$$

2.2.2. Esquema para la medición de desplazamiento usando el NE5521

Un diagrama a bloques del circuito acondicionador usando el circuito integrado NE5521 sería el mostrado en la figura 2.8.

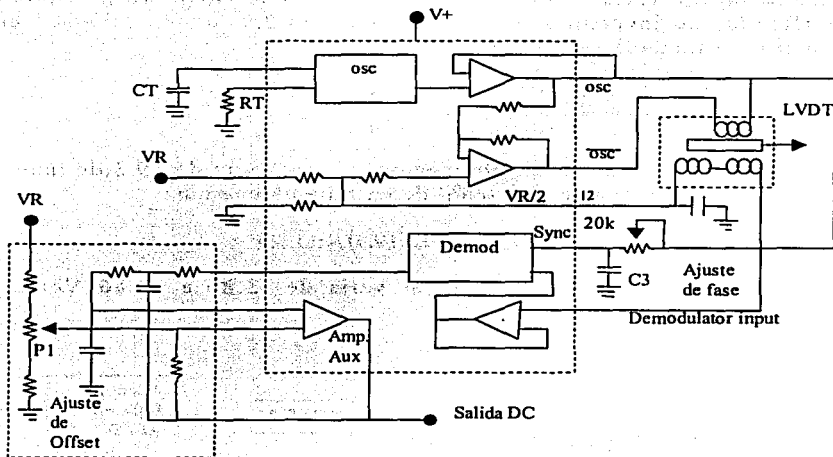


Figura 2.8. Circuito típico de medición con LVDT.

Se intento obtener mayor ganancia con este amplificador pero la señal se distorsionaba por lo que se opto por emplear un amplificador adicional externo obteniendo buenos resultados.

La señal obtenida a la salida del NE5521 variaba de $-0.14V$ a $+0.02V$ por lo que fue necesario un circuito de ajuste de nivel, este circuito y el amplificador externo se muestran en la figura 2.9 donde se puede observar que el ajuste de nivel consiste en un circuito sumador inversor con ganancia [3], donde el voltaje de salida esta dado por la expresión siguiente:

$$V_o = - \left[E_1 \left(\frac{R_f}{R_1} \right) + E_2 \left(\frac{R_f}{R_2} \right) \right]$$

sustituyendo valores de $E_1 = 0.15V$, $R_f = 12k$, $R_1 = 12k$, $R_2 = 4.75k$ en la expresión anterior obtenemos;

Cuando $E_2 = -0.14V$; $V_o = 0.20368 V$

Y cuando $E_2 = 0.02V$; $V_o = -0.200526V$

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

así la señal V_o varía de -0.2 a $+0.2$ Volts, la cual amplificamos con el amplificador no inversor mostrado en la figura 2.9, donde sabemos que la ganancia esta dada por la expresión:

$$G = 1 + \frac{R_{fa}}{R_{la}}$$

Con $R_{fa} = 22k$ y $R_{la} = 1.2k$ obtenemos una ganancia de 19.3, de manera que al aplicar la ganancia a la señal de entrada obtenemos:

$$V_{oa} = V_o(G) = \pm 0.2(19.3) = \pm 3.86V$$

La señal amplificada V_{oa} cuyo valor varía de -3.86 a $+3.86$ Volts de corriente directa.

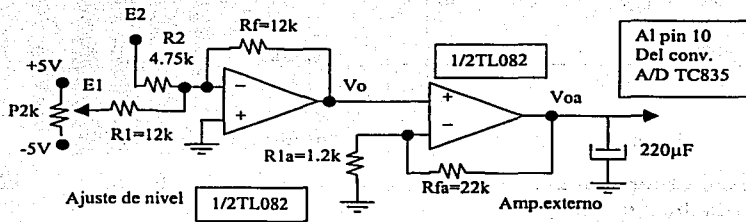


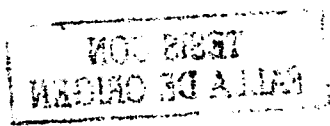
Figura 2.9. Desplazador de nivel y amplificador adicionales.

2.3. Procesamiento digital

Con lo expuesto hasta el momento hemos visto como se realiza la medición de desplazamiento con un LVDT y su correspondiente circuito acondicionador de señal, el voltaje obtenido de la medición es una señal analógica de corriente directa. Nuestra siguiente tarea consiste en realizar la conversión de la señal analógica a digital y transmitir esos datos a una PC.

2.3.1. Esquema general

La conversión analógica a digital se realizó usando el circuito integrado TC835, los datos digitales obtenidos se transmitieron a una PC por



medio del microcontrolador MC68HC11E2 y el circuito integrado MAX232 como se muestra en el diagrama a bloques de la figura 2.10.

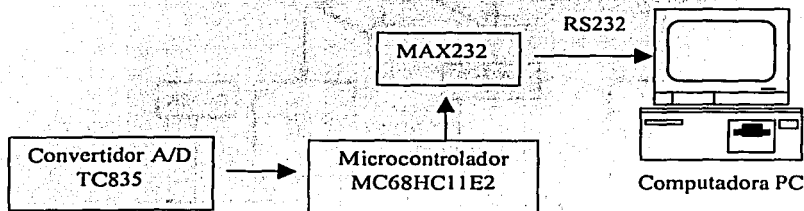


Figura 2.10. Procesamiento digital.

2.3.2. Conversión A/D con el TC835

El TC835 es un convertidor BCD análogo a digital (ADC), de bajo consumo de potencia, de 4 $\frac{1}{2}$ dígitos (0.005% de resolución), caracterizado para operar a una frecuencia de reloj de 200KHz.

La salida de datos BCD multiplexada es perfecta para la interfase con computadoras personales, el bajo costo, su resolución mayor a 14 bits y su sensibilidad ($100\mu\text{V}$), hacen que el TC835 sea excepcionalmente rentable.

Convertidores A/D de doble rampa

Se emplean ampliamente en aplicaciones en donde la mayor importancia estriba en la inmunidad al ruido, gran exactitud y economía. Los convertidores de doble rampa pueden suprimir la mayor parte del ruido de la señal de entrada debido a que emplean un integrador para efectuar la conversión. En efecto el rechazo de ruido puede ser infinito para una frecuencia específica del ruido si el primer periodo de integración del convertidor (T_I mostrado en la figura 2.11) se iguala al periodo del ruido. Por lo tanto para rechazar el ruido prevaeciente debido a las líneas de alimentación de 60 Hz, se necesita que T_I sea de 16.667 ms. Sin embargo esta ventaja también conduce a tiempos de conversión muy largos (típicamente 10 a 50 ms). Sin embargo las ventajas de los convertidores de doble rampa los hacen muy adecuados para las aplicaciones en las que no sean necesarios tiempos breves de conversión. Se emplean mucho, en especial en aplicaciones de instrumentos de precisión tales como voltímetros digitales

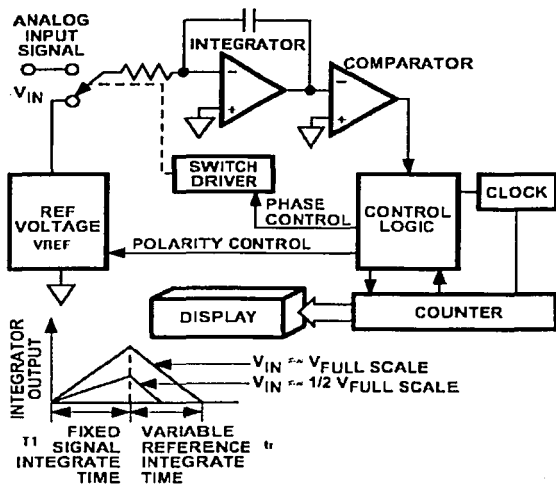


Figura 2.11. Convertidor analógico a digital de doble rampa.

El voltaje de corriente directa que se va a convertir, V_{IN} se alimenta a un integrador, que produce una salida en forma de rampa, la señal de rampa comienza en cero y aumenta para un intervalo fijo de tiempo T_1 igual a la cuenta máxima del contador multiplicada por un periodo de la frecuencia del reloj. Un contador de 8 bits operando a 1Mhz tendría un T_1 de $8\mu s$. La pendiente de la rampa es proporcional a la magnitud de V_{IN} . Al termino del intervalo T_1 , el bit de transferencia del contador de fluctuaciones hace que el interruptor se mueva a la posición $-V_{REF}$. En esa posición una fuente de corriente constante ($-V_{REF}/R$) comienza a descargar el capacitor C . El contador de fluctuaciones se restablece a cero cuando se tiene un bit de transferencia. El conteo continua hasta que el interruptor detector de cruce de cero conmuta el estado como resultado de haberse descargado C . Se detiene el contador por el detector y la cuenta resultante es proporcional al voltaje de entrada. En la siguiente deducción es importante observar que t_r es independiente de los valores de R y de C .

$$Q_{CARGANDO} = Q_{DESCARGANDO}$$

$$\frac{iT_1}{C} = \frac{itr}{C}$$

$$\frac{V_{ent}}{R} = \frac{V_{ref}}{R} tr$$

$$V_{ent} = V_{ref} \frac{tr}{T_1}$$

La figura 2.12 muestra el circuito oscilador utilizado para impulsar el TC835 donde la frecuencia esta dada por medio de la siguiente expresión:

$$f_o = \frac{1}{2C(0.41R_p + 0.7R_1)}$$

$$\text{Donde: } R_p = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

Sustituyendo los valores de C, de R1 y R2 se obtiene para Rp:

$$R_p = \frac{5.6k\Omega(5.6k\Omega)}{5.6k\Omega + 5.6k\Omega} = 2.8\Omega$$

y para la frecuencia $f_o = 206$ khz, que es el valor mas aproximado a 200 khz que se logro conseguir con valores comerciales de R y de C:

$$f_o = \frac{1}{2(477 pF)[0.41(2.8k\Omega) + 0.7(5.6k\Omega)]} = 206.83 khz$$

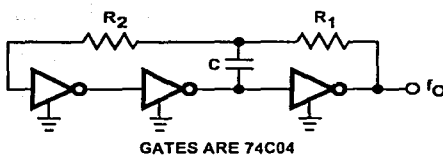


Figura 2.12. Circuito empleado para la generación de la frecuencia de 200kHz.

La figura 2.13 muestra la configuración utilizada para la conversión A/D.

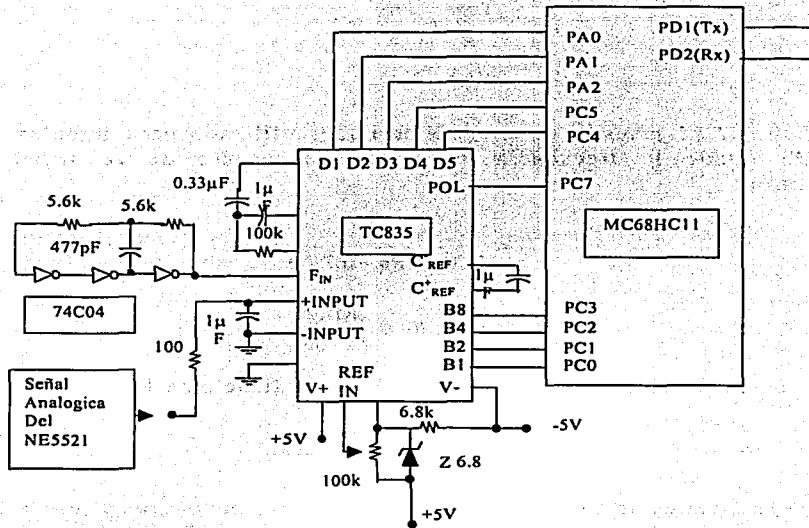


Figura 2.13. Circuito empleado para la conversión A/D e interfaz con el MC68HC11.

2.4. Interfase de comunicaciones

La interfase de comunicaciones entre dispositivos digitales se realiza por medio de protocolos o estándares a seguir para lograr la compatibilidad en la transmisión y recepción de datos.

La comunicación por puerto serie de una PC a otra PC u otro dispositivo se realiza con dos fines:

- 1) Adquisición de datos en tiempo real.
- 2 (Control de datos en tiempo real.

Para este segundo caso la computadora adquiere los datos, los almacena en su memoria y los procesa matemáticamente para transmitir señales de control de regreso al instrumento, proceso o sistema.

La interfaz de comunicaciones es un tema extenso, por lo que nos limitaremos a describir la interfase asíncrona en serie por ser esta la empleada en nuestro sistema de medición.

Los métodos de transmisión en serie también se caracterizan por cuantos bits por segundo pueden transmitir (a un bit/s se le llama baud). Las velocidades de bits normalizadas en los sistemas en serie son de 50, 75, 110, 134.5, 150, 300, 600, 1200, 1800, 2400, 3600, 4800, 9600 bauds.

La mayor parte de las conexiones en serie en los sistemas de instrumentación se lleva a cabo en forma asíncrona, los métodos asíncronos son relativamente lentos porque necesitan una señal de reconocimiento mutuo para cada carácter de transferencia de datos, el reconocimiento se lleva a cabo empleando bits de arranque y seguido de uno o dos bits de paro. El código mas empleado para formato de las palabras de datos en la transmisión asíncrona en serie es el ASCII.

Las palabras de datos codificadas en serie se transmiten de acuerdo con una de dos convenciones eléctricas: La RS-232C o circuito de corriente de 20 mA. Casi todas las computadoras que se fabrican cuentan con un puerto serie de entrada y salida RS-232C, existen dos normas mas recientes RS-422 y RS-423 que se han adoptado también, pero su aceptación es bastante lenta y la RS-232C tiene prominencia todavía.

2.4.1. Descripción

La interfase de comunicación entre el instrumento de medición y la computadora se realiza por medio del microcontrolador MC68HC11, el cual recibe los niveles de voltaje provenientes del convertidor A/D y se encarga de interpretarlos y transmitirlos en sincronía con el puerto serie de la PC.

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 2.14. se muestra el MAX 232 conectado con una PC en su terminal serie [1].

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

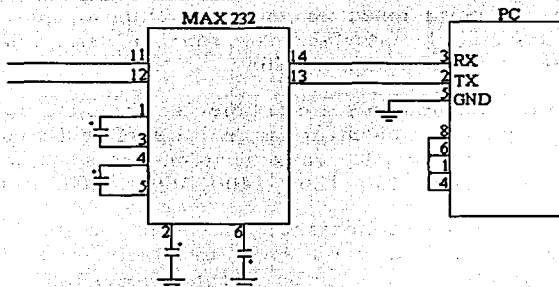


Figura 2.14. Circuito MAX 232.

La interfase de comunicación entre el instrumento de medición y la computadora se realiza por medio del microcontrolador MC68HC11, el cual recibe los niveles de voltaje provenientes del convertidor A/D y se encarga de adecuarlos al formato ASCII del puerto serie de la PC.

2.4.2. Esquema de la interfase sobre la base del microcontrolador HC11

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 2.15 y 2.16 [5]

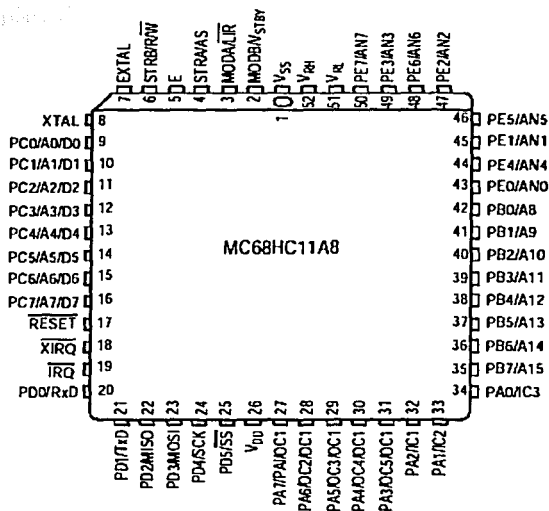
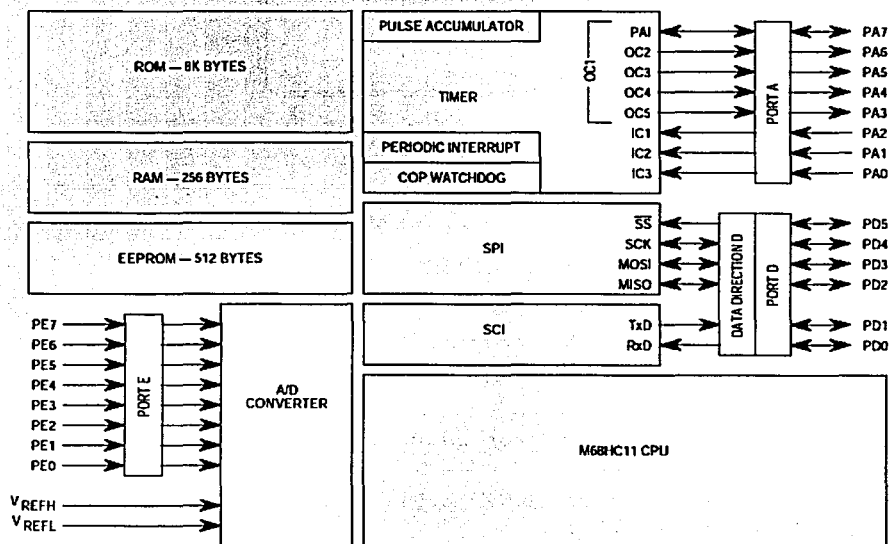


Figura 2.15. Empaque del MCU (PLCC).

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 asincrónica (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).



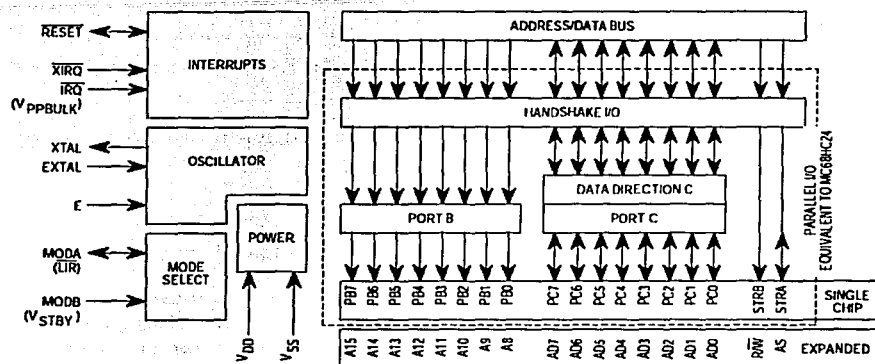


Figura 2.16. Diagrama a bloques.

2.4.3. Breve descripción del microcontrolador

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) esta habilitada, el pin PD0/RxD es una entrada de información de recepción.

Cuando el transmisor SCI esta habilitado, el pin PD1/TXD es una salida de información de transmisión. Cuando el sistema periférico serial de interfaz SPI esta 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.

2.4.4. Modelo de programación del microcontrolador

En la figura 2.17 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 esta ejecutando.

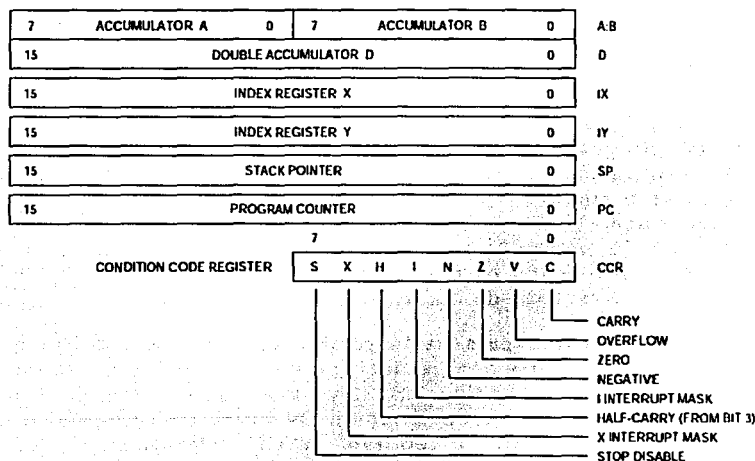


Figura 2.17. Modelo de programación.

TESIS CON
 FALLA DE ORIGEN

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.

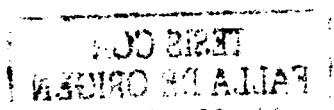
X interrupt mask (mascara de interrupción), permite habilitar o deshabilitar las interrupciones mascarables.

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

2.4.5. Algoritmo para la obtención y transporte de lecturas

Al inicio del programa se definen las variables que son utilizadas a lo largo del programa. Se designan los puertos que son utilizados y en cada puerto se definen cuales pines funcionan como entrada de datos y cuales funcionan como salidas. Posteriormente, en los registros encargados de la comunicación serie, se definen los parámetros de comunicación; en nuestro caso la transmisión es a 1200 bps, 8 bits de datos, 1 bit de paro y 1 bit de inicio.

El programa principal espera hasta recibir un dato de habilitación D5 correspondiente al dígito 5 para leer el dato en BCD posteriormente convierte el dato BCD a código ASCII y almacena el dato. El programa continua al recibir el dato e habilitación D4 correspondiente al dígito 4 en BCD y lo convierte a código ASCII almacenando el dato correspondiente. Así continua hasta llegar al dato correspondiente a la polaridad, una vez obtenidos todos los datos y su polaridad, estos son



transmitidos por el puerto D a la PC. El algoritmo descrito se muestra en la figura 2.18.

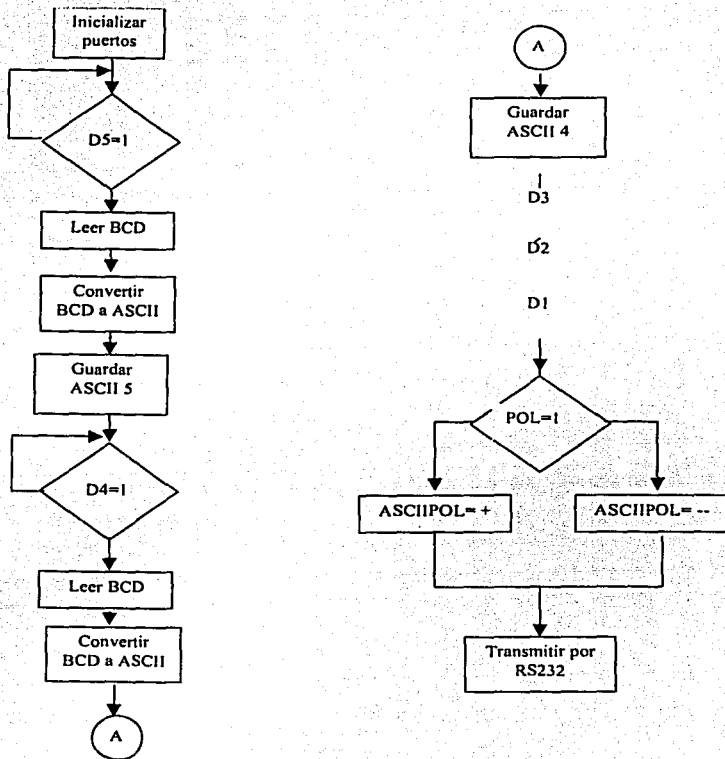


Figura 2.18. Diagrama de flujo para la obtención y transporte de lecturas.

CAPITULO 3

Programa para PC.

Como se describió en el capítulo anterior, el instrumento de medición de ángulo y desplazamiento implementado hasta el momento entrega los valores de las lecturas, a una PC por medio del puerto serie para poder mostrar los datos al usuario.

El presente capítulo describe la manera de obtener las lecturas con el aparato de medición y la forma en que se implemento el programa para la computadora, el código fuente no se incluye en este texto, la idea es que el lector entienda la forma en que se implementó el algoritmo de medición, en lugar de descifrar las extensas paginas del código en Visual C++.

3.1. Descripción de la operación

El programa de la computadora, llamado "Comm", fue desarrollado en forma específica para este proyecto utilizando Visual C++6. Por lo tanto es una aplicación para Windows de 32 bits y los requerimientos del sistema son:

- Windows 98.
- Las bibliotecas MFC42D.DLL, MFC042D.DLL y MSVCRTD: DLL.
- 2.5 Mb en disco duro.

- 16 Mb en RAM.
- Puerto serie RS232.

A continuación se describe la forma de operar el programa y las opciones con que cuenta. La aplicación funciona dentro de la filosofía de Windows para facilitar su uso y para que cualquier usuario con nociones del sistema operativo de Windows pueda usarlo.

3.1.1. Menú *Conexión*

Es el menú que permite configurar las opciones de la transmisión serie con el microcontrolador MC68HC11 se muestra en la figura 3.1.

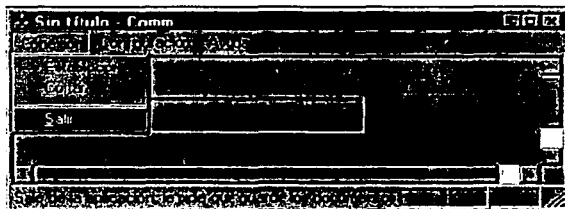


Figura 3.1. Menú *Conexión*.

A continuación se muestran las funciones del menú.

- Establecer.** Establece la comunicación el puerto serie.
- Cortar.** Finaliza la transmisión de datos por el puerto serie.
- Salir.** Finaliza la aplicación.

3.1.2. Menú *Configuración*

La única opción del menú *Configuración* es *Parámetros COM*, como lo muestra la figura 3.2. La opción permite modificar los parámetros de la conexión RS232, mediante la caja de diálogo que se muestra en la figura 3.3.

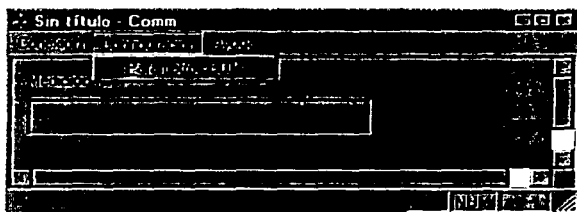


Figura 3.2. Menú *Configuración*.

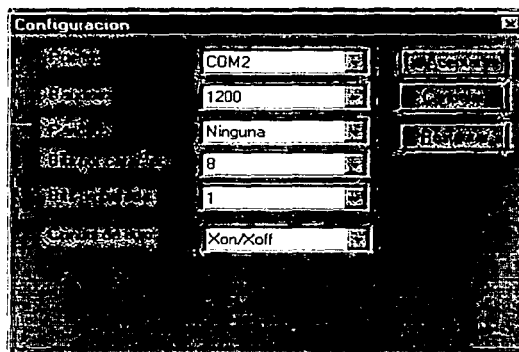


Figura 3.3. Caja de dialogo para configurar los parámetros transmisión.

3.1.3. Menú *Ayuda*

El menú se muestra en la figura 3.4 y proporciona una breve información del programa y numero de versión.



Figura 3.4. Menú *Ayuda*.

3.1.4. Ventana *Medición*

Como se observa en la figura 3.5 en la ventana *Medición* se exhibe la lectura de la medición en μm que el instrumento realiza.

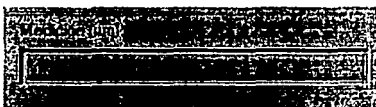


Figura 3.5. Ventana *Medición*.

3.1.5. Procedimiento para operar el instrumento

La operación del instrumento es bastante sencilla. A continuación se muestran los pasos a seguir para la obtención de lecturas de las mediciones realizadas con nuestro instrumento.

- Conectar el instrumento al puerto serie RS232 de la PC.
- Energizar el instrumento de medición.
- Ejecutar la aplicación *Comm*.
- Establecer los parámetros del puerto serial (menú *Configuración* \Rightarrow *Parámetros COM*) o aceptar los parámetros por omisión.
- Establecer la comunicación entre la PC y el instrumento de medición (Menú *Conexión* \Rightarrow *Establecer*).
- Esperar a que aparezca la lectura en la ventana *Medición*.
- Las lecturas se renuevan cada segundo, aproximadamente.

Como se observa solo son 7 sencillos pasos a seguir para obtener las lecturas de la medición en el monitor de la PC.

3.2. Descripción de la programación.

El programa en la PC le da un aspecto de operabilidad al instrumento; debe ser una interfaz fácil de utilizar y de aspecto amigable con el usuario. El programa realiza tareas muy sencillas ya que la computadora sólo tiene que leer el dato, ajustarlo con un algoritmo sencillo a la curva de calibración y mostrarlo en pantalla.

El programa en la computadora está hecho en Visual C++6 utilizando programación orientada a objetos (OOP) y la MFC&T que combina la biblioteca MFC (Microsoft Foundation Class) con la biblioteca ATL (Active Template Library) de esta forma el desarrollo de las aplicaciones se hace más fácil [2].

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

- Objetos como ventanas, cajas de diálogo, botones de pulsación, objetos GDI (Graphic Device Interface).
- Interfaz de documento sencillo.
- Conversión y manejo de cadenas de caracteres y arreglos [2].
- Manejo de datos por el puerto serie [1].

3.2.1. Descripción del proyecto

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

Archivos cpp

CommDoc.cpp. Contiene la implementación de las clases CCommDoc para el manejo de datos en el esquema documento-vista.

CommView.cpp. Contiene la implementación de las clases CCommView para visualizar el documento.

Comm.cpp. Contiene la implementación de la clase CCommApp para la aplicación principal.

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 caja de diálogo en la transmisión serie.

Archivos h

CommDoc.h. Contiene la declaración de la clase CcommDoc.

CommView.h. Contiene la declaración de la clase CCommView.

Comm.h. Contiene la declaración de la clase CCommApp.
 MainFrm.h. Contiene la declaración de la clase CMainFrame.
 Stdafx.h. Contiene la declaración para la compilación.
 ParamCom.h. Contiene la declaración de la clase CParamCom.
 Resourse.h. Contiene declaraciones y constantes.
 CommDoc.ico. Icono relacionado con el documento.
 Comm.ico. Icono relacionado con la aplicación.

Otros Archivos.

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

3.2.2. Descripción de las clases

A continuación se muestran las clases con las que cuenta el programa así como las funciones y variables de cada clase. Con esto se tendrá una idea de cómo funciona la aplicación.

La figura 3.6 muestra las clases que conforman la aplicación

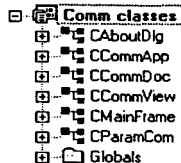


Figura 3.6. Clases de la aplicación *Comm*.

El programa principal cuenta con 6 clases, cada una desempeña una tarea específica. En conjunto las clases desempeñan las tareas que van desde construir y mostrar la ventana en la pantalla del monitor, mostrar los menús, barra de estado, hasta la tarea de aplicación principal del instrumento.

Clase CAboutDlg

La figura 3.7 muestra la clase CAboutDlg.



Figura 3.7. Clase CAboutDlg.

Esta clase es creada por el asistente de Visual C++ siempre que se crea una aplicación.

`CAboutDlg::CAboutDlg() : CDialog(CAboutDlg::IDD)`. Constructor por omisión.

`void CAboutDlg::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)`. Permite el intercambio de información entre clases.

Clase CCommApp

La figura 3.8 muestra la clase CCommApp.

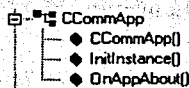


Figura 3.8. Clase CCommApp.

La clase CommApp es creada por el asistente de Visual C++ y contiene información de la aplicación.

`CCommApp::CCommApp()`. Constructor. No cuenta con código alguno.

`BOOL CCommApp::InitInstance()`. La función `InitInstance` solo se ejecuta una vez al comenzar la aplicación, y carga archivos necesarios para iniciarla.

`void CCommApp::OnAppAbout()`. Procesa el evento para desplegar la caja de diálogo *Acerca de...*

Clase CCommDoc

La figura 3.9 muestra la clase CCommDoc.

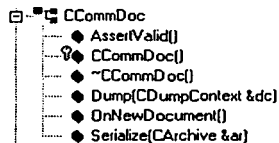


Figura 3.9. CCommDoc.

La clase de documento es una de las clases más importantes de la aplicación entera. Esta clase también es creada por el asistente de Visual C++. Contiene información de las variables importantes de la aplicación y una de las funciones que tiene que desempeñar es la de serialización la cual consiste en guardar y/o leer los datos a archivos cuando es necesario.

`void CCommDoc::AssertValid()`. Insertada por el ambiente con fines de depuración.

`CCommDoc::CCommDoc()`. Constructor, carga valores iniciales para un nuevo documento.

`CCommDoc::~~CCommDoc()`. Destructor, no cuenta con código alguno.

`void CCommDoc::Dump(CDumpContext& dc)`. Insertada por el ambiente con fines de depuración.

`BOOL CCommDoc::OnNewDocument()`. Crea un nuevo documento.

`void CCommDoc::Serialize(CArchive& ar)`. Realiza la serialización (lectura y escritura en archivo).

Clase CComView

La Clase CComView se muestra en la figura 3.10.

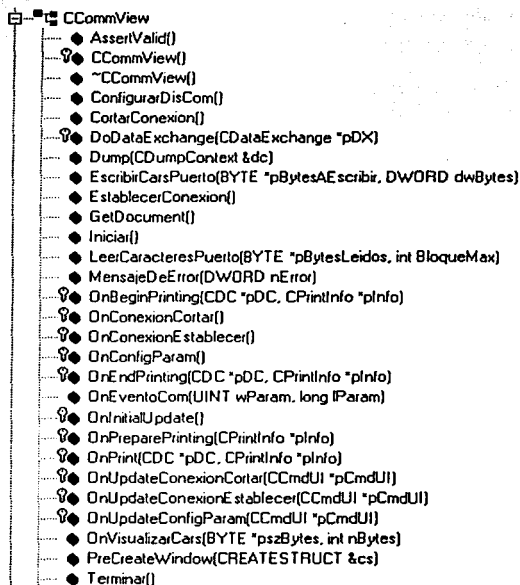


Figura 3.10. Clase CCommView.

Esta clase también es creada por el asistente de Visual C++ y al igual que la clase documento es de gran importancia en la aplicación. En esta clase se programa la forma de mostrar los datos de la clase de documento. Aquí también se programa la edición de los datos, en nuestro caso, esta clase contiene casi todo el código de la aplicación. CCommView también controla el puerto serie RS232 y la vista, por esta razón contiene la mayor parte del código del programa. Hay que recordar que la aplicación solamente recibe datos a través del puerto serie y muestra las lecturas en pantalla.

`void CCommView::AssertValid()`. Insertada por el ambiente con fines de depuración.

`CCommView::CCommView()`. Constructor. Inicia variables.

`CCommView::~~CCommView()`. Corta la conexión serie si esta activa.

BOOL CCommView::ConfigurarDisCom(). Prepara el entorno para la configuración de las comunicaciones.

BOOL CCommView::CortarConexion(). Permite finalizar la transmisión serie, cerrando el puerto de comunicaciones.

void CCommView::DoDataExchange(CDataExchange* pDX). Permite el intercambio de información con otras clases.

void CCommView::Dump(CDumpContext& dc). Insertada por el ambiente con fines de depuración.

BOOL CCommView::EscribirCarsPuerto(BYTE *pBytesAEscribir, DWORD dwBytes). Escribe un byte en la cola de salida del puerto de comunicaciones.

BOOL CCommView::EstablecerConexion(). Establece la conexión serie, abriendo le puerto de comunicaciones.

CCommDoc* CCommView::GetDocument(). Permite compartir información con otras clases.

void CCommView::Iniciar(); Lee del registro de Windows con la configuración inicial.

int CCommView::LeerCaracteresPuerto(BYTE *pBytesLeidos, int BloqueMax). Lee un byte de la cola de entrada del puerto de comunicaciones.

void CCommView::MensajeDeError(DWORD nError). Convierte un código de error en el mensaje correspondiente.

void CCommView::OnBeginPrinting(CDC*, CPrintInfo*). Prepara la impresión por omisión.

void CCommView::OnConexionCortar(). Procesa el evento generado por la opción del menú *Cortar*.

void CCommView::OnConexionEstablecer(). Procesa el evento generado por la opción del menú *Establecer*.

void CCommView::OnConfigParam(). Procesa el evento generado por la opción del menú *Parametros COM*.

void CCommView::OnEndPrinting(CDC*, CPrintInfo*). Prepara la impresión por omisión.

long CCommView::OnEventoCom(UINT wParam, long lParam)
 Despacha los eventos que se producen en el puerto serie.

void CCommView::OnInitialUpdate(). Procesa el evento que se genera al inicio de la aplicación.

BOOL CCommView::OnPreparePrinting(CPrintInfo* pInfo). Prepara la impresión por omisión.

void CCommView::OnPrint(CDC* pDC, CPrintInfo*); establece las formas de impresión por omisión.

void CCommView::OnUpdateConexionCortar(CCmdUI* pCmdUI).
 Habilita o deshabilita la opción *Cortar*.

void CCommView::OnUpdateConexionEstablecer(CCmdUI* pCmdUI).
 Habilita o deshabilita la opción *Establecer*.

void CCommView::OnUpdateConfigParam(CCmdUI* pCmdUI). Habilita o deshabilita la opción *Parametros COM*.

void CCommView::OnVisualizarCars(BYTE *pszBytes, int nBytes).
 Visualiza los datos en la caja de texto correspondiente. Realiza el ajuste a la curva de calibración.

BOOL CCommView::PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs). Llama a su metodo pariente.

void CCommView::Terminar(). Guarda en el registro de windows la configuracion actual del dispositivo de comunicaciones cuando se corta la comunicación.

Clase CMainFrame

La figura 3.11 muestra la clase CMainFrame.

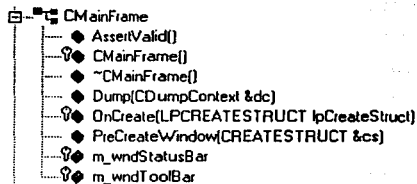


Figura 3.11. Clase CMainFrame.



La clase `CMainFrame` se encarga de construir y dar la vista a la ventana principal, esta clase es creada por el asistente de Visual C++.

`void CMainFrame::AssertValid()`. Insertada por el ambiente con fines de depuración.

`CMainFrame()`. Constructor no cuenta con código alguno.

`~CMainFrame()`. Destructor no cuenta con código alguno.

`void CMainFrame::Dump(CDumpContext& dc)`. Insertada por el ambiente con fines de depuración.

`int CMainFrame::OnCreate(LPCREATESTRUCT lpCreateStruct)`. Crea características de la ventana padre, como el tamaño de la ventana, los indicadores de la barra de estado, etc.

`BOOL CMainFrame::PreCreateWindow(CREATESTRUCT& cs)`. Crea a la ventana padre y a algunas de sus características.

Clase `CParamComm`

La figura 3.12 muestra la clase `CParamCom`.

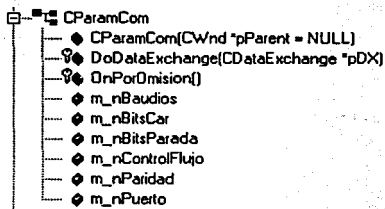


Figura 3.12. Clase `CParamComm`.

La clase `CParamCom` se encarga de administrar la caja de diálogo que se utiliza en la aplicación para modificar los parámetros del puerto serie.

`CParamCom::CParamCom(CWnd* pParent)`. Constructor estándar, asignación de valores a variables miembro.

`void CParamCom::DoDataExchange(CDataExchange* pDX)`. Permite el intercambio de información con otras clases.

`void CParamCom::OnPorOmission()`; Proporciona los parámetros por omisión de la transmisión serie.

Capítulo 4

Resultados y conclusiones

En este capítulo se describe el desempeño que tiene el instrumento, la manera en que fue calibrado así como la obtención de los valores de ajuste de las curvas de calibración realizada en el Laboratorio de Metrología del Centro de Instrumentos de la UNAM, el cual cuenta con la infraestructura y acreditación oficial ante SECOFI.

4.1. Calibración

La calibración del instrumento se llevó a cabo realizando un esquema de generación de desplazamiento. Las lecturas obtenidas del instrumento de medición fueron analizadas contra un patrón de desplazamiento. En el laboratorio es más sencillo generar desplazamientos patrón que ángulos patrón. Por esta razón, los resultados reportados están sobre la base de la calibración lineal. No obstante y debido a la similitud entre transductores LVDT y RVDT, la calibración angular es en esencia la misma; sólo es necesario cambiar la constante de calibración en una relación bien conocida entre desplazamientos angulares y lineales. En éste caso, el fabricante de los transductores LVDT y RVDT, Federal, especifica la constante de transformación como $1\mu\text{m}=1\text{seg-arc}$.

El proceso de calibración se basa en los procedimientos internos del laboratorio de metrología, donde gracias a métodos controlados y estudiados se logra la disminución de las variables que generan incertidumbre en el proceso de calibración.

Protocolo de calibración

Tarea: Calibración de un instrumento para la medición de desplazamiento mediante intercomparación.

Instrumento a calibrar: Medidor de desplazamiento y ángulo con el NE5521. Alcance de medición $\pm 200\mu\text{m}$. Resolución $0.1\mu\text{m}$.

Instrumento patrón: Calibrador de comparadores marca Mitutoyo, modelo 521-105. No de serie 601015. Inv. UNAM 1152119. Alcance 5mm. División mínima 0.0002mm . Exactitud $\pm 0.2\mu\text{m}$.

Transductor: LVDT modelo: E-HE-1056. Serie: M1.

Procedimiento

El montaje del experimento se puede observar en la figura 4.1.

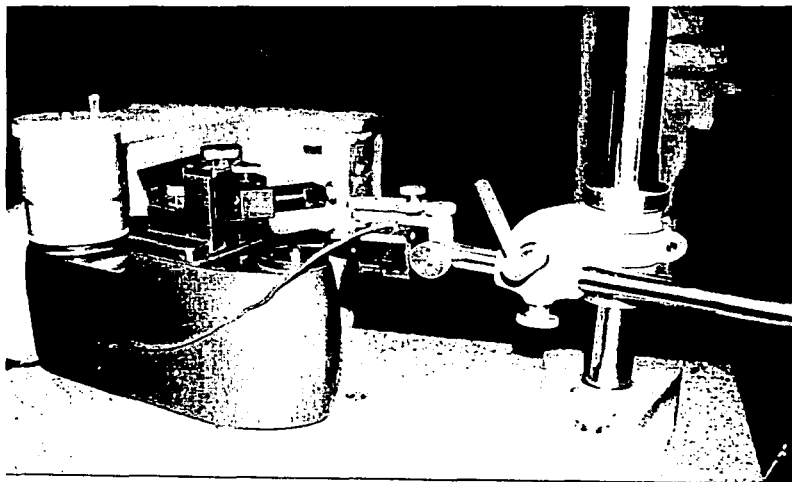


Figura 4.1. Calibración lineal.

La figura 4.2 muestra un detalle del contacto mecánico entre el palpador del LVDT y la platina del calibrador de comparadores.

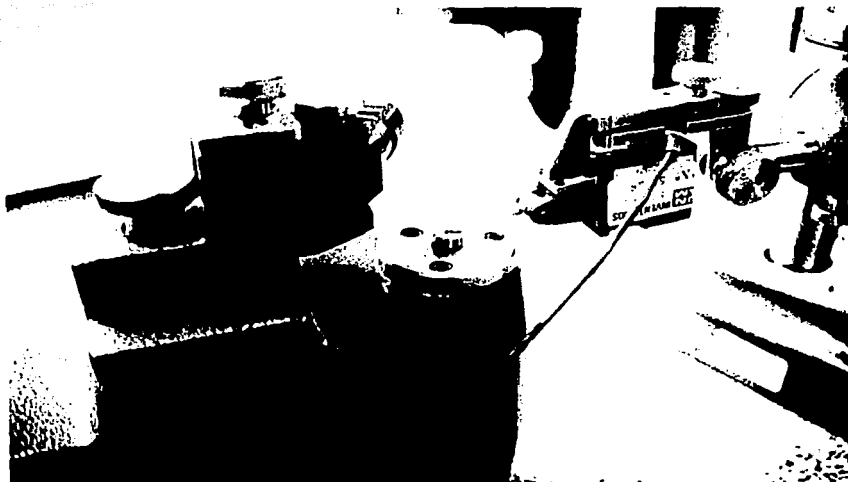


Figura 4.2. Calibración lineal (detalle).

El transductor se sujeta en una base rígida y el palpador hace contacto directamente con la platina del calibrador de comparadores. Se conectan las terminales del transductor al circuito acondicionador de señal. Posteriormente se inicia la aplicación del instrumento en la PC. Una vez funcionando se pueden obtener las lecturas del instrumento que varían al girar el tornillo del calibrador.

El procedimiento es el siguiente:

1. Se gira el tornillo de manera que se genere un desplazamiento adecuado para el alcance de medición del instrumento a calibrar.
2. Se anotan las mediciones en μm registradas por el instrumento patrón y en voltaje por el instrumento a calibrar.
3. Se repite el paso 1 de manera que se cubra el alcance de medición del instrumento a calibrar.

Las lecturas tomadas se muestran en la tabla 4.1 y su respectiva curva de calibración en la figura 4.3.

Valor nominal (μm)	Voltaje (V)
-250	-3.53
-240	-3.52
-230	-3.51
-220	-3.49
-210	-3.46
-200	-3.42
-190	-3.36
-180	-3.28
-170	-3.19
-160	-3.09
-150	-3
-140	-2.89
-120	-2.74
-100	-2.2
-50	-1.1
0	0
50	1.14
100	2.2
110	2.7
120	2.9
130	3.1
140	3.19
150	3.4
160	3.55
170	3.6
180	3.6

Tabla 4.1. Datos de la calibración lineal (sin ajuste en ganancia).

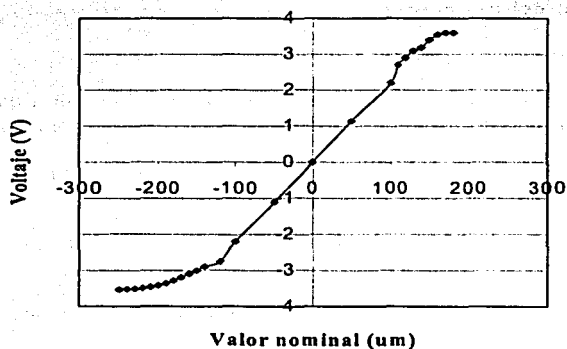


Figura 4.3. Curva de calibración (sin ajuste en ganancia).

Como se puede observar en la gráfica 4.1. el instrumento se comporta de manera no lineal al acercarse a los $\pm 200\mu\text{m}$, esto se corrigió al ajustar la ganancia del circuito acondicionador de señal.

Cabe aclarar que el rango en el que el transductor LVDT responde de manera lineal es de $-200\mu\text{m}$ a $+200\mu\text{m}$, aunque también presenta una región no lineal cercana al cero, pero es tan pequeña que no afecta en nuestro caso debido a la resolución de nuestro instrumento.

Al ajustar la ganancia de los amplificadores en el acondicionador de señal de manera empírica se obtuvieron los resultados mostrados en la tabla 4.2 y su respectiva curva de calibración en la figura 4.4.

Posición (μm)	Voltaje (V)
-200	-2.06
-190	-1.97
-180	-1.86
-170	-1.76
-160	-1.66
-150	-1.55
-140	-1.45
-120	-1.25
-100	-1.04
-50	-0.52
0	0
50	0.52
100	1
110	1.15
120	1.25
130	1.36
140	1.47
150	1.57
160	1.67
170	1.78
180	1.88
190	1.99
200	2.09

Tabla 4.2. Datos de la calibración lineal (con ajuste en ganancia).

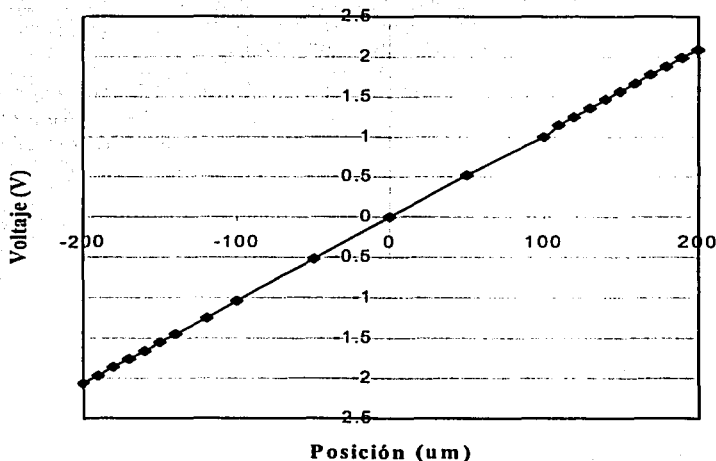


Figura 4.4. Curva de calibración (con ajuste en ganancia).

Al analizar su correspondiente gráfica (Figura 4.4.) se puede observar que presenta una pendiente para valores positivos y otra pendiente diferente para valores negativos, por lo que se requieren de dos constantes de calibración para linealizar la curva.

Para ajustar las lecturas obtenidas por nuestro instrumento a los datos del calibrador, se emplearon métodos estadísticos de regresión lineal [4, 10].

Cuando se tiene una variable dependiente que no se controla en el experimento pero que es dependiente de una variable independiente o de regresión, se puede obtener una ecuación de predicción llamada ecuación de regresión.

El termino regresión lineal implica que y esta linealmente relacionado con x por la ecuación de regresión lineal. Si a y b representan las estimaciones a partir de los datos muestrales, entonces se tiene que:

$$\hat{y}=a+bx \quad (4.1)$$

Donde las estimaciones a y b representan la intersección y pendiente de y respectivamente. El símbolo \bar{y} se utiliza para distinguir entre el valor estimado que da la línea de regresión muestral y un valor experimental real observado para algún valor de x .

Para obtener los valores de a y b se utilizó el método de "mínimos cuadrados" de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$b = \frac{n \sum_{i=1}^n x_i y_i - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right) \left(\sum_{i=1}^n y_i \right)}{n \sum_{i=1}^n x_i^2 - \left(\sum_{i=1}^n x_i \right)^2} \quad (4.2)$$

$$a = \frac{\sum_{i=1}^n y_i - b \sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (4.3)$$

Trabajando con los datos de la tabla 4.2. se obtuvieron los siguientes valores para la constante de calibración:

Para valores positivos $m_1 = 0.28169014$

Para valores negativos $m_2 = 0.37037037$

Los valores obtenidos después de aplicar la constante de calibración y su correspondiente gráfica se puede observar en la tabla 4.3 y su gráfica correspondiente en la figura 4.5.

Posición real (μm)	Lectura (μm)
-200	-200.8
-180	-180.9
-160	-160.5
-140	-140.6
-120	-120.5
-100	-100.4
-90	-90.5
-80	-80.8
-70	-70.8
-60	-60.7
-50	-50.8
-40	-40.8
-30	-30.6
-20	-20.1
-10	-10.2
0	0
10	10.6
20	21
30	31.4
40	41.9
50	51.7
60	62
70	72.2
80	82.2
90	92.6
100	102.9
120	123.1
140	143.3
160	163.7
180	183.9
200	201.6

Tabla 4.3. Datos de la calibración lineal.

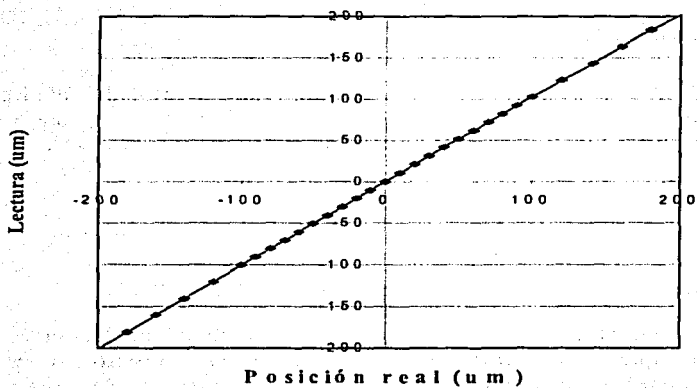


Figura 4.5. Curva de calibración lineal.

Finalmente, la figura 4.6 muestra la curva de error.

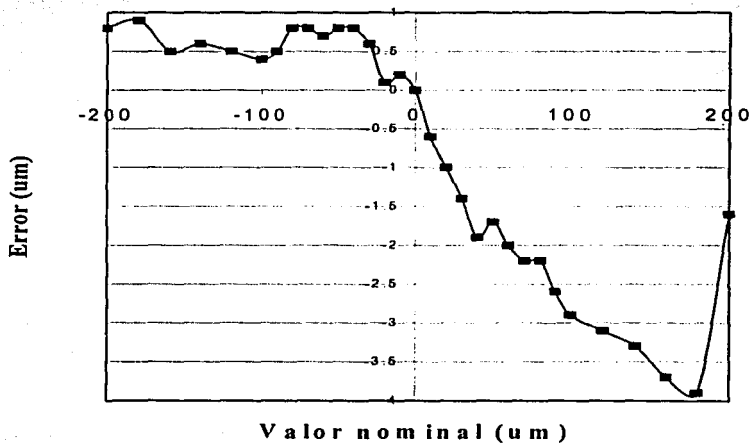


Figura 4.6. Curva de error.

4.2. Resultados

El resultado fue el desarrollo de un instrumento de medición de desplazamiento lineal y angular, usando dispositivos analógicos y digitales con interfaz para una PC. Con las siguientes características:

- Alcance de medición = $\pm 200\mu\text{m}$
- Resolución = $0.1\mu\text{m}$
- Exactitud = ± 2 dígitos
- Porcentaje de variación a escala completa = 0.1%

Una vez realizada la calibración el instrumento de medición arrojó los resultados que se muestran en la figura 4.6 y las siguientes desviaciones del cero absoluto en el recorrido constante del instrumento patrón.

- Cero de subida = $1.3\mu\text{m}$
- Cero de bajada = $1.2\mu\text{m}$

El instrumento implementado en tableta de laboratorio se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7. Acondicionador de señal usando el NE5521.

La figura 4.8 muestra el acondicionador de señal y la tarjeta de desarrollo MC68HC11EVM.

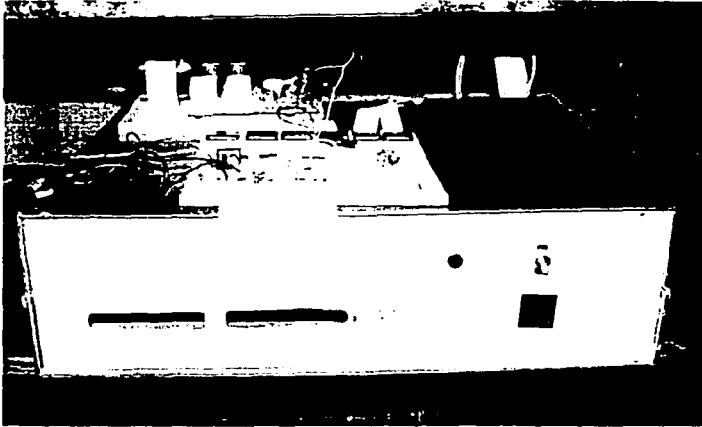


Figura 4.8. Sistema completo para la medición de desplazamiento y ángulo.

La figura 4.9 muestra la interfase de usuario en el desempeño de mediciones de desplazamiento.



Figura 4.9. Interfase de usuario.

4.3. Conclusiones.

El objetivo de este proyecto era desarrollar un instrumento digital que sirviera para la medición de ángulo (con alcance de ± 1000 s y división mínima 0.1s) y desplazamiento (con un alcance de $\pm 200\mu\text{m}$ y división mínima $0.1\mu\text{m}$).

Podemos comparar el desempeño de este instrumento con otros con los que cuenta el laboratorio del centro de instrumentos, en la tabla comparativa 4.4.

Instrumento	Alcance	Resolución	% de variación a escala completa
Medidor de desplazamiento	± 200 s/ μm	0.1 s/ μm	0.1 %
Amplificador digital Federal	± 1000 s/ μm ± 200 s/ μm	1 s/ μm 0.1 s/ μm	0.1 %
Sistema de medición Láser	15 m \pm 36000s	0.01 μm , 0.1 s	0.1 %

Tabla 4.4. Tabla comparativa.

Donde podemos observar que el sistema de medición Láser es el mejor instrumento de medición, pero presenta el inconveniente de ser un equipo muy costoso de operar.

El amplificador Federal presenta dos rangos (de 1000 y de 200 s/ μm), en el rango de 200 s/ μm presenta las mismas características que el instrumento que se desarrollo como proyecto de tesis, sin embargo este instrumento presenta la ventaja de contar con una interfaz y software para una PC, aspecto que no tiene el amplificador Federal.

A este proyecto se le pueden hacer mejoras adicionales; modificando el software se pueden manipular los datos para crear tablas y gráficas, o se puede crear una opción de autodiagnóstico para saber si el instrumento esta trabajando adecuadamente.

Podemos concluir entonces, que al desarrollar este instrumento de medición, no se busco competir con los instrumentos de medición comerciales, sino demostrar que en México se cuentan con los recursos

humanos capaces de desarrollar tecnología con la misma calidad que las compañías internacionales.

Por otro lado, hablar de los costos de producir dicha tecnología resulta entrar en una polémica difícil de resolver, pues en ocasiones resulta más económico importar la tecnología, que crearla aquí, el no depender de la tecnología extranjera en un mundo globalizado resulta cada vez más difícil.

Anexo

El presente anexo contiene el diagrama general de conexiones.

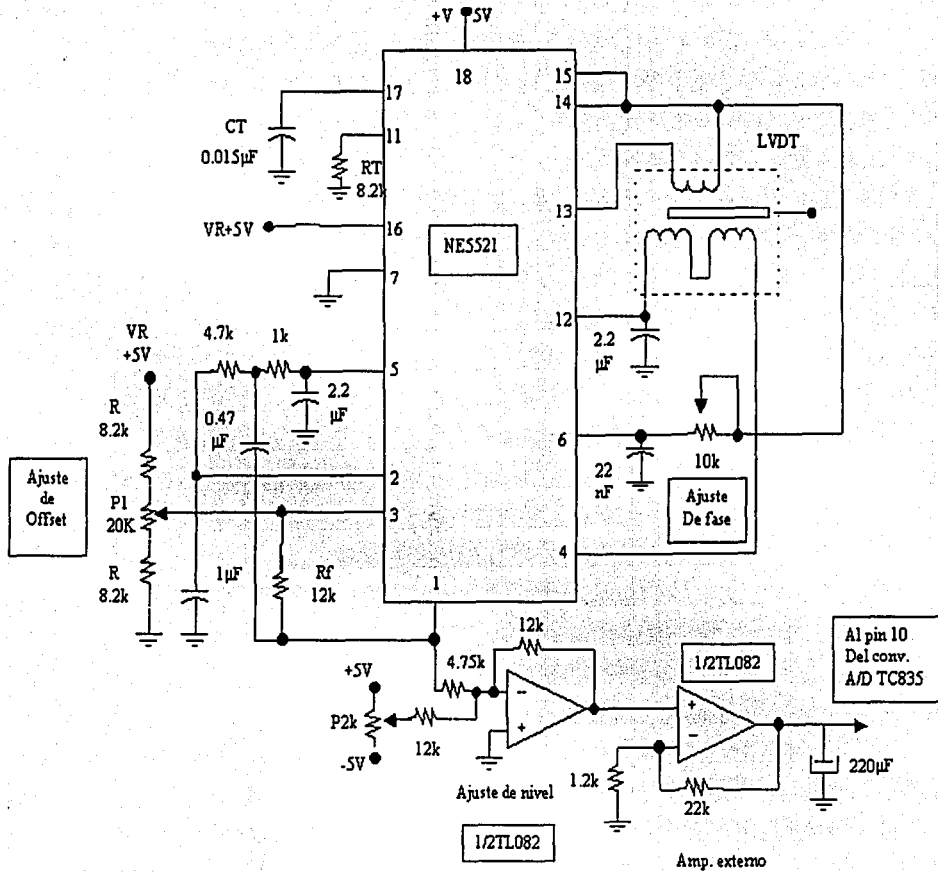


Figura A.1. Diagrama electrónico.

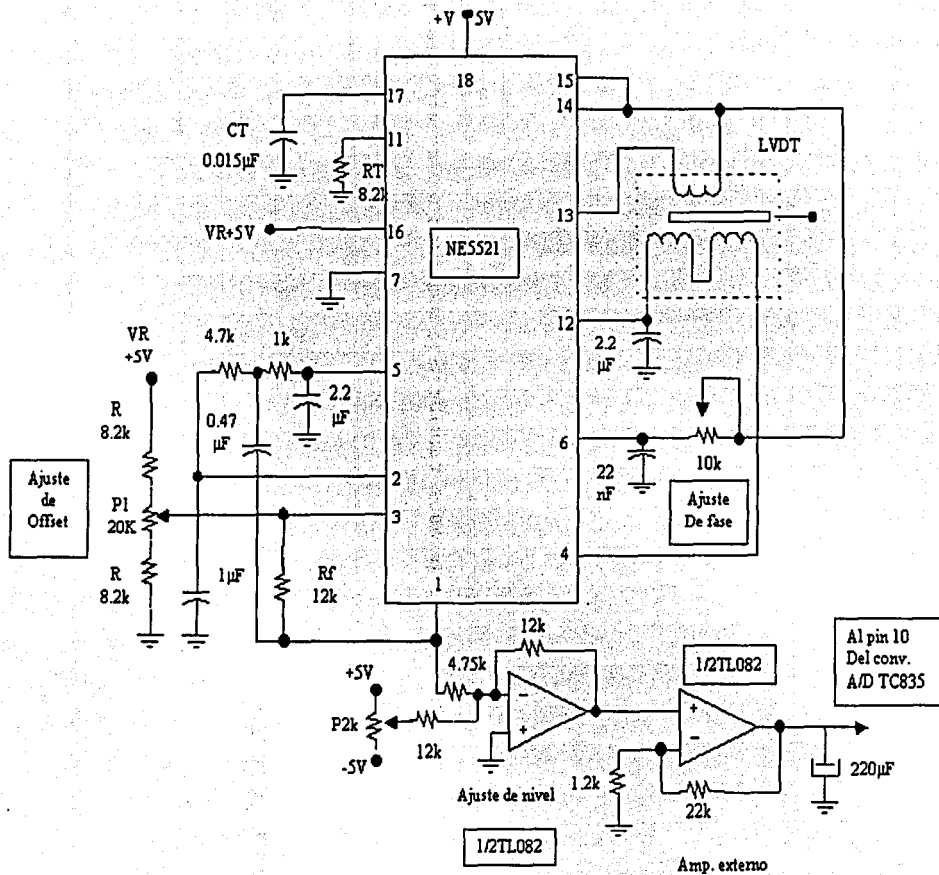


Figura A.1. Diagrama electrónico.

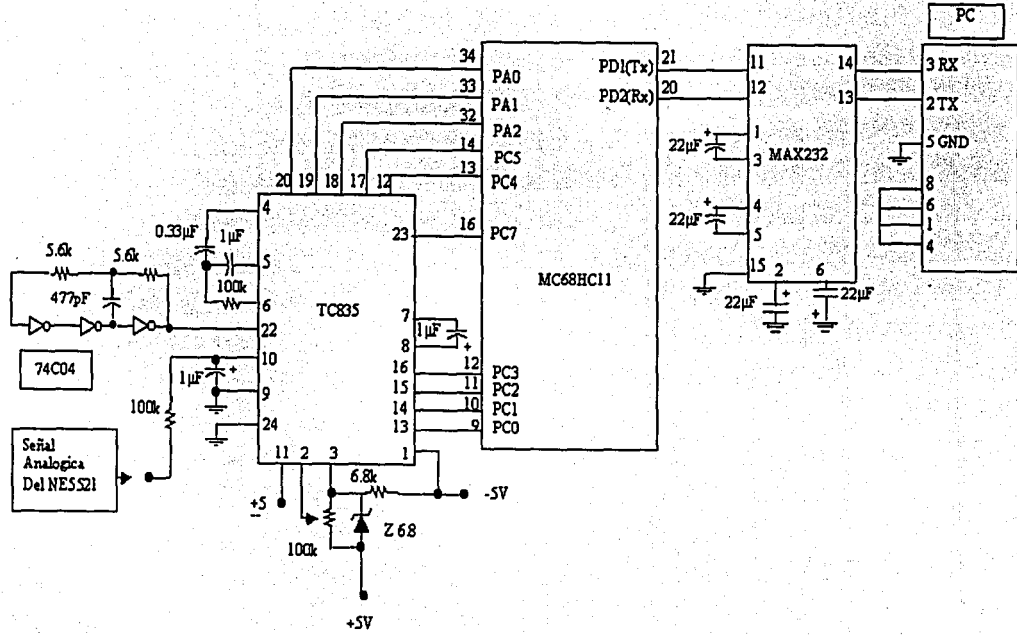


Figura A.2. Diagrama electrónico (continuación).

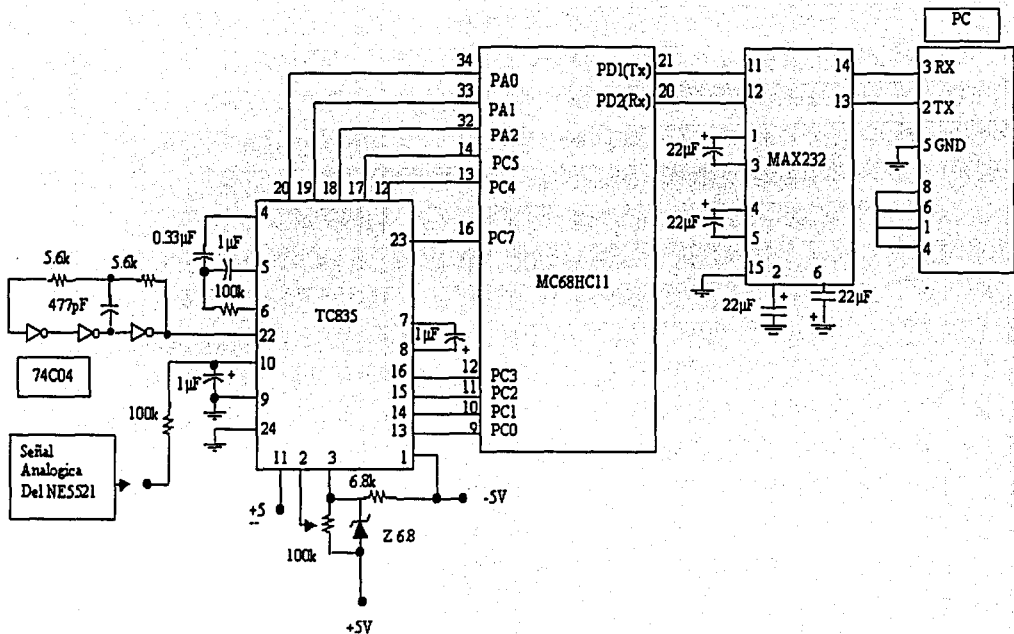


Figura A.2. Diagrama electrónico (continuación).

Bibliografía

- [1]. Campbell J., El libro del RS232, Ed. Anaya Multimedia.
- [2]. Ceballos F.J., Microsoft C++6 Programación Avanzada en Win 32, Ed. Alfaomega ra-ma.
- [3]. Coughlin R.F. Driscoll F.F., Circuitos integrados lineales y amplificadores operacionales, Ed. Prentice Hall.
- [4]. Holman J.P. Métodos experimentales para ingenieros, Ed. Mc Graw Hill.
- [5]. Motorola, Manual de referencia MC68HC11, Motorola.
- [6]. Pallas A.R., Sensores y acondicionadores de señal, Ed. Marcombo.
- [7]. Sección de Metrología, Curso básico de metrología dimensional, Centro de instrumentos, UNAM.
- [8]. Stanley W. Smith R., Guía para mediciones electrónicas y practicas de laboratorio, Ed. Prentice Hall.
- [9]. Telcom, TC835 Personal computer data acquisition A/D converter, Telcom semiconductor inc.
- [10]. Walpole R.E. Myers R.H., Probabilidad y estadística, Ed. Mc Graw Hill.

- [11]. Zahid Rahim, Using the NE5521 signal conditioner in multifaceted applications, Application note, Philips Semiconductors, december 1988.