



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES

AHAGÓN

DIRECCION

JOSE ANTONIO SERNA HERNANDEZ
P R E S E N T E .

En contestación a su solicitud de fecha 12 de agosto del año en curso, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. - JUAN GASTALDI PEREZ, pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "DISEÑO DE UN SISTEMA ELECTRONICO DE MEDICION DE LONGITUDES SIN CONTACTO", con fundamento en el punto 6 y siguientes del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

San Juan de Aragón, Edo. de Méx., Septiembre 8, 1953.

EL DIRECTOR

M. en I. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO



- C.c.p. Lic. Alberto Ibarra Rosas.- Jefe de la Unidad Académica.
- c.c.p. Ing. Federique Jauregui Renaud.- Jefe de Carrera de Ingeniería Mecánica Eléctrica.
- c.c.p. Ing. Juan Gastaldi Pérez.- Director de Tesis.

CCHC*AIR*eom.



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 está 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

DEDICATORIAS Y AGRADECIMIENTOS.

- A mis padres Juanita y Mario a quienes quiero mucho y debo todo su apoyo, ayuda y su gran ejemplo de cariño y dedicación en el trabajo.

 - A mi novia Nora con todo mi amor

 - Agradezco a mis hermanos Mario, Beatriz, Emilio y Alejandra por su ayuda durante todos mis estudios y el presente trabajo.

 - Agradezco a mis sinodales y maestros
 - Ing. Silvia Vega Muytoy
 - Ing. Juan Gastaldi Pérez
 - Ing. Benito Zufiga Villegas
 - Ing. Julio Bernal Vazquez
 - Ing. Fortunato Cerecedo Hernández
- por sus enseñanzas, conocimientos y sus valiosas indicaciones hechas para el presente trabajo.

INDICE

	PG
INTRODUCCION	i
I. JUSTIFICACION DEL PROYECTO	1
II. EL CONTROL DE LA CALIDAD Y LA MEDICION	5
III. CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDICION	12
3.1 Conceptos generales.	12
3.2 Calibración.	14
3.3 Errores.	14
3.3.1 Clasificación de los errores.	15
3.3.2 Causas y tipos de errores.	15
a). El principio de alineación.	17
b). Situación de la pieza medida.	19
c). Temperatura.	22
d). Efecto de paralaje.	23
3.4 El sistema generalizado de medidas.	24
3.5 Medición electrónica de longitudes.	25
3.6 Métodos sensores de desplazamiento, posición y movimiento.	25
3.6.1 Transductores de desplazamiento capacitivos.	26
3.6.2 Transductores de desplazamiento inductivos.	28
3.6.3 Transductores de desplazamiento por reluctancia.	30
3.6.4 Transductores de desplazamiento potenciométrico.	30
3.6.5 Transductores de desplazamiento por galgas extensométricas.	32
3.6.6 Transductores de desplazamiento de hilo vibrante.	32
3.6.7 Dispositivo radar y sonar, sensores de distancia.	33
3.6.8 Transductores de desplazamiento electroópticos.	33
a). Método de Ocultación.	34
b). Método de Triangulación.	35
c). Método de Interferometría.	36
3.7. Codificadores lineales y angulares.	40
A). Método de escobillas.	40
B). Método óptico.	41
C). Método magnético.	41
3.8. Interruptores sensores de posición.	43
A). Interruptor electromecánico.	43
B). Interruptor de efecto Hall.	44
C). Interruptor por remolino de corriente.	44
D). Sensores de posición fotoeléctricos.	45
3.9. Características de diseño y prestaciones del sistema de medición.	48

IV. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA ELECTRONICO DE MEDICION DE LONGITUDES.....	53
4.1. Definición de un caso.	53
4.2. Algoritmo de funcionamiento.	55
4.3. Diagrama de los elementos del sistema.	58
V. EL CONTROLADOR ELECTRONICO DEL SISTEMA AUTOMATICO.....	59
5.1. Relé de control.	63
5.2. Elementos de un P.L.C. (Controlador Lógico Programable).	63
5.3. Funcionamiento de un P.L.C.	64
5.4. Diagrama de Flujo de la secuencia a programar.	64
5.5. Cuadro de entradas y salidas (en el caso definido).	66
5.6. Diagrama de escalera de la secuencia a programar.	67
5.7. Especificaciones del P.L.C. adecuado para el sistema del diseño.	68
VI. SISTEMA SENSOR Y ACTUADOR.....	71
6.1. Sistema sensor a utilizar.	71
6.2. Sensores electroópticos de proximidad.	72
6.2.1 Especificaciones de los sensores ópticos a utilizar.	79
6.3. Sensores de desplazamiento.	81
6.3.1. Sistema de potenciómetro.	81
6.3.2. Sistema óptico.	82
6.3.3. Sistema magnético.	83
6.3.4. Especificaciones del sensor de desplazamiento a utilizar.	84
6.4. Sistema Actuador.	86
6.5. DIAGRAMA DEL SISTEMA INTEGRADO.	89
CONCLUSION.....	90
BIBLIOGRAFIA.....	93

INTRODUCCION

El presente trabajo surgió de mi inquietud por encontrar una forma óptima de realizar el trabajo de medición en la inspección realizada durante el proceso de fabricación de cuerpos de abrasivo aglomerado. Por la naturaleza y propiedades del material abrasivo aglomerado en crudo y cocido, resulta un poco difícil manipularlo y medir sus dimensiones sin ocasionar desperfectos ya sea al cuerpo mismo, al instrumento de medición o al operario que realiza la medición. En el capítulo I, expongo más a detalle algunos de los problemas que pueden encontrar solución al aplicar métodos electrónicos y de control al proceso de medición de éste tipo de material.

Medir, es una de las principales actividades que se realizan en un proceso de inspección para controlar la calidad del producto. Hablar de calidad es hablar de un producto idéntico no importando fecha de producción, se requiere repetibilidad en el proceso empezando en su sistema de información y monitoreo que mide los parámetros de control ya que si su sistema de medición no es confiable, tampoco lo será el proceso productivo. Esta afirmación se analiza más a detalle en el capítulo II.

Todo sistema de medición debe tener una arquitectura ya reconocida y analizada por la metrología, a ésta la recordaré en el capítulo III. También en este capítulo empiezo a introducir todos los elementos que podrían formar el sistema electrónico de medición de longitudes sin contacto, expongo las características más importantes de éstos

elementos y los métodos ya conocidos de medición en los que pueden aplicarse para el objetivo de éste trabajo.

El proyecto propuesto en éste trabajo posee una estructura específica de funcionamiento que expondré a detalle en el capítulo IV. Para éste fin en el citado capítulo ya empiezo a definir que características del cuerpo abrasivo a medir tomaré en cuenta para realizar el proceso. Cabe aclarar que éste proyecto puede ser adaptado para la medición de características dimensionales de otro tipo de cuerpos que no fueran abrasivos pero que requiera medición sin contacto, es por ello que se exponen los diferentes métodos y tipos de elementos constitutivos con que se puede implementar éste proyecto.

Una de las partes importantes del sistema lo constituye el controlador que supervisa y decide el desarrollo de la secuencia programada para la ejecución de la tarea específica del sistema, en el capítulo V explico la secuencia de control del proyecto, donde se ocupará la tecnología más actual y funcional modular creada comercialmente para realizar las tareas deseadas tales como los P.L.C. y equipos de análisis de información tales como los procesadores de datos que realizan los cálculos estadísticos necesarios y dan los datos deseados con sólo alimentar las mediciones.

Por último en el capítulo VI, detallaré el tipo y método del sistema sensor a utilizar considerando el tipo de material específico para el que fue pensado éste proyecto (ver capítulo I). Es precisamente ésta sección del sistema la que realiza el trabajo sin contacto.

Aun que no forma parte esencial del trabajo también se explica un poco del sistema actuador que pudiera utilizarse.

Para finalizar éste trabajo, expongo mis principales conclusiones aclarando que el objetivo principal del presente es exponer los diversos métodos y técnicas que la electrónica ofrece para poder realizar una medición de longitudes sin contacto y reducir algunos de los problemas que inducen errores en las mediciones con instrumentos y métodos convencionales de contacto.

CAPITULO I

JUSTIFICACION DEL PROYECTO

I. JUSTIFICACION DEL PROYECTO.

La inspección es una operación de Control de Calidad que requiere la comprobación de piezas, montajes o productos para que estén conformes a ciertos criterios generalmente especificados por la ingeniería de Diseño. La función de inspección es normalmente realizada para las materias primas de entrada, en las diversas etapas del proceso de producción y a la finalización de la fabricación antes de enviar el producto. En ocasiones la inspección se limita a la verificación del producto en relación a estándares de diseño no funcionales. Por ejemplo se inspeccionará un componente mecánico para verificar las dimensiones físicas (longitud o diámetro, etc.) que han sido establecidos por el ingeniero de diseño.

Este proyecto pretende ejemplificar cómo se puede utilizar la tecnología electrónica de detección (sensórica) y de control para realizar operaciones de inspección de dimensiones físicas y eliminar ó reducir los siguientes problemas que pueden presentarse en cualquier proceso de medición manual de dimensiones físicas y en forma específica en la inspección efectuada a material abrasivo:

- 1.- Evitar el error en una medición causado por el desgaste de los elementos palpadores de la instrumentación convencional de contacto utilizada en la inspección de materiales abrasivos.
- 2.- Evitar el daño para las piezas abrasivas en crudo, durante el proceso de producción, debido a la manipulación brusca y al contacto físico con los palpadores del instrumento de medición, disminuyendo así las pérdidas por mal manejo de la producción.

- 3.- Reducir el consumo de equipo de medición y el costo de la inspección dimensional.
- 4.- Evitar el error humano adicionado a una medición, en el momento de ejercer presiones distintas a los instrumentos de medición convencionales de operación manual, mejorando la repetibilidad del equipo de medición y la consistencia en las mediciones.
- 5.- Eliminar los errores que pueden presentarse por: paralaje, posición inadecuada, fricción con la pieza a medir, mal uso y abuso del instrumento de medición.
- 6.- Regular la repetibilidad del ciclo de trabajo con menor variación en el tiempo de operación y en la estructura del movimiento del sistema para aumentar la precisión de las mediciones.
- 7.- Disminuir el error de las lecturas ocasionado por hacer mediciones de la misma magnitud pero a diferentes velocidades de operación del instrumento de medición.

Algunos de los anteriores problemas encuentran solución al aplicar la electrónica de detección o sensorica para evitar el contacto en las operaciones de medición y otros al aplicar la electrónica de control para automatizar las operaciones necesarias y disminuir las inconsistencias adicionadas por la mano de obra humana.

La automatización puede reducir inconsistencias y errores en la fabricación, eliminando las capacidades sensoriales y toma de decisiones que el operador humano puede llevar al proceso de producción, de la misma forma la automatización puede reducir las inconsistencias y errores en las mediciones.

La electrónica se puede utilizar para efectuar la inspección o verificación para las dimensiones mecánicas y otras características físicas, o de función y operación del producto.

El proyecto consiste básicamente en un sistema electrónico de inspección automatizada que requiere mover un dispositivo sensor y de medición sobre la pieza o producto a medir. Mientras la precisión de la medida no requiera exceder a la repetibilidad del sistema, el método es viable.

El sistema manipulará los sensores para efectuar las pruebas electromecánicas necesarias para realizar comprobaciones dimensionales de las características importantes o críticas del producto.

En éste trabajo examinaremos éste proyecto y sugiero las posibles fuentes de mejora de Calidad que pueden resultar de la utilización de un sistema electrónico, como un apoyo para la mano de obra humana en operaciones de medición.

Los beneficios derivados de éste proyecto, incluyen consistencias en la manipulación y medición de las piezas, menor daño para las piezas frágiles debido a la manipulación brusca o al contacto pieza a pieza y menor daño al instrumento al aplicarlo para inspeccionar material abrasivo. Estos beneficios contribuyen a una mejora en el aseguramiento de la calidad del producto y a la reducción del costo de instrumental de medición debido a su desgaste prematuro.

Un beneficio más del proyecto, que mejora la calidad de la medición y su certificación es la regularidad de la repetibilidad del ciclo del sistema automático. Este será capaz de efectuar el ciclo de trabajo con menor variación en el tiempo de operación y en la

estructura del movimiento, lo que aumenta la precisión de sus mediciones.

El proceso de medición puede ser sintonizado de forma precisa para operar en condiciones óptimas y éstas condiciones contribuyen a una mejor calidad. Para éste proceso que requiere consistencia en la estructura del movimiento, los sistemas automáticos pueden efectuar esta tarea con mayor repetibilidad que los humanos.

Si las piezas presentadas al sistema son uniformes y la programación ha sido realizada adecuadamente, la calidad de medición resultante es generalmente más alta en promedio que cuando los trabajadores humanos realizan la operación. Esto asegura mayor confiabilidad en los resultados de medición y éstos a su vez mejora la confiabilidad de la inspección de materia prima, de los estudios potenciales, las gráficas de control del proceso y la certificación del producto terminado.

CAPITULO II

EL CONTROL DE LA CALIDAD Y LA MEDICION

II. EL CONTROL DE LA CALIDAD Y LA MEDICION.

"La meta de la industria competitiva, respecto a la Calidad del producto, se puede exponer claramente: proporcionar un producto o servicio en el cual su calidad haya sido diseñada, producida y conservada a un costo económico y que satisfaga por completo al consumidor. De ésta forma se define el "Control Total de la Calidad como un sistema efectivo de los esfuerzos de varios grupos en una organización para la integración del desarrollo del mantenimiento y de la superación de la Calidad con el fin de hacer posibles Mercadotecnia, Ingeniería, Fabricación y Servicio, a satisfacción Total del Consumidor y al nivel más económico".¹

El propósito de la mayoría de las medidas de calidad es el determinar y evaluar el grado o nivel al que el producto o servicio cumple con las especificaciones y requerimientos.

El concepto de medición establece una comparación cuantitativa entre dos magnitudes de la misma especie, una de las cuales está perfectamente definida y establecida.

El Control de Calidad define y establece a través de la Ingeniería de diseño las especificaciones y magnitudes del producto ó materia prima, desarrolla los procedimientos para lograr esas especificaciones y durante todo el proceso vigila el buen funcionamiento del proceso de producción, midiendo esas magnitudes para obtener la información necesaria para sus métodos del análisis del proceso y el producto.

Dentro del Sistema de Control de la Calidad, la Inspección tiene la misión esencial de determinar en cada fase de la fabricación, si ésta se está llevando a cabo correctamente, comprobando que se cumplen todas las condiciones exigidas en las especificaciones,

condiciones indispensables para que el producto terminado posea las características y calidad debidas previstas en el proyecto.

La Inspección interviene en la recepción de todas las materias primas y elementos manufacturados o semifabricados que han de emplearse en la fabricación, comprobando que se ajustan a las medidas y condiciones del pedido. Interviene también en cada una de las operaciones de fabricación de las piezas para determinar si la operación se ha efectuado de acuerdo con la pauta y con las especificaciones y medidas del dibujo. Interviene igualmente en las diversas fases del montaje y es esencial que antes de su envío al cliente, el producto sea sometido a todas las pruebas de recepción para poder comprobar que cumple todas las condiciones relativas a dimensionado, presentación, funcionamiento y que poseen la seguridad funcional mínima exigible.

"Un Departamento de Inspección debe contar con el material y los elementos de medición que considere necesarios y en su organización estarán previstos los procedimientos de inspección. El equipo de medición necesario en cada caso es muy variable, dependiendo de muchos factores, tales como volumen de las piezas a verificar, naturaleza de las especificaciones, precisión de las piezas mecanizadas, naturaleza de los calibres y elementos de medición, experiencia y práctica del personal, etc."²

La técnica de revisar la función del producto, sus dimensiones, su diseño y el proceso de fabricación, son la guía para determinar que clase de las características de calidad debe observarse.

- Esta técnica incluye considerar y decidir sobre los métodos a emplear para hacer las mediciones.

- Incluye también la determinación del punto en el flujo del proceso en el cual las mediciones deben ser tomadas.

- Incluye además, la decisión respecto al alcance de la medición, es decir, si se ha de medir cada uno de los artículos o una muestra tomada del flujo del producto.

- Establecer también el mecanismo para ejecutar las mediciones.

- En algunos casos, el único que hará las mediciones será el operador. En otros, el producto pasará por una estación de inspección, en la que se realizaran las mediciones; o bien, las mediciones serán ejecutadas por un equipo automático de control y los datos recibirán un proceso automático y serán usados para corregir o ajustar el proceso.

Las Especificaciones se usan generalmente para identificar un producto final por características susceptibles de medición.

Cuando se ha tomado una decisión sobre los métodos de medición, el paso siguiente es el desarrollo del equipo, el cual será diseñado, construido o comprado. Sus especificaciones tomarán en consideración el espacio que ocupe, la fuerza que requiera, su capacidad, exactitud, precisión y seguridad.

"El proceso de control y pruebas del producto final, actualmente requiere un equipo capaz de hacer mediciones de calidad con precisión. Las estimaciones en milésimas de pulgada de los micrómetros, que en algún tiempo se tomaron como exactas se han reemplazado por dispositivos ópticos que estiman, hasta el diezmillonésimo de pulgada. Esta medición dimensional, caracterizada anteriormente por calibradores de altura mecánicos operados manualmente, se está efectuando con mayor frecuencia por máquinas de mediciones dimensionales que están controladas automáticamente."³

Las mediciones durante los ciclos de fabricación, además de rápidas, deben ser precisas y a menudo habrán de verificarse automáticamente. Además es posible que éstas mediciones sean necesarias para el ajuste del procesamiento mismo. Muchas de las mediciones deben ser hechas por medio de pruebas no destructivas y evaluación de inspección y algunas deben efectuarse en una base sin contacto.

La inspección en sí debe incluir más de una revisión funcional para proporcionar la evaluación necesaria completa del producto requerida por los mercados actuales. Esta evaluación completa requiere por exactitud y sobre todo por precisión y economía, equipo que sea lo más automático posible.

Como mencione con anterioridad, el papel actual del control de la calidad, ya no es sólo aceptar o rechazar partes y productos, o separar lo bueno de lo malo, ahora se ve con claridad que el trabajo fundamental del equipo moderno de control de calidad no es sólomente ejecutar pruebas, sino suministrar información útil relativa a la calidad del producto y el proceso, esta información puede usarse en parte, como base para la aceptación o rechazo, pero su uso principal es la aplicación al informe, rápido y confiable manual o automático para el control del proceso de fabricación, así como para el verdadero control de la calidad del producto.

El rápido crecimiento de la tecnología moderna de manufactura y de las exigencias del mercado, en relación a tolerancias de especificaciones de partes, han sido factores principales para ocasionar la necesidad de esta mejoría en la efectividad y operación del equipo de calidad.

Los equipos de inspección y de pruebas diseñados para suministrar información de la calidad, son en general de un costo total inferior y de diseños menos complicados en su parte operativa de lo que eran los elementos de prueba e inspección anteriores.

El principio fundamental es: "lo importante no es la calidad de los aparatos de control, sino el uso de equipos de información que, a un costo reducido, integren un sistema de alta eficiencia en el control de la calidad."⁴

La tecnología informativa y de medición de la calidad, suministra las herramientas del control de la calidad que tendrán que ser tomadas en consideración para el control del proceso.

La ingeniería del equipo de información de la calidad se puede definir como: el conjunto de conocimientos técnicos relativos al equipo y técnicas que miden las características de calidad y que reporta la información resultante para su uso en el análisis y en el control.

Las técnicas usadas en la ingeniería del equipo de información de la calidad, permiten el diseño de aparatos de medición para proporcionar por pruebas electrónicas o de otro tipo, la inspección exacta y completa de muchas dimensiones de partes y productos. La tecnología completa respecto al equipo de información de la calidad puede agruparse en cuatro partes principales de las cuales trataré de desarrollar durante éste proyecto las dos primeras con el propósito de obtener un proyecto de medición que resulte eficiente en cualquier labor de inspección dimensional en el proceso de fabricación de material abrasivo o su materia prima (ver capítulo I), a fin de generar la información necesaria para analizar el comportamiento del proceso productivo. Las partes principales de ésta técnica son:

1.- Desarrollo de equipo

Esta parte se relaciona a los principios fundamentales de medición e instrumentación, procesamiento de datos y control que servirán de base a trabajos posteriores de diseño de equipo de información de la calidad.

2.- Planteamiento de Especificaciones del equipo.

Trata de las técnicas que establecen las especificaciones reales del equipo de información de la calidad, de acuerdo con los requerimientos y las normas del proceso.

3.- Diseño, habilidad y construcción.

En ésta parte quedan comprendidas las técnicas para el diseño y la adquisición de los componentes individuales del equipo especificado. Se pueden incluir también técnicas para la construcción del mismo.

4.- Instalación, calibración y mantenimiento.

En ésta parte se incluyen las técnicas para la instalación y aplicación del equipo de información de la calidad después de su construcción. En ésta fase se especifican aplicaciones, operación, calibración y se proveen instrucciones de mantenimiento y operación del equipo.

- 1 Feigenbaum Armand V. "TOTAL QUALITY CONTROL" CECSA 1983 Pp. 35
- 2 Sanchez Sanchez Antonio, "LA INSPECCION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD"
Limusa 1986 Pp. 10-12.
- 3 Feigenbaum Armand V. Idem Pp. 333.
- 4 Feigenbaum Armand V. Idem Pp. 335.

CAPITULO III

CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDICION

III. CARACTERISTICAS DE LOS SISTEMAS DE MEDICION.

Los instrumentos de medición son herramientas indispensables que permiten conseguir y conservar la calidad con que se identifica el producto que se está manufacturando. Se utilizan para controlar las variables de un proceso o sistema en forma tan exacta como se necesite, para satisfacer las especificaciones del producto en lo que respecta a composición, forma, color o acabado.

Para hablar de los instrumentos de medición, debo definir a continuación, algunos de los conceptos comunes de metrología:

3.1 CONCEPTOS GENERALES.

- **Medición** .- es la comparación cuantitativa entre dos magnitudes de la misma especie una de las cuales está perfectamente definida o establecida.

- **Legibilidad** .- La facilidad de lectura de un instrumento. Este término indica la proximidad o cercanía con la cual puede leerse la escala del instrumento.¹

- **Sensibilidad** .- es la razón del movimiento lineal del indicador en el instrumento al cambio en la variable medida que causa este movimiento.² Un instrumento muy sensible produce un gran movimiento del índice para un pequeño cambio en la cantidad medida.³

- **Resolución** .- la mínima lectura que nos puede registrar un instrumento y se puede medir.

- **Escala** .- representación gráfica de la unidad de medición en un instrumento.

- **Rango** .- límites dimensionales en los que se pueden realizar las mediciones.

- **Capacidad** .- Valor máximo medible en el instrumento.

- **Histéresis** .- Se dice que un instrumento exhibe histéresis cuando hay una diferencia en las lecturas, dependiendo que el valor de la cantidad medida se acerque de arriba o de abajo. La histéresis puede ser el resultado del rozamiento mecánico, efectos magnéticos, deformación elástica o efectos térmicos.⁴

- **Exactitud** .- indica la desviación de la lectura respecto de una entrada conocida.⁵ Dicho de otra forma, es el grado de aproximación con que las indicaciones de un instrumento se acercan a los valores verdaderos de las magnitudes medidas.

- **Precisión** .- de un instrumento indica su capacidad para reproducir cierta lectura con una exactitud dada.⁶ Es la facultad del instrumento de reproducir las lecturas cuando se efectúan una serie de ensayos en un breve intervalo de tiempo y bajo condiciones de uso fijadas.⁷

La **reproducibilidad** significa que el valor medido se puede repetir en forma casi idéntica cada vez que se mide el valor de la variable. El grado de reproducibilidad se determina de acuerdo con el nivel de semejanza con que se puede medir el valor de la variable en diferentes ocasiones.

- **Retardo** .- es el tiempo necesario para que una respuesta tenga su efecto en el sistema.

- En un instrumento, también es importante considerar su **respuesta** a la frecuencia y la distorsión.

3.2 CALIBRACION.

La calibración es la verificación del instrumento contra un patrón (o estándar) conocido y reducir, por lo tanto, los errores de exactitud. Los procedimientos de calibración implican una comparación del instrumento particular con: 1). un patrón primario; 2). un patrón secundario con una mayor exactitud que la del instrumento que se calibra, o 3). con una fuente de entrada conocida. La importancia de la calibración no puede dejar de recalcar ya que establece la exactitud de los instrumentos.

calibración	}	- un patrón.
respecto de		- una señal conocida.
	}	- otro instrumento de mejores características.

3.3 ERRORES

Un error es la desviación de la lectura de un instrumento respecto de un valor conocido. Es el alejamiento del valor medido, del valor verdadero.⁸

La incertidumbre es el margen mayor o menor del valor real en el cual se puede confiar que esté el instrumento.⁹ Se considera como el valor numérico o cuantitativo del concepto error.

3.3.1 CLASIFICACION DE LOS ERRORES.

Los errores se clasifican en:

Errores	Sistemáticos.- aquellos que podemos reducir o eliminar, conociendo su magnitud. Pueden tener causas ambientales, instrumentales o del observador
	No sistemáticos.- aquellos que no podemos eliminar o reducir debido a que se deben a causas aleatorias.

3.3.2 CAUSAS Y TIPOS DE ERRORES.

En todas las mediciones, no importa el cuidado que se tenga, se cometerán errores algunos de naturaleza aleatorios, otros por desaciertos del inspector. La mala información debida a desaciertos obvios puede eliminarse de inmediato. No se puede eliminar información sólo porque no están de acuerdo con lo que se espera a menos que se vea algo equivocado.

Si dichos puntos "malos" caen fuera del margen de las desviaciones aleatorias esperadas, pueden descartarse con base en algún análisis estadístico consistente de la información. La eliminación de los puntos de información debe ser consistente y no depender de los caprichos humanos y prejuicios basados en lo que debería ser. En muchos casos es difícil que el individuo sea consistente y sin prejuicios. La presión de un límite de tiempo, el disgusto con las fallas experimentales previas y la impaciencia normal pueden influir

los procesos racionales de pensamiento; sin embargo, el inspector debe mantener su consistencia en el análisis de la información primaria. Aquí la palabra clave es CONSISTENTE.

Algunos de los tipos de errores que pueden causar la incertidumbre en una medición experimental son; primero aquellos desaciertos en la construcción de los aparatos o instrumentos, los cuales pueden invalidar la información; segundo, ciertos errores fijos, los cuales causan lecturas erróneas repetidas, de aproximadamente, la misma cantidad sin razón conocida (errores sistemáticos); tercero, los errores aleatorios los cuales pueden deberse a fluctuaciones personales o electrónicas aleatorias en los aparatos o instrumentos, así como diversas influencias de fricción, etc.. Por lo general, éstos errores aleatorios siguen una cierta distribución estadística, aunque no siempre.

En forma específica algunas causas de errores de medición son:

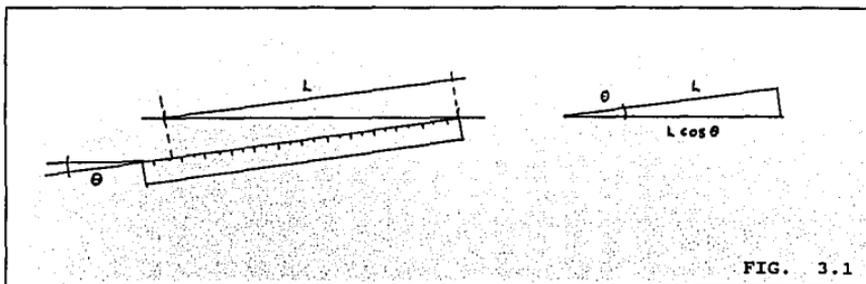
- Paralelaje.
- Posición inadecuada del instrumento.
- Temperatura inadecuada.
- Falta de calibración periódica.
- Mal uso o manejo del instrumento por no leer los manuales de operación, manejo y servicio.
- Abuso.
- Presión ejercida sobre el instrumento de medición.
- Histéresis.
- Diseño y construcción del instrumento.
- Mecánicas como la fricción.
- Energía ganada o perdida (consumida de la variable de medición ó perdida por el sistema de medición).

- De apreciación (humanos), errores de lectura, estimaciones falsas.
- De aproximación (número de cifras significativas).

Para evitar la introducción de algunos errores en la medición, debemos considerar los siguientes factores:¹⁰

- A). Principio de alineación.
- B). situación de la pieza medida.
- C). Temperatura.
- D). Paralaje.

A). EL PRINCIPIO DE ALINEACION de Abbé establece que " El eje o línea de medición de la pieza medida debe coincidir con la escala de medición, o con el eje de medida del instrumento de medición."¹
(FIG. 3.1).

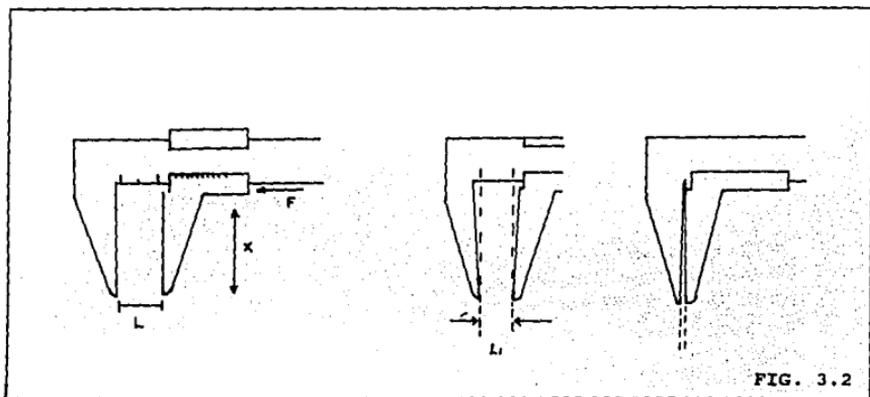


Si θ = ángulo de desalineación de la escala y L = longitud aparente,
 $L \cos \theta$ = longitud verdadera. Si e = error inducido:

$$e = L - L \cos \theta = L(1 - \cos \theta)$$

Un error de alineación de 2 grados en un metro introduce un error de
 $e = 1000 \text{ mm} (1 - \cos 2) = 1000 \text{ mm} (1 - 0.9995) = 0.49 \text{ mm}$

Los picos o brazos de medición del pie de rey son, en realidad, prolongaciones de las marcas que lleva la regla graduada del instrumento; así, los picos de un instrumento que se halle en buenas condiciones de trabajo son paralelas y permanecen de este modo en cualquier medición que se efectúe dentro del alcance del pie de rey. (FIG. 3.2)



El efecto de flexión de los picos.- la longitud L_1 entre los elementos palpadores (extremos) resulta menor o mayor que la indicada en la escala. El error introducido es proporcional a la longitud de los picos estando su mínimo junto a la escala.

Una segunda fuente de error, que ilustran bien el pie de rey y los instrumentos o circunstancias similares, va asociada con la presión de medición o "tacto". Esta presión de medición se aplica por medio del tornillo de ajuste, que es adyacente y paralelo a la escala. Se introduce un momento de flexión que resulta de multiplicar la fuerza aplicada con el tornillo por la distancia perpendicular entre el eje de éste y la línea de medición. Las variaciones de fuerza aplicada al

tornillo se incrementan en la línea de medición, por lo que no deja de ser frecuente una forma de deterioro de los pies de rey que consiste en la deformación permanente de los picos, debida a ésta causa.

El micrómetro es un instrumento que satisface por completo el principio de Abbé, siendo evidente que la escala registra meramente la traslación del tornillo micrómetro a lo largo de su eje, el cual coincide con la línea de medición. La presión de medición se aplica a lo largo del eje del tornillo, siendo pequeño el par introducido; así aunque pueden producirse variaciones en la presión de medición, el "tacto" del instrumento se juzga con mucha más facilidad.

B) SITUACION DE LA PIEZA MEDIDA.

Errores en el diámetro de medición.

Las piezas cilíndricas se miden a menudo entre centros en una máquina de medir diámetros (micrómetro flotante), siendo esencial que las superficies de medición del husillo y del tope o botón de asiento del micrómetro sean paralelas al eje del cilindro y que este eje sea perpendicular al eje del micrómetro. (FIG. 3.3)

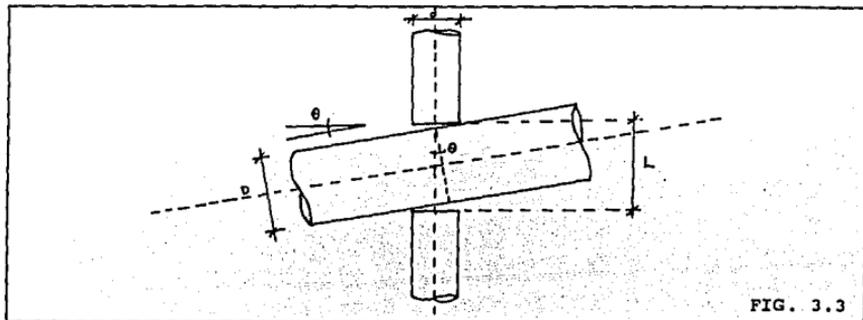


FIG. 3.3

Efecto del error de ángulo entre micrómetro y el eje del cilindro.

$$D = L \cos \theta - d \sin \theta$$

$$\text{error} = L - (L \cos \theta - d \sin \theta)$$

$$\text{error} = L (1 - \cos \theta) + d \sin \theta$$

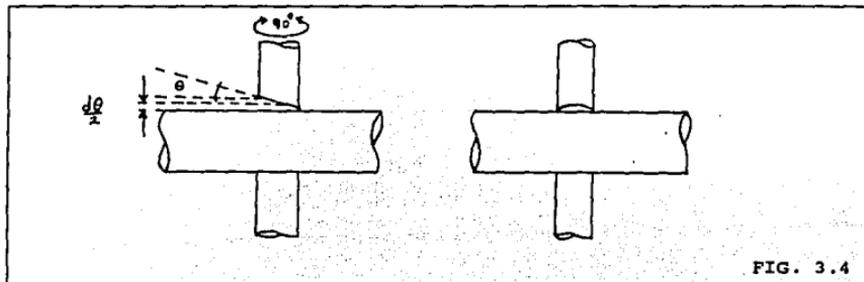
Cuando θ es pequeño, $L = L \cos \theta$ y $\sin \theta = \theta$ radianes entonces el error = $d \theta$, donde:

D = diámetro verdadero.

L = diámetro aparente.

d = diámetro del tope del micrómetro.

El error de lectura introducido por 1 min. de error angular, cuando $d = 6$ mm, es aprox. 1.7 micro m. Los micrómetros flotantes se ajustan mediante discos calibrados, eliminandose así el efecto de esta fuente de error. Es particularmente importante que la cara de medición de un husillo de micrómetro esté en ángulo recto con el del husillo ya que, de otro modo, se introduce un error de la forma indicada, el cual tiene un valor máximo de $1/2 d\theta$. Esta fuente de error se supera en el micrómetro con carro flotante, disponiendo en él un husillo no giratorio. (FIG. 3.4)



Puesta en posición.

Cuando se va a usar un comparador sensitivo, la pieza a medir se sitúa sobre una mesa que proporciona la referencia para comparación con el patrón de medición. Así, la lectura del comparador es una indicación del desplazamiento de la superficie, superior de la pieza que se mide respecto al plano de referencia. También se transmiten al indicador los defectos en la superficie de colocación de la pieza enteramente deteriorada, las variaciones geométricas de una pieza respecto a otra o la presencia de materias extrañas .

Esto proporciona una información falsa en lo que atañe a la longitud verdadera de la pieza, pues se introducen errores. Cuando las condiciones de situación no son idóneas por ejemplo en mediciones entre fases durante la fabricación, pueden utilizarse sensores que actúan en cada lado de la pieza, los cuales se pueden eliminar los errores más importantes. Con un sistema de doble exploración se mide mejor la longitud que con el desplazamiento superficial, empleándose comparadores electrónicos de este tipo, que son altamente sensibles, para la medición de calas. (FIG. 3.5)

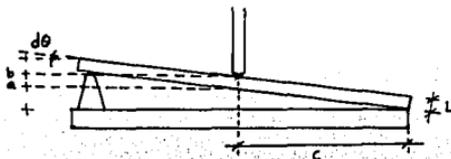


FIG. 3.5

a). Desplazamiento de superficie, lectura = $a+b = c \operatorname{tg} d\theta + L \sec d\theta$
error = $a+b-L = c \operatorname{tg} d\theta + L(\sec d\theta - 1)$

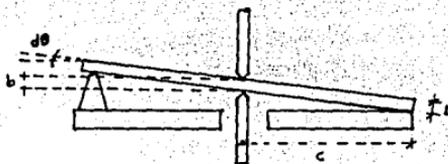


FIG. 3.5

b). Medición de la longitud diferencial lectura = b , error = $b-L$
 $= L (\sec d\theta - 1)$

C). TEMPERATURA.

La temperatura de referencia normal a la cual se dice que los patrones de longitud graduados y sin graduar tienen su verdadera longitud es $20 \pm 1/2$ grados C, debiéndose mantener esta para alcanzar la máxima precisión en las mediciones. Cuando esto no es posible y debe conocerse la longitud a la temperatura de referencia, se efectúa una corrección que tiene en cuenta la diferencia entre la temperatura ambiente y la de referencia. El valor de corrección requerido es -0.001375 (-1.375 micro m) cuando se mide a 25 grados C un objeto de acero de exactamente 25 mm de longitud a 20 grados C, siendo el coeficiente de dilatación lineal de 11 micro m grado C / m .

En algunas ocasiones tal vez no se requiera efectuar la corrección a la temperatura de referencia pero deben cuidarse las siguientes condiciones:

- La temperatura a la cual se efectúa la medición que no varíe significativamente.
- La regla o cala y la pieza que se comparan estén a la misma temperatura y sea la del ambiente.

c). La regla o cala y la pieza tenga el mismo coeficiente de dilatación lineal.

Pueden producirse cambios de temperatura significativos con la manipulación de las reglas o calas, no debiendo ignorarse esta fuente de error.

D). EFECTO DE PARALAJE.

En muchas carátulas graduadas, la aguja indicadora se encuentra en un plano paralelo a la escala, pero desplazada según una pequeña distancia de separación para permitir su libre movimiento. Es esencial observar la aguja a lo largo de una normal a la escala, ya que, de lo contrario, se producirán errores de lectura. (FIG. 3.6)

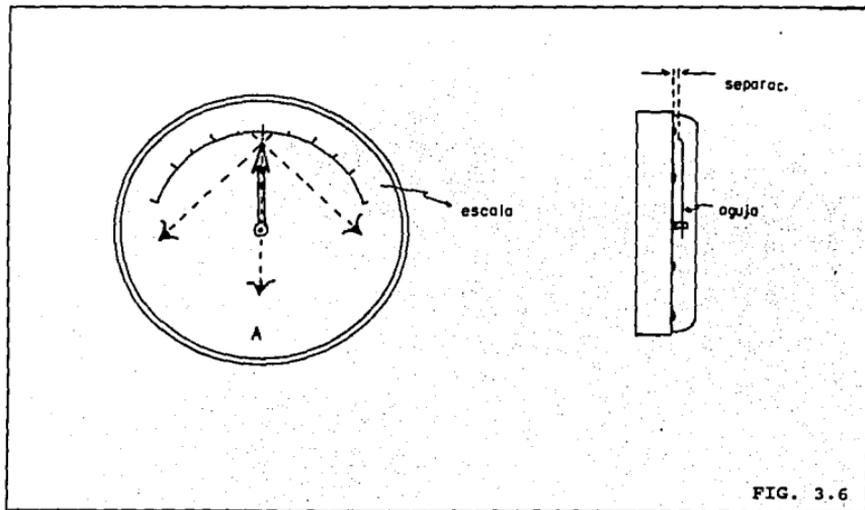


FIG. 3.6

3.4 EL SISTEMA GENERALIZADO DE MEDIDAS.

La mayor parte de los sistemas de medición se pueden dividir como sigue:

- 1.- Una etapa de detector - transductor**, que detecta la variable física y realiza una transformación mecánica o eléctrica para convertir la señal en una forma más práctica. En sentido general, un transductor es un dispositivo que transforma un efecto físico en otro.
- 2.- Una etapa intermedia** que modifica la señal directa por amplificación, filtro u otro medio, de modo que este disponible una señal deseable.
- 3.- Una etapa de terminación** que indica, registra o controla la variable que se mide.

El detector o transductor, transforma las variaciones de la magnitud medida en las señales eléctricas correspondientes. Al objeto de conseguir que la señal eléctrica de salida del transductor sea adecuada para finalidades de instrumentación, suele requerirse un acondicionador de la misma, que puede amplificarla o transformarla en C.C. o en C.A. para indicación digital, transmisión de información o proceso en ordenador.

La tercera etapa del sistema consiste en la indicación o registro, existiendo para éste fin un cierto número de métodos, los cuales dependen del tipo y de la precisión de la información requerida. La indicación puede conseguirse por medio de un índice y una escala, exposición digital, teleimpresión o mediante un osciloscopio de rayos catódicos, escalas magnéticas y sus indicadores.

3.5 MEDICION ELECTRONICA DE LONGITUDES.

La función en metrología de los transductores electrónicos es transformar las variaciones de longitud, o las irregularidades superficiales en variaciones eléctricas proporcionales que puedan detectarse, amplificarse y registrarse o indicarse en un contador. Hasta hoy el transductor se ha diseñado para proporcionar una respuesta lineal sobre una gama de ± 0.3 mm. Mientras que tanto los transductores de resistencia como los de capacitancia se usan para la medición de irregularidades corrientes, el transductor de inductancia es más adecuado para medir con precisión las irregularidades pequeñas, puesto que no está afectado por el rozamiento inherente al tipo de resistencia cuando se emplea el contacto físico entre un cursor y una resistencia, ni por el problema de capacitancia causado por la baja sensibilidad y la poca adaptabilidad introducidas por la gran capacitancia suplementaria de los conductores del transductor.

3.6 METODOS SENSORES DE DESPLAZAMIENTO, POSICION Y MOVIMIENTO.¹¹

Muchos transductores de desplazamiento miden desplazamientos, detectan movimientos o miden posición por medio de sus ejes sensores que están mecánicamente unidos o a través de algún mecanismo al punto del objeto cuyo desplazamiento quiere medirse. Excepciones a lo anterior vienen dadas por dispositivos sensores de desplazamiento sin contacto en los que se utiliza un acoplo óptico inductivo u otros similares entre el elemento sensor y el objeto que se quiere medir.

Para entender la importancia de los ejes sensores y sus medios de acoplo, es preciso pensar que la salida del transductor indica la posición del eje sensor y no la del punto de accionamiento.

Para hacer ambas magnitudes iguales se requiere un eje de la forma y consistencia apropiada, así como un dispositivo de acople adecuado. Este último ha de estar diseñado de manera que esté libre de juegos o percusiones innecesarios, así como que no debe existir ninguna demora cuando es accionado.

Algunos diseños de transductores de desplazamiento incorporan previsiones, con tolerancias conocidas para poder minimizar la falta de alineamiento entre el punto de medida y el eje sensor.

3.6.1 TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO CAPACITIVOS.

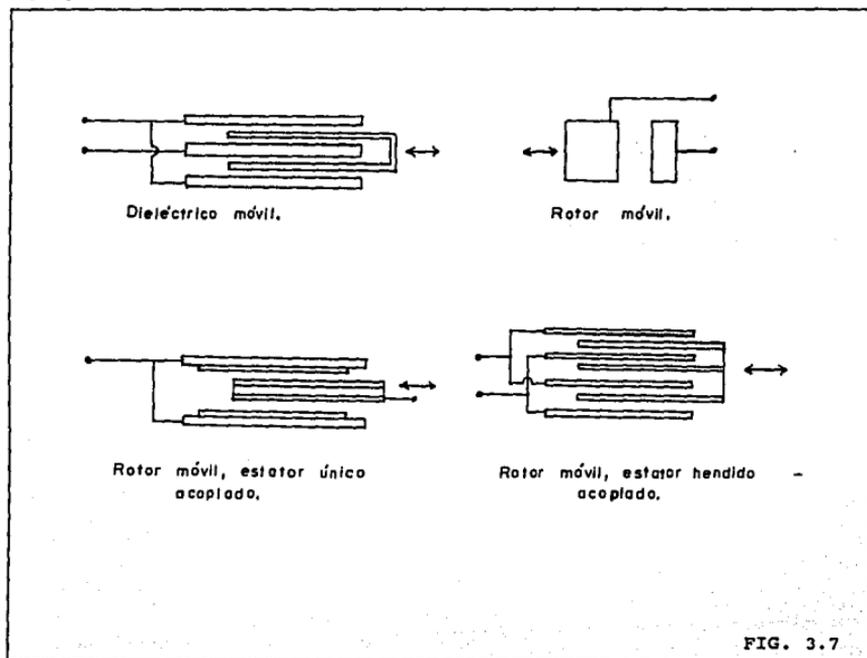
Un cambio de capacidad es proporcional a un cambio de posición ya que ésta depende de las formas, las posiciones relativas y del medio en el que están inmersos los conductores ($C=q/V$).

En el diseño de dieléctrico móvil ambos electrodos del condensador tienen posiciones fijas. Un casquillo realizado de material aislante con una constante dieléctrica diferente a la del aire se desliza dentro y fuera del conjunto de electrodos. El resultado global consiste en un cambio de capacidad proporcional al movimiento axial del casquillo.

En los transductores de desplazamiento capacitivo SIN CONTACTO el objeto a medir (que debe ser total o parcialmente conductor) actúa como el rotor que se mueve en relación al transductor, que es simplemente un estator, aislado de su montaje.

En el uso y diseño de transductores capacitivos un conjunto de fuentes de error conocidas deben ser eliminadas. La capacidad en el cable de interconexión entre el transductor y la electrónica deben ser de muy bajo valor y debe permanecer fijo a ese valor. Usualmente

es ventajoso mantener este cable muy corto y colocar la electrónica cercana o integral con el elemento transductor. El transductor debe estar construido de manera que no exista ningún movimiento indeseado como juegos en la mecánica o montaje. El diseño de los electrodos debe estar protegido de campos dispersos. El diseño debe incluir compensación del efecto de temperatura, o debe estar diseñado de manera que este efecto no se traduzca en errores significativos. La linealidad del transductor precisa un diseño de los electrodos apropiados tanto eléctricamente como de moldeado. (FIG. 3.7)



3.6.2 TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO INDUCTIVOS.

Los transductores que convierten el desplazamiento, usualmente lineal, en un cambio de la autoinductancia de un simple devanado pueden ser agrupados en dos versiones, acoplados y SIN CONTACTO.

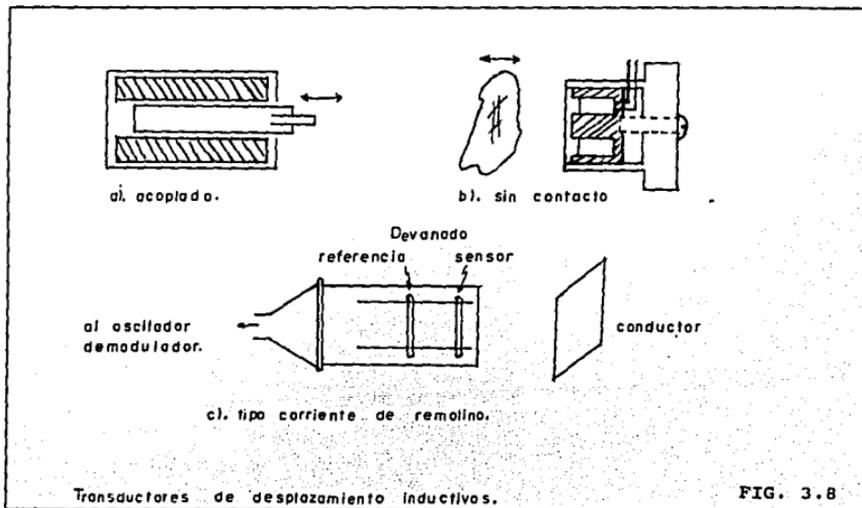
El diseño acoplado emplea un núcleo permeable magnético deslizante, que se mueve dentro de un devanado (bobina). El eje sensor determina el movimiento del núcleo. Cuando el núcleo se mueve, el devanado cambia su autoinductancia. El devanado puede conectarse a un oscilador LC de modo que el cambio de inductancia implica un cambio de frecuencia en la salida. Mas frecuentemente, el devanado actúa como un brazo de un puente de impedancia cuya salida C.A. (cuando el puente se excita con C.A.) refleja el cambio de inductancia. Un segundo devanado (devanado de referencia o equilibrado) se conecta en el brazo adyacente del puente de impedancias. Este devanado cuya inductancia no se ve influida por los cambios de desplazamiento se monta de manera integral con el devanado sensor. Esto reduce los efectos indeseables debidos a los contactos, causa los mismos efectos térmicos y en algunos casos ajusta el devanado de referencia al punto de medida.

Los diseños SIN CONTACTO son más usados que los de acoplo. La proximidad relativa del devanado sensor al objeto a medir causa cambios en la inductancia del devanado. Aunque las medidas son factibles cuando el objeto está hecho de un material diamagnético altamente conductor o material paramagnético, el método es eficaz cuando el objeto esta realizado de material ferromagnético, que tiene alta permeabilidad. Los rangos de medida a fondo de escala de éstos transductores son típicamente del orden de 1.5 cm.

En la figura (3.8) se ilustra una variación de diseño del transductor de desplazamiento inductivo sin contacto. Los desplazamientos del objeto a medir, que debe ser conductor pero no necesariamente ferromagnético, causan cambios en las corrientes en remolino que causan a su vez, cambio en la impedancia del devanado sensor. Un devanado de referencia se integra en el montaje del transductor. Los transductores de este tipo están diseñados para operar continuamente a temperaturas de hasta 600 grados C.

Un diseño específico es el denominado transductor de proximidad electromagnético, que contiene un devanado con un núcleo fijo. Estos transductores responden a cambios de proximidad de un objeto metálico (cambios de flujo magnético). También son usados los devanados sensores en algunos diseños de tacómetros y medidores de caudal.

(FIG. 3.8)



3.6.3 TRANSDUCTOR DE DESPLAZAMIENTO POR RELUCTANCIA.

En ésta categoría se incluyen todos los transductores que convierten un desplazamiento en variaciones de tensión C.A. mediante el cambio del camino de reluctancia entre dos o más devanados. El más popular es el tipo de transformador diferencial que es usado tanto para desplazamientos lineales como angulares (TDVL y TVDR). Los potenciómetros de inducción síncro (selsyn), resolver, microslyn y los generadores de señal de espira cortocircuitada se usan para medir sólo desplazamientos angulares. (FIG. 3.9)

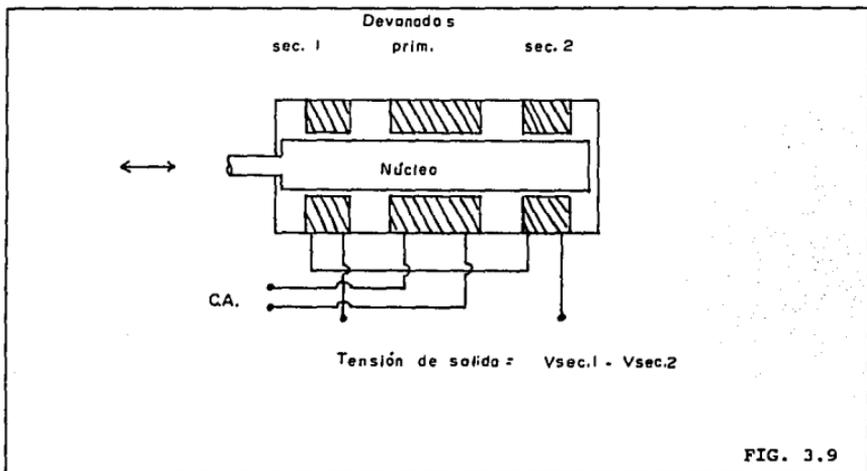


FIG. 3.9

3.6.4 TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO POTENCIOMETRICO.

Un contacto deslizante (escobilla) se mueve sobre un elemento resistivo. El contacto está ligado directamente o a través de un mecanismo al eje sensor. La palanca está eléctricamente aislada del eje sensor. Se encuentran transductores potenciométricos tanto de desplazamiento lineal como angular. En algunos transductores lineales

una segunda escobilla puede corregir los problemas ocasionados por una flexión en los soportes. La salida es una tensión proporcional al desplazamiento de la excitación (tensión aplicada entre los bornes "+" y "-"). El elemento resistivo (potenciométrico) puede contar con uno o más contactos eléctricos en posiciones específicas.

Cuando el elemento potenciométrico es bobinado (típicamente de platino o níquel) la resolución viene dada por el número de vueltas por unidad de longitud. Para conseguir alta resolución se acostumbra utilizar resistencias elevadas (desde 5 K a 10 K) y un hilo delgado (aprox. 0.01 mm de diámetro).

Esto sin embargo puede ocasionar errores al variar la carga del transductor debido a la elevada impedancia de salida. Los elementos potenciométricos de resolución continua están realizados de plástico conductor, película de carbón, película metálica o mezcla metal-cerámica (cermet). El eje alrededor del cual se bobina el hilo es de material aislante o metálico recubierto de aislante. (FIG. 3.10)

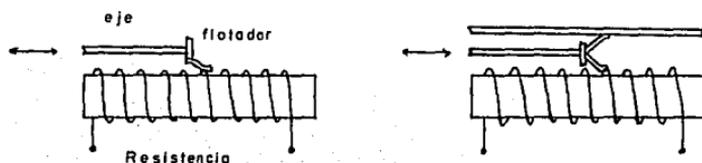


FIG. 3.10

3.6.5 TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO POR GALGAS EXTENSOMÉTRICAS.

Los sensores de desplazamiento por galgas extensométricas son más aplicados como elementos transductores accesorios de otros transductores o sistemas sensores.

Están basados típicamente en la utilización de haces elásticos o flexores a los que están unidas las galgas extensométricas una galga en tensión y otra en compresión. Estas galgas configuran semipuentes de dos elementos activos (galgas semiconductoras piezoresistivas).

(FIG. 3.11)

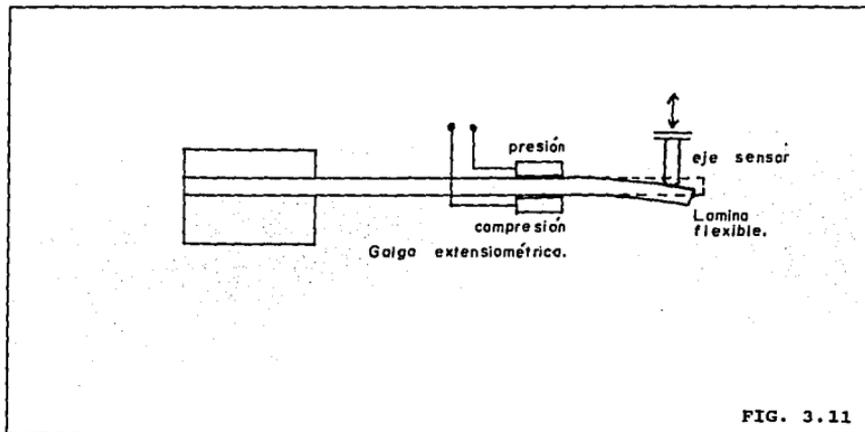


FIG. 3.11

3.6.6. TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO DE HILO VIBRANTE.

Este principio, de hilo vibrante, se utiliza en los transductores de desplazamiento muy pequeños. Un cambio de desplazamiento origina un cambio de tensión en un hilo delgado conectado a un circuito oscilante realimentado, variando también como consecuencia la frecuencia de oscilación. Se usan para medir desplazamientos de hasta 50 micro m.

3.6.7. DISPOSITIVO RADAR Y SONAR, SENSORES DE DISTANCIA.

En esta categoría se incluyen los sensores que sólo emiten un pulso de energía electromagnética hacia un cuerpo, determinando la distancia al mismo por el tiempo transcurrido desde la emisión del pulso hasta la recepción del pulso reflejado. El elemento en cuestión es capaz de trabajar tanto en modo emisor como receptor y debe dar como salida una información proporcional al tiempo transcurrido. El número de pulsos emitidos por unidad de tiempo es la frecuencia de repetición.

En la medida de distancia del orden de 0.3 a 5 m, se utilizan longitudes de onda del orden de ultrasonidos (RF de baja frecuencia) especialmente en medidas submarinas. Longitudes de onda muy cortas caracterizan a los sensores como radares de seguimiento o como radares de altura que llegan a la región de microondas.

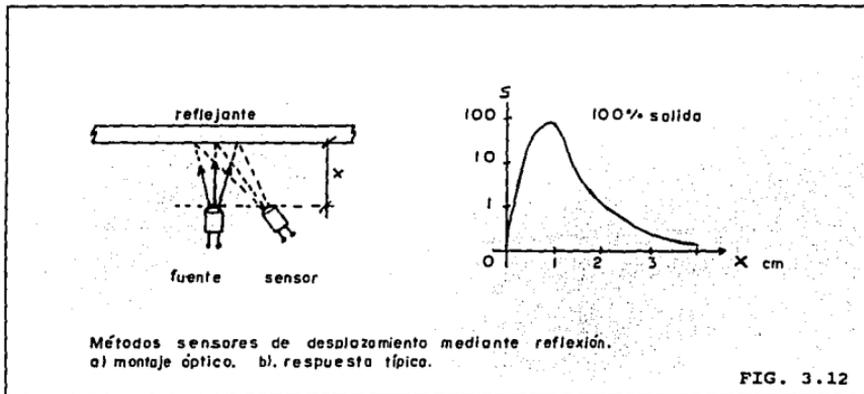
Longitudes de onda todavía más cortas se usan en los altímetros lasers y sensores de distancia sofisticados. También se pueden determinar distancias observando la velocidad del cuerpo usando el efecto Doppler.

3.6.8. TRANSDUCTORES DE DESPLAZAMIENTO ELECTROOPTICOS.

Con la excepción de los codificadores electroópticos, los sensores de desplazamiento electroópticos son los más típicos sensores SIN CONTACTO. Estos dispositivos que pueden ser usados para la medida de posición o desplazamiento, tienen su aplicación principal en el calibrado dimensional.

Cuando la superficie de un objeto, cuyo desplazamiento quiere medirse, es suficientemente reflectora puede usarse un par fuente/sensor de luz para medir desplazamientos pequeños. En la

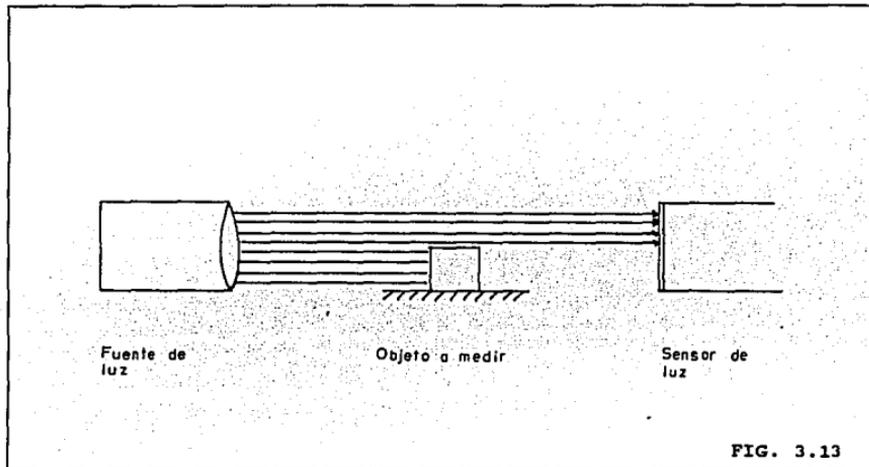
figura (3.12) se ilustra éste principio; la salida del sensor decrece exponencialmente con la distancia al objeto. Algunos diseños avanzados utilizan fibras ópticas para emitir y recibir luz reflejada por la superficie pudiendo medir pequeños desplazamientos con elevada resolución. Cuando la superficie no es reflejante puede adherirse a la superficie un reflector. Los haces luminosos pueden ser de intensidad constante o modulada a una frecuencia determinada (dependiendo del tiempo de respuesta del sensor y de la aplicación); pueden ser troceados o pulsantes. Los diodos emisores de luz infrarroja (LED) son muy utilizados como fuentes luminosas. (FIG. 3.12)



A). METODO DE OCULTACION.

Uno de los métodos más empleados en el calibrado dimensional electroóptico es el mostrado en la (FIG 3.13). En ésta vista lateral del mecanismo se muestra como la altura del objeto puede ser medida detectando el área de OCULTACION del haz por medio del sensor luminoso. Cuando el sensor luminoso está compuesto por una formación

de dispositivos sensores la forma o dimensiones del objeto pueden ser procesados con alta precisión visualizando dimensiones directas o indirectas y comparándolas con un modelo de "imagen estándar". Esta técnica es muy empleada en los controles de calidad de piezas.



Un tipo muy utilizado de fuente luminosa en transductores de desplazamiento lo forman los lasers debido a que ofrecen un haz luminoso monocromático, coherente y bien colimado.

B). METODO DE TRIANGULACION.

Un método muy utilizado en la medida de espesores delgados o en general distancias entre el elemento sensor (fuente laser y dos sensores) y la superficie, es el de **TRIANGULACION**. La interacción del laser con la superficie se observa desde los sensores con el mismo ángulo pero en direcciones opuestas. La posición del objeto puede determinarse a partir de las salidas de los dos sensores. Una variación de éste método emplea dos haces laser a igual ángulo aunque

opuestos respecto a la normal a la superficie y un sensor que detecta la intersección de los haces en una dirección normal a la superficie. Los sensores de imagen detectan la distancia entre los laser cuya distancia al objeto quiere medirse (por ejemplo, la anchura de objeto una de cuyas caras tiene una posición conocida). Rastreadores laser, obtenidos a partir de la reflexión del haz por un espejo oscilante, se usan para calibración dimensional.

Aplicando técnicas de interferencia a los sistemas de medida de desplazamientos por luz laser se desarrollan los laser interferómetros.

Las fuentes luminosas, también pueden ser lámparas de mercurio y de sodio proyectadas para radiar luz de longitudes de onda estrechamente definidas.

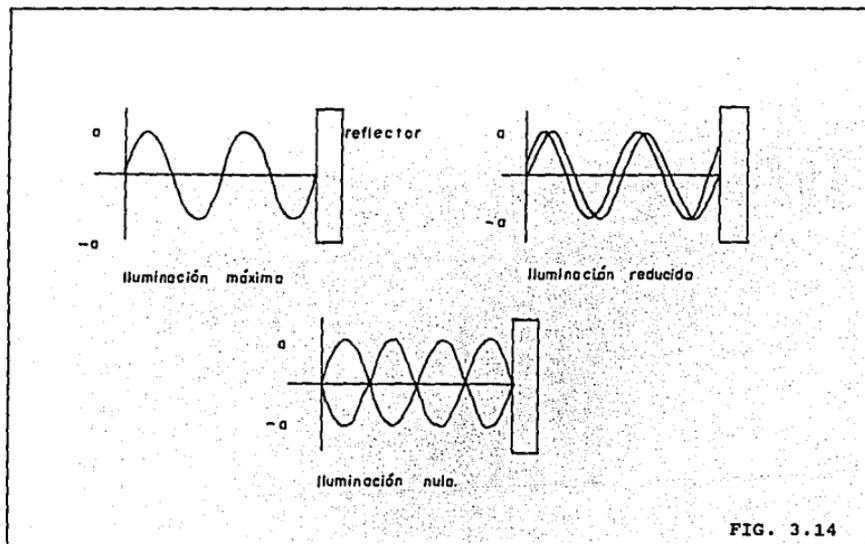
C). METODO DE INTERFEROMETRIA¹²

Luz blanca.

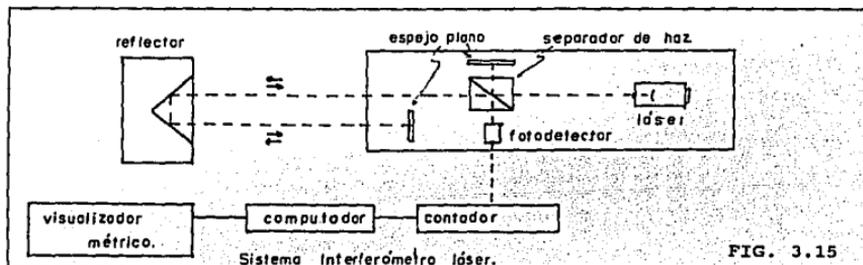
La luz es una forma de energía la cual puede considerarse que se desplaza de un lugar a otro en forma de ondas sinusoidales electromagnéticas. La longitud de onda (λ) determina el color y la amplitud la intensidad de la luz. La luz blanca es una combinación de luz de todos los colores y, por tanto, es una combinación de todas las longitudes de onda del espectro visible, no se halla en una forma adecuada para la medición de longitudes mediante interferometría. Para solventar ésta dificultad, se usa una fuente de luz monocromática tal como una lámpara de descarga del isótopo de mercurio-198, la cual produce una luz que tiene una longitud de onda media de 0.53 (4) micro m, con una exactitud de aproximadamente una parte en cien millones.

Luz. monocromática.

Un haz de luz monocromática puede considerarse como un número infinito de rayos de la misma longitud de onda. Cuando las ondas se emiten desde la lámpara se encuentran en fase y la intensidad de la luz, que crece como el cuadrado de la amplitud de la onda, depende de la potencia de la fuente luminosa. Si la mitad de las ondas se desplazan una distancia igual a la mitad de la longitud de onda, la suma algebraica de las amplitudes, suponiendo que todas ellas tienen el mismo valor, será cero y cualquier objeto que se halle en la trayectoria de la luz en éstas condiciones no será iluminado. Este efecto se conoce como INTERFERENCIA. En cualquier condición intermedia el efecto de interferencia quedará reducido y la luz será de menor intensidad. (FIG. 3.14)



El principio óptico de éste dispositivo se basa en el interferómetro Michelson, principio usado también en otras aplicaciones como la estroboscopia. El haz láser o infrarrojo se divide en dos haces ortogonales mediante un separador de haces. Un haz se aplica directamente sobre un espejo plano que lo refleja retornando al separador de haz. El otro haz se aplica a un espejo que se desplaza a lo largo del haz y cuyo desplazamiento quiere ser medido, o como muestra la figura (3.15) a un reflector del que se refleja el haz hacia un espejo plano fijo. En último caso es el desplazamiento del reflector el que se quiere medir. El segundo espejo retorna el haz por el camino inverso al separador de haces. Aquí el haz se recombina e interfiere (ópticamente) con el haz de referencia. La interferencia es constructiva cuando la diferencia entre los dos caminos es un número entero de longitudes de onda; es destructiva cuando la diferencia de caminos es un número impar de medidas de longitud de onda. Cuando el reflector se mueve y varía la diferencia de caminos, el fotodetector (detector luminoso) detecta una franja de interferencia por cada longitud de onda. El desplazamiento se determina como un conteo de franjas, esto proporciona una salida digital de elevada precisión.

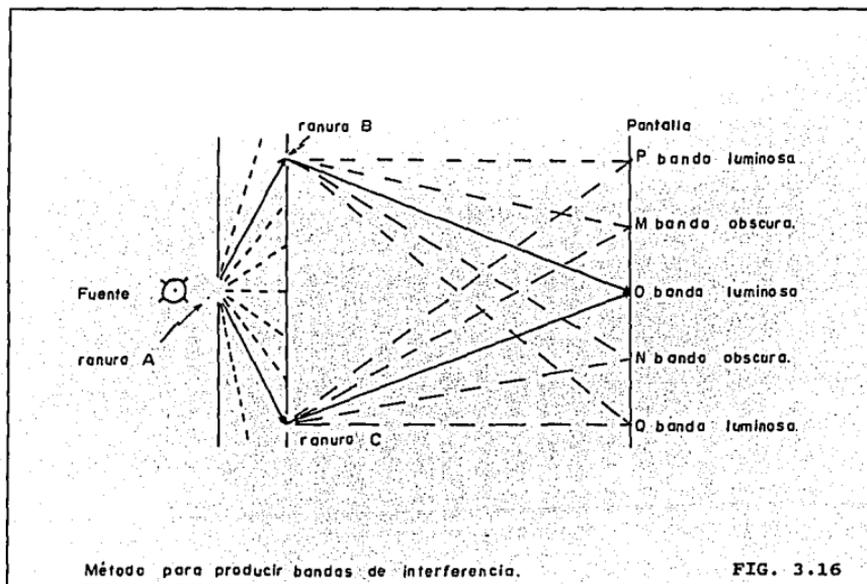


Los avances en el desarrollo de laser interferómetros, como los laser de dos frecuencias y los interferómetros helográficos amplían la capacidad de medida, a sus ángulos (resolución de una fracción de segundo), alineamiento o caracterización de cuerpos rectos o planos.

Interferencia de la luz

- 1). La luz debe ser de frecuencia y longitud de onda uniformes.
- 2). Cualesquiera diferencias de fase existentes no deben variar con el tiempo.
- 3). Las amplitudes deben ser iguales o casi iguales.

(FIG. 3.16)



Si las trayectorias de los rayos BO y CO son iguales, las ondas en éstas trayectorias se encontraran en fase en la pantalla, produciendose en el punto O una banda luminosa.

En un punto determinado M la diferencia en lo que respecta a la trayectoria del rayo será igual a media longitud de onda, esto es $CM - BM = 1/2 \text{ Lamda}$. Así, en la pantalla, las ondas estarán defasadas 180 grados, produciendose en M una banda de obscuridad, análogamente en N. En el punto P la diferencia en lo que respecta a la trayectoria del rayo será de una longitud de onda y las ondas estarán de nuevo en fase, apareciendo en el punto P una banda luminosa y análogamente en Q. De esta forma, se produce una serie de bandas luminosas y oscuras. Las bandas oscuras se conocen como franjas de interferencia.

3.7. CODIFICADORES LINEALES Y ANGULARES.

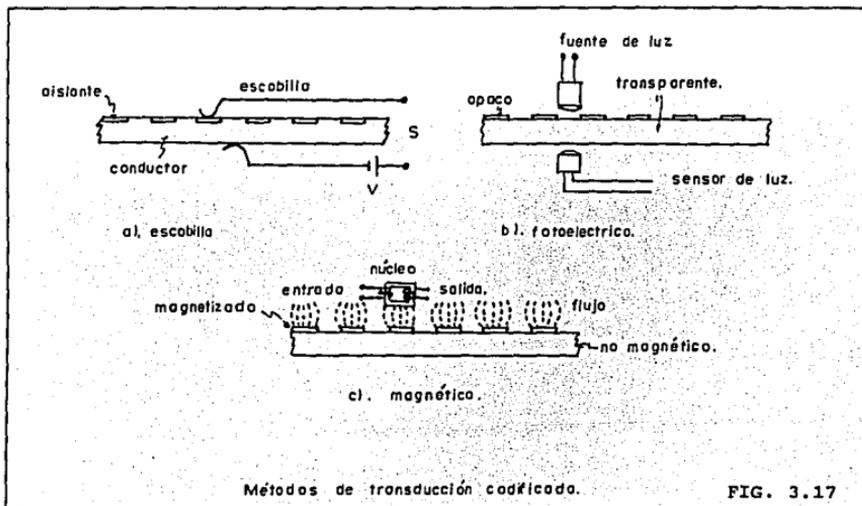
Se pueden medir desplazamientos tanto lineales como angulares, por métodos que generan una salida digital sin necesidad de usar un convertidor analógico-digital. Este tipo de transductores son conocidos como codificadores lineales y codificadores angulares. Tres métodos de transducción se utilizan en los codificadores.

A). En el codificador del **TIPO ESCOBILLAS**, un disco móvil contiene segmentos conductores y aislantes en su superficie. Los elementos conductores están unidos a un mismo punto eléctrico. Cuando la escobilla entra en contacto con un segmento conductor se produce un cierre del circuito. Cuando toca a un segmento aislante el circuito se abre. Cuando se excita convenientemente el sistema la salida ve una tensión (1) cuando hay contacto con un segmento conductor y ve un cero de tensión (0) cuando contacta con un segmento aislante.

B). En el codificador **OPTICO** o fotoeléctrico un disco o una cinta transparente tiene una serie de segmentos opacos en su superficie. Estos interrumpen un haz de luz dirigido a un sensor de luz. Así se produce una salida (1) si se tiene encarada una sección transparente o una salida (0) si se encara un segmento opaco.

C). En un codificador **MAGNÉTICO**, un disco móvil o una regla tiene una superficie segmentada en áreas magnetizadas o no magnetizadas. Un núcleo ferromagnético provisto de un arrollamiento de entrada y un arrollamiento de salida se aproxima a la superficie. Se aplica una señal de entrada al arrollamiento de entrada. Cuando el núcleo está sobre un segmento no magnetizado el núcleo no se satura y se produce una señal de salida (1). Cuando el núcleo está sobre un segmento magnetizado se satura y por tanto no hay señal de salida (0).

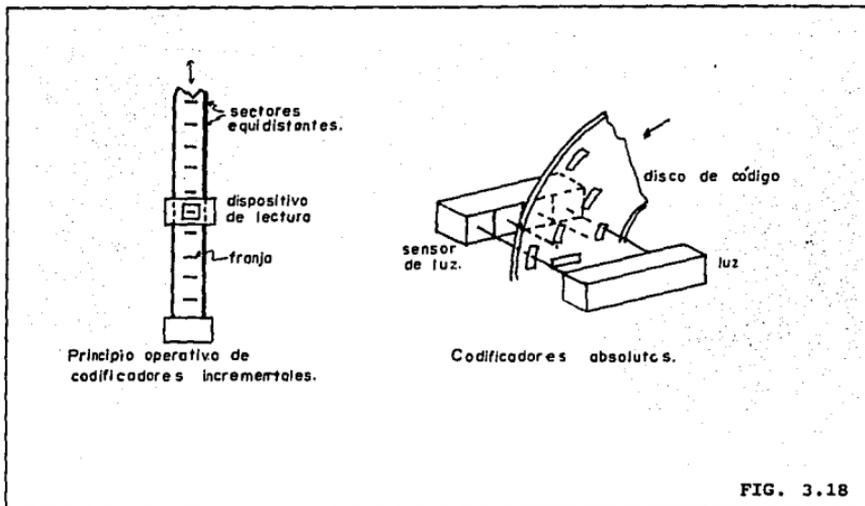
(FIG. 3.17)



Los de escobillas usan formas de contacto de metal precioso sobre una superficie aislante, las escobillas se diseñan con técnicas que garantizan una larga vida de operación. 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. En general se usan las mismas técnicas que en la fabricación de circuitos impresos miniatura. En los codificadores magnéticos se utilizan discos y barras de ferrita sobre los que se pueden inscribir formas magnetizadas de manera precisa. Se usan técnicas sofisticadas paralelas a las de fabricación de registros por banda magnética. Como señales de entrada se utilizan señales sinusoidales C.A. o pulsos.

Existen transductores de desplazamiento (codificadores) de dos tipos:

1. **Codificadores incrementales**, que producen pulsos igualmente espaciados en cada sector, los pulsos son acumulados en un contador incrementador/decrementador) y el contaje es la indicación del desplazamiento, el punto de origen puede fijarse o programarse en el dispositivo de lectura alternativamente puede producirse una señal adicional de indexado.
2. **Codificadores absolutos**, que producen un número codificado digitalmente, indicativo de la posición mediante un conjunto de cabezas lectoras y una disposición de segmentos multicanal. Existe una variedad de técnicas de codificación para representar el número digitalmente. (FIG. 3.18)



3.6. INTERRUPTORES SENSORES DE POSICION.

Los interruptores sensores de posición tienen un amplio margen de aplicación tanto en la versión de actuación directa como en la de sin contacto. Algunos usan principios operativos inductivos y electroópticos.

A). INTERRUPTOR ELECTROMECHANICO.

El dispositivo más popular es el interruptor **ELECTROMECHANICO**. Se trata básicamente de un pulsador de contacto momentáneo de un circuito de dos posiciones. Cuando se presiona la varilla, ésta actúa sobre un sistema elástico que causa que el contacto se cierre (en los normalmente abiertos) ó se abra (en los N.C.). El interruptor se instala de manera que se actúe sobre la varilla cuando el objeto se coloca en la posición deseada. Los interruptores de éste tipo

presentan diversas formas de actuadores, de rodillos, de presión, de nivel y varillas de extensión de varias longitudes, algunas especiales para trayectorias grandes, para inmersión en líquidos o con rodillos en la punta. La mayoría de éstos interruptores están diseñados en versiones robustas con un número de actuaciones elevado.

B). INTERRUPTOR DE EFECTO HALL.

El interruptor sensor de posición **DE EFECTO HALL** comprobó que aparece una diferencia de potencial entre las dos caras opuestas de un prisma delgado de oro a través del cual circula una corriente al aplicarse un campo magnético perpendicular a las caras en cuestión. Este efecto, más tarde se aplicará a los semiconductores en vez de a prismas de oro, produciendo tensiones Hall más elevadas y amplificando el número de aplicaciones. Como la tensión es proporcional a la corriente, este efecto sirve para medir corrientes. Como también la tensión es proporcional a la densidad de flujo magnético puede utilizarse para medir la intensidad de campo magnético o para determinar la proximidad de un campo mediante la tensión indicada.

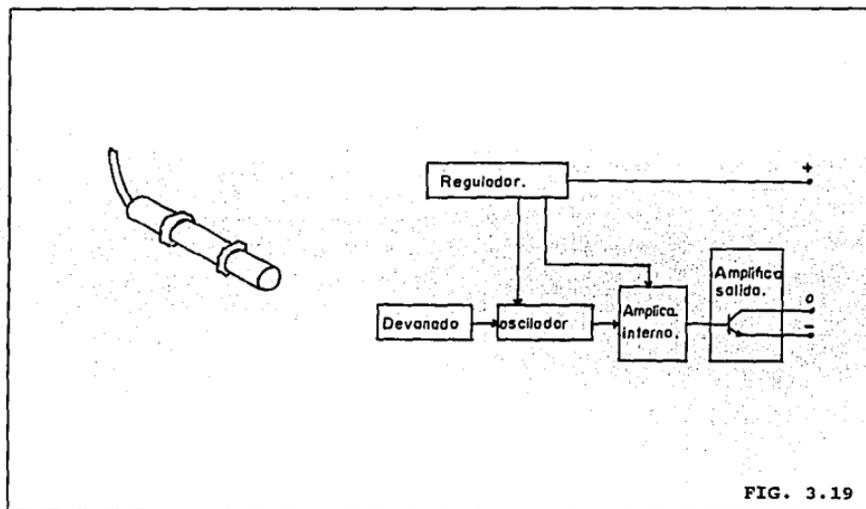
La actuación sobre una varilla o émbolo ocasiona el desplazamiento de un magneto aproximandola a un generador Hall.

También existen interruptores sin contacto, precisandose que el objeto a medir sea magnético (o equipado con un magneto).

C). INTERRUPTOR POR REMOLINO DE CORRIENTE.

El interruptor de proximidad por medio de **REMOLINO DE CORRIENTE**, es similar a los transductores de desplazamiento inductivos del mismo nombre. Es el circuito electrónico (integrado con el transductor) quien ahora realiza la función del interruptor en vez de los sensores. El objeto ha de ser metálico, aunque no necesariamente

férreo. El objeto a medir tiende a absorber el campo magnético generando en el devanado sensor debido a la generación de corrientes en remolino, representando una carga para el oscilador, que reduce su nivel. Este cambio de nivel es amplificado y actuando sobre un comparador Schmitt acoplado a un transistor de salida que realiza la acción interruptora. Un LED colocado en un lugar visible proporciona una indicación. La unidad presentada está totalmente blindada (FIG. 3.19)



D). SENSORES DE POSICION FOTOELÉCTRICOS

Los **SENSORES DE POSICION FOTOELÉCTRICOS** emplean una fuente de luz y un sensor de luz para detectar la presencia o ausencia de objetos que bloqueen o no el camino de luz sobre el elemento sensor. Los dos métodos primarios utilizados son la exploración directa y la retroreflexiva.

En la **EXPLORACION DIRECTA** una fuente de luz y un sensor de luz (fotoreceptor) se colocan en posición con el fin de detectar el paso de un objeto entre ellos. El objeto debe ser suficientemente opaco como para bloquear la luz, de manera que el circuito sensor conmute. Puede usarse una colimación cuando se trate de objetos pequeños.

En la **EXPLORACION REFLEXIVA**, la fuente de luz y el sensor se colocan del mismo lado del objeto a detectar de manera que el haz de luz se refleja sobre el objeto a detectar o sobre una pantalla adherida a él. Existen tres tipos de exploración reflexiva: retrorreflexiva, especular y difusa.

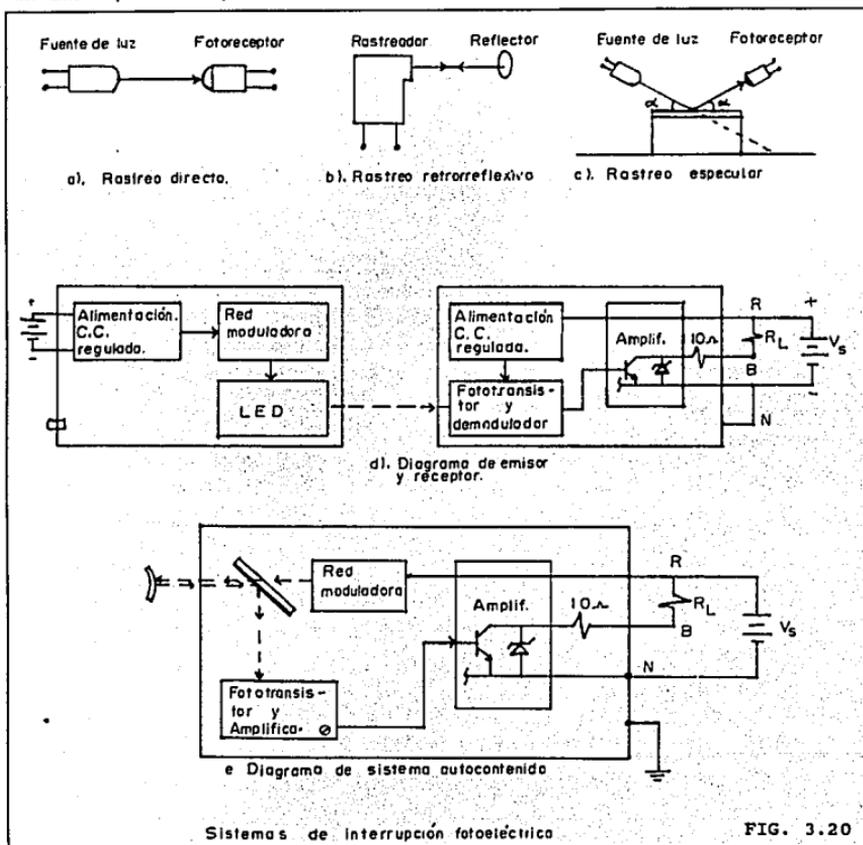
En la exploración retrorreflexiva la fuente de luz y el sensor están ubicados en una misma caja. La luz actúa sobre el objeto reflectante que devuelve la luz por el mismo camino. Discos o cintas acrílicas, incluso yeso, se usan como reflectores. Cuando mayor es el reflector mayor puede ser la longitud del camino. La falta de alineamiento y las vibraciones normalmente no son muy críticas. También son utilizables cuando los objetos son algo traslucidos, perdiéndose parte de la intensidad de luz emitida.

En la exploración especular el objeto debe ser altamente reflexivo. El ángulo incidente es igual al ángulo reflejado, por lo que las posiciones del sensor y la fuente, así como la distancia al objeto deben ser cuidadosamente controladas.

En la exploración difusa los objetos son mate en vez de brillantes y el sensor detecta radiación difusa o esparcida de manera similar a la nefelometría.

En los sistemas interruptor por sensores de posición fotoeléctricos, se usan muy comúnmente diodos emisores de luz (LED) como fuentes de luz. El uso de luz infrarroja, especialmente si es

modulada junto a sensores de luz sintonizados a la frecuencia modulada, es muy eficaz para minimizar efectos indeseables debidos a la luz ambiental. La modulación se realiza en forma de pulsos proporcionando pulsos infrarrojo de alta intensidad provenientes de un LED. (FIG.3.20).



Sistemas de Interrupción fotoeléctrica

FIG. 3.20

3.9. CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO Y PRESTACIONES.

Determinadas características mecánicas son importantes a tener en cuenta en el diseño de los transductores de desplazamiento. Determinados tipos de sensores de desplazamiento tienen la forma exterior y hasta las medidas estandarizadas.

Los sobrerrecorridos del eje sensor fuera del rango de medida son un requerimiento en los transductores lineales y angulares, se definen y especifican como la diferencia entre los límites del rango de medida y los límites del recorrido real (a partir del cual ya no cambia la señal o hay topes mecánicos). Por ejemplo: sobrerrecorrido : -1.5 +3.0 cm (- significa retracción y + extensión). Especificaciones similares deben definirse con los transductores angulares, en grados o radianes. También debe especificarse la máxima fuerza o par (sobrecarga) que se puede ejercer sobre el eje sensor cuando éste llega a los topes mecánicos sin que se dañe el transductor.

La alineación y centrado (con respecto a la caja de montaje) del eje sensor, así como el juego axial y radial deben quedar especificadas y el descentrado debe especificarse en los transductores que llevan engranajes. La fuerza (o par si es transductor angular) requerida para iniciar el movimiento del eje, reflejado por un cambio de señal a la salida es la denominada fuerza o par de movimiento inicial. Este valor es siempre mayor que el de la fuerza o par necesarios para mantener el movimiento.

Como características eléctricas deben tenerse en cuenta: la forma de onda, fase, forma de los pulsos (tiempos de subida y bajada), niveles de tensión para "1" y "0", así como características de la alimentación y carga.

De entre las prestaciones el rango es más complejo de definir en los transductores de desplazamiento que en otros tipos de transductores. El rango en los transductores de desplazamiento, puede verse como "recorrido eléctrico", "carrera eléctrica", "deflexión a fondo de escala", "rango lineal", "carrera típica" o "carrera total". Como que la definición del rango es fundamental en éste tipo de transductores, es importante indicar unos puntos de referencia, válidos tanto para lineales como angulares excepto para los codificadores angulares incrementales. Estos puntos de referencia pueden determinarse de dos maneras: 1). mediante un dimensionado preciso entre un punto del eje sensor (en el caso de transductores de contacto) o un punto del espacio (transductores sin contacto) y un punto de la caja del transductor; o 2). por una medida del valor de salida (normalmente en la zona de medida cero) en el punto de referencia. La polaridad del rango también debe definirse, normalmente es positiva al alejarse del transductor (lineales) o al girar en sentido horario (angulares).

La salida se define en términos de sensibilidad en vez de en términos de salida a fondo de escala o puntos finales, pudiendo el usuario definir los puntos extremos; esto introduce modificaciones en la manera de definir otras características, como las características estáticas respecto a la forma convencional. En los transductores cuya salida es función de la excitación esta dependencia debe quedar implícita en la definición de la sensibilidad. En otros transductores la salida se define en función del ángulo de fase (en vez o además de la amplitud en tensión). Otras veces se define la salida a través de magnitudes relacionadas con los

circuitos acondicionadores o visualizadores con los que está previamente calibrado.

La salida de los codificadores incrementales viene determinada por el número de pulsos por vuelta (angulares) o por unidad de longitud (lineales), si se realizan salidas debidas a cabezas de lectura múltiples con circuitos electrónicos adicionales, debe indicarse. En los codificadores absolutos, deben especificarse la resolución (número de bits por palabra), tipo de código usado (binario, BCD, etc..) tipo de lógica usada y polaridad, rotación a la salida (pulsos, grados o metros ...). Si un transductor produce dos o más salidas debe especificarse su interrelación.

Características fundamentales son la repetibilidad y la linealidad. También deben especificarse la salida para la posición de referencia, así como su tolerancia. Errores de montaje o de orientación de transductores también deben ser tenidos en cuenta.

La única característica dinámica esencial es la máxima velocidad del eje (hasta la cual funciona sin daño o degradación de prestaciones). También es importante la velocidad continua a que pueda someterse en lapsos largos y los cambios de velocidad durante la aceleración o el estado permanente tanto en transductores de desplazamiento lineal como angular (en RPM o unidades de longitud por segundo...).

En cuanto a los criterios de selección del transductor para una aplicación determinada, influye principalmente las características del sistema de medida (señales de alto o bajo nivel, C.C., C.A., frecuencia modulada, digital) y el rango de medida; otros son los requerimientos físicos y de instalación, características de las superficies y material del objeto (transductores sin contacto),

resolución, estabilidad, esperanza de vida y por fin las características de masa, tamaño y requerimientos energéticos. Las condiciones ambientales donde el transductor debe trabajar (temperatura, vibración, etc..) son importantes y los rangos de permisividad deben estar muy claramente definidos en los transductores de desplazamiento.

- 1 Jack p. Holman "METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS" Mc Graw Hill 1984 Pp. 7
- 2 Jack P. Holman, Idem Pp. 7
- 3 Collett-Hope "MEDICIONES EN INGENIERIA" G.G. Pp. 19
- 4 Jack P. Holman, Idem Pp. 8
- 5 Jack P. Holman, Idem Pp. 8
- 6 Jack P. Holman, Idem Pp. 8
- 7 Collett-Hope, Idem Pp. 19
- 8 Jack P. Holman, Idem Pp. 8
- 9 Jack P. Holman, Idem Pp.8,9
- 10 Collett Hope, Idem Pp. 57
- 11 Harry N. Norton "SENSORES Y ANALIZADORES" Colección Electrónica/Informática G.G. 1982 Pp. 115
- 12 Collett-Hope, Idem. Pp. 29

CAPITULO IV

**ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA ELECTRONICO DE
MEDICION DE LONGITUDES.**

IV. ELEMENTOS CONSTITUTIVOS DEL SISTEMA ELECTRONICO DE MEDICION DE LONGITUDES SIN CONTACTO.

En este capítulo se introduce el funcionamiento detallado del sistema de mediciones de longitudes sin contacto propuesto.

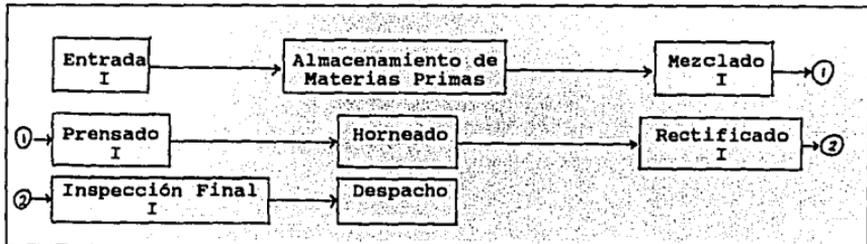
4.1 DEFINICION DEL CASO A ESTUDIAR.

Como ya se mencionaba en la introducción, el presente proyecto pretende dar solución a los problemas que ocasiona la medición con contacto en el proceso de producción de ruedas y cuerpos abrasivos que detallare a continuación:

Las ruedas y cuerpos abrasivos comunes, están formados por materiales en grano muy duros tales como el óxido de aluminio o el carburo de silicio aglomerados por medio de ligas resinosas o vitrificadas, formando cuerpos de formas circulares con barreno o rectangulares conocidos comunmente como ruedas de esmeril, discos y limas, cuya función es desbastar, pulir o cortar materiales tales como metales, piedra y concreto.

La abrasión es el efecto de raer o desgastar por fricción y un abrasivo es un cuerpo duro que se usa pulverizado o aglomerado para pulimentar o desbastar.

El proceso de producción de éstos cuerpos abrasivos se ilustra a continuación:



Durante las etapas de inspección I de Prensado, rectificado e Inspección final, existen procedimientos de medición de características dimensionales del producto y durante ellas, tanto el producto como los palpadores del equipo de medición sufren severos daños.

Los casos geométricos, mas comunes que se producen en este proceso son ruedas con barreno cocéntrico cuyas características dimensionales críticas y comunmente medidas son sus diámetros interior y exterior, grosor, ovalamiento y descentrado del barreno, en el caso de las limas o productos rectangulares las dimensiones de longitud son controladas y medidas aun que no se consideran críticas. Por todo lo anterior para los fines ilustrativos del presente proyecto a programar, la secuencia de medición sera la de las ruedas abrasivas que en general son de la siguiente forma.

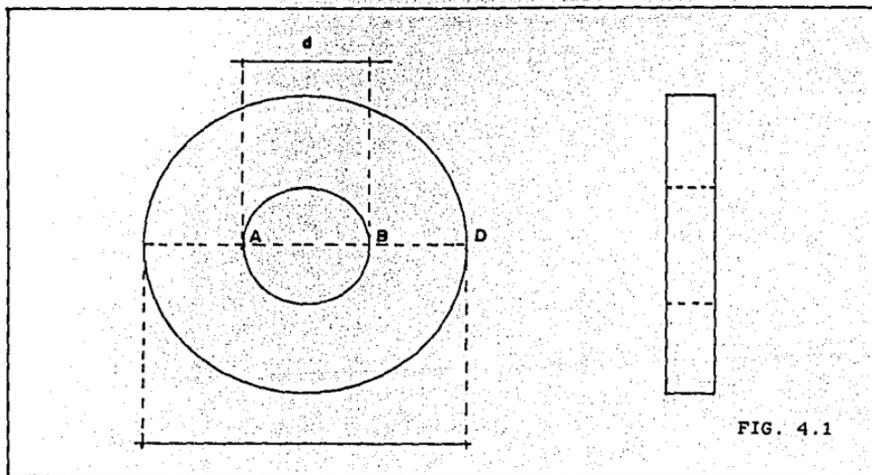


FIG. 4.1

Con las prestaciones del equipo, para poder medir otro material de diferente geometría solo basta con reprogramar la secuencia del P.L.C.

4.2 ALGORITMO DE FUNCIONAMIENTO.

El siguiente algoritmo presenta la secuencia de operaciones que gobernará el funcionamiento de éste sistema:

- 1.- Se enciende el sistema.
- 2.- Se escoge el tipo de funcionamiento (manual o automático).
Si se elige automático se pasa a (3), si se elige manual a (18).

Funcionamiento Automático.

- 3.- Se introduce el número total de objetos a medir (R).
- 4.- Se coloca la rueda sobre la mesa de apoyo y se asigna $R = 1$.
- 5.- Se ajustan los apoyos centradores de la rueda.
- 6.- Activa motor transportador del sensor de proximidad y codificador para tarar el sistema.
- 7.- Inicia la medición al activarse motor en avance lento del sensor de proximidad acoplado al codificador de desplazamiento.
- 8.- Registra el valor medido en el codificador de desplazamiento en el momento de existir el primer cambio de señal en el sensor de proximidad electro-óptico. Se asigna éste a la variable A_R ó A'_R . (Los valores asignados a variables primas son la segunda medición que se realiza de la misma característica en la misma rueda después de haberla girado 90 grados).
- 9.- Registra el valor medido en el codificador de desplazamiento en

el momento de existir el segundo cambio de señal en el sensor de proximidad electro-óptico. Se asigna éste a la variable B_R ó B'_R .

10.-Se calcula la resta de ambas distancias y se obtiene el barreno

$$d_R = B_R - A_R \quad \text{ó} \quad d'_R = B'_R - A'_R.$$

11.-Registra el valor medido en el codificador de desplazamiento en el momento de existir el tercer cambio de señal en el sensor de proximidad electro-óptico. Se asigna éste a la variable D_R ó D'_R .

12.-Si ya se giro la rueda 90 grados se pasa al punto (13) si no, se habren los apoyos, se gira la rueda 90 grados y se repite la secuencia desde el punto (5).

13.-Se graban en memoria los valores d_R , d'_R , D_R y D'_R .

14.-Se calculan los siguientes parámetros y se graban en memoria:

Ovalamiento exterior $O_R = D_R - D'_R$

Ovalamiento interior $V_R = d_R - d'_R$

Excentricidad $ER =$ el valor que resulte mayor de:

$$(A_R - (D_R - B_R)) \quad \text{y} \quad (A'_R - (D'_R - B'_R))$$

Diámetro exterior $DOR = (D_R + D'_R)/2$

Diámetro interior $dOR = (d_R + d'_R)/2$

15.-Se retira la rueda.

16.-Si $R = R$ declarado se pasa al punto (17), si no se incrementa el valor de R en uno, se coloca la rueda siguiente en el medidor y se repite la secuencia desde el punto (5).

17.-Se genera reporte escrito con los siguientes datos del lote:

- Diámetro exterior promedio D .

Valor máximo de Diámetro exterior D máx.

Valor mínimo de Diámetro exterior D mín.

Dispersión de las medidas de D .

- Diámetro interior promedio d .
Valor máximo de Diámetro interior d máx.
Valor mínimo de Diámetro interior D mín.
Dispersión de las medidas de d .
- Ovalamiento promedio O .
Valor máximo de ovalamiento O máx.
Valor mínimo de ovalamiento O mín.
Dispersión de ovalamiento.
- Excentricidad promedio E .
Valor máximo de excentricidad E máx.
Valor mínimo de excentricidad E mín.
Dispersión de Excentricidad.

Funcionamiento Manual.

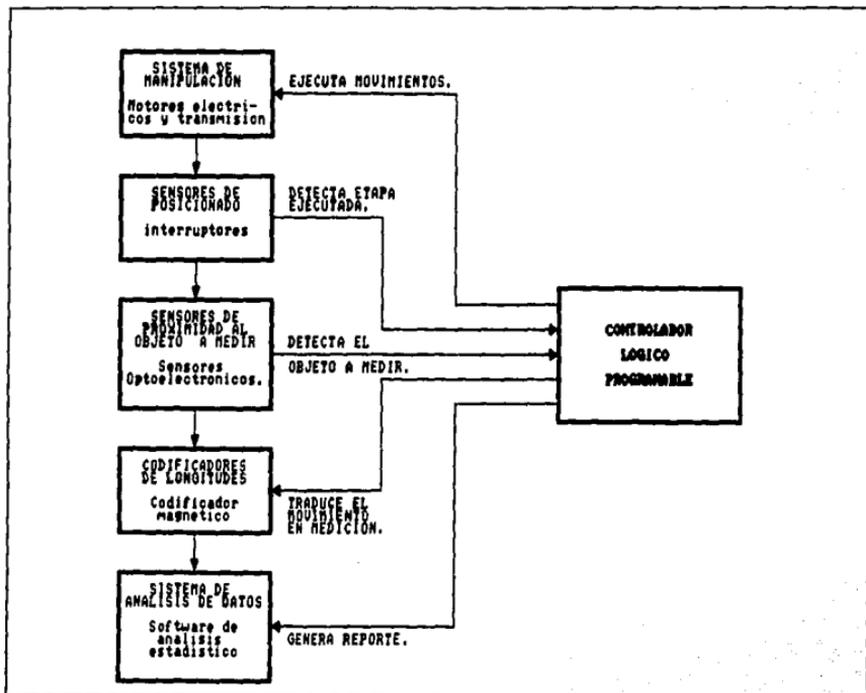
18.-Se desactivan los motores y sensores de posicionamiento y sólo funcionan los sensores de proximidad y el codificador con su display para dar las lecturas.

4.3 DIAGRAMA DE LOS ELEMENTOS BASICOS DEL SISTEMA

En el siguiente diagrama a bloques se definen los elementos funcionales básicos del sistema que realizarán la secuencia de operaciones definida.

Los detalles técnicos de los elementos que forman cada bloque se darán en los capítulos V y VI.

(DIAGRAMA 4.2)



CAPITULO U

EL CONTROLADOR ELECTRONICO DEL SISTEMA AUTOMATICO

V. EL CONTROLADOR ELECTRONICO DEL SISTEMA AUTOMATICO.

La automatización de un proceso industrial depende de la capacidad que exista de controlar ese proceso con poca o ninguna ayuda por parte humana.¹ En general el control conlleva el arranque, la parada y la regulación del movimiento de la posición o del flujo de cada uno de los componentes del mismo. A su vez, la capacidad para controlar depende usualmente de las posibilidades que existan para monitorizar o medir variables durante el proceso de modo que pueda asegurarse que el producto final es exactamente como se desea.

Las entradas del sistema de control consisten en sensores capaces de medir el estado de las variables más importantes del proceso, pero el auténtico núcleo del sistema es el controlador electrónico.

Los controladores programables son dispositivos compactos que no sólo son capaces de controlar un proceso o una máquina, sino que también pueden ser programados o reprogramados con rapidez si surge la necesidad.

Un controlador acepta información concerniente a un proceso, adopta unas decisiones basándose en ésta información, realiza algún tipo de acción sobre el proceso y supervisa los resultados. Los controladores electrónicos están basados en procesadores programables construidos mediante tecnología de semiconductores y tienen las ventajas de bajo costo, fiabilidad y reducido tamaño de los componentes electrónicos.

Estos son "programables por software", por lo tanto las instrucciones que ejecutan están almacenadas en una memoria y pueden modificarse rápida y fácilmente.

En la siguiente figura (5.1) se muestra el diagrama de bloques de un ordenador digital;

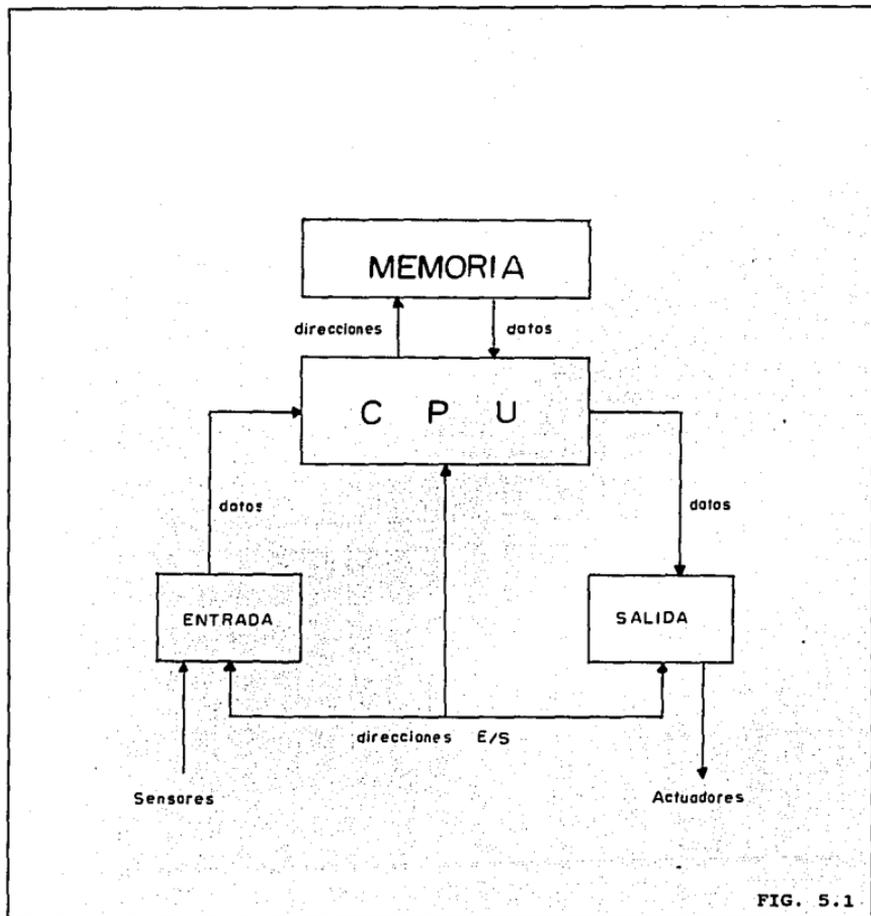


FIG. 5.1

El bloque de entrada consiste en uno o más canales de entrada conectados a la CPU. La selección de una entrada particular la realiza la CPU colocando su dirección en el bus de direcciones. Los datos se transfieren a la CPU a través del bus de datos. Dependiendo del diseño, éste bus es capaz de transportar en paralelo 4,8,16 o 32 bits.

La unidad de memoria debe ser capaz de almacenar los códigos binarios que recibe de la CPU, así como de proporcionar a la CPU el código binario almacenado en una determinada posición de memoria cuando ésta se lo requiera. El CPU controla el funcionamiento del mismo, decodifica (interpreta) y ejecuta las instrucciones, realiza las operaciones lógicas y aritméticas, recibe los datos procedentes de la entrada y envía información a la salida.

El lenguaje de programación del PLC se utiliza para permitir el control por ordenador de las salidas, basándose en los valores de entrada. La relación entre la entrada y la salida se describe mediante lógica serie-paralelo.²

En un diagrama de éste tipo:

1.- Los bornes de la fuente de alimentación están separados en dos barras verticales y los diversos circuitos de control hacen el papel de "peldaños" de la escalera.

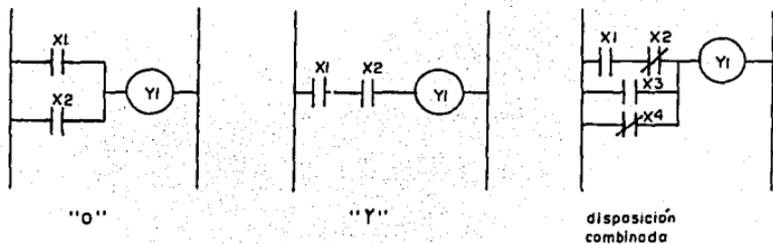
2.- Los interruptores o relés cuyos contactos se encuentran abiertos en su posición normal (NA) ó normalmente cerrados (NC), se representan como aparecen en la (FIG. 5.2)



FIG. 5.2

Las entradas se designan con la letra X y los relés de control con la letra C

3.-Las salidas se representan mediante un círculo y se designa con la letra Y. (FIG. 5.3)



Diagramas para funciones lógicas.

FIG. 5.3

5.1 RELE DE CONTROL

Además de para proporcionar la capacidad para la toma de decisiones, mediante conexiones que forman circuitos lógicos, los relés pueden utilizarse, con preferencia sobre los interruptores, para controlar el corte o suministro de la alimentación en un lugar remoto o para un dispositivo de alta tensión o por el que circulan corrientes elevadas.

Hoy día, cuando se utiliza un P.L.C, los únicos relés hardware reales presentes son los requeridos por determinadas salidas que actúan sobre la máquina. Las funciones lógicas que requiera el proceso de control, para almacenar una secuencia de estados o para combinar múltiples caminos lógicos, se implementan mediante circuitos lógicos de semiconductores.

Estos "relés de control" no son realmente relés, sino tan sólo posiciones de una memoria de semiconductores. Los códigos digitales almacenados en esas posiciones representan el estado de "los contactos de un relé". Por tanto el estado de éstos "contactos", en los P.L.C. se determina examinando el contenido de dichas posiciones de memoria.

5.2 ELEMENTOS DE UN P.L.C. (Controlador Lógico Programable).

1.-En un P.L.C., no intervienen partes mecánicas y la lógica de control se lleva a cabo en la memoria, en lugar de mediante relés. Esto da mayor seguridad.

2.-Equivalentes electrónicos de dispositivos electromecánicos tales como temporizadores de tambor, contadores, etc.

3.-Periféricos E/S activados por el secuenciador principal y son capaces de realizar su tarea sin intervención de la unidad principal.

5.3 FUNCIONAMIENTO DE UN P.L.C.

Básicamente funciona como un secuenciador programable que, detecta las condiciones de entrada que son de interés, luego resuelve las ecuaciones lógicas programadas y prepara los dispositivos de actuación para realizar las tareas concretas.

Los bloques funcionales son:

a). **Entradas.**- permite detectar los valores de los parámetros de entrada (posiciones, presencia de objetos, etc.).

b). **Secuenciador.**- sincroniza todas las operaciones mediante lógica de semiconductores.

c). **Programador.**- controla la secuencia de operaciones realizada a partir del diagrama serie paralelo.

d). **Salida.**- Los puntos de salida se van activando o desactivando de acuerdo con los resultados obtenidos al aplicar la lógica serie-paralelo a las entradas presentes en los distintos instantes de tiempo.

5.4. DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SECUENCIA A PROGRAMAR.

Para nuestro caso la lista de entradas y salidas del sistema (FIG. 5.5), de acuerdo al siguiente diagrama de flujo (FIG. 5.4), que describen la secuencia a programar, dan como resultado el diagrama de escalera serie-paralelo de la FIG. 5.6. que es el que se introducirá en el P.L.C.

Para el caso de este ejemplo el objeto a medir es una rueda.

DIAGRAMA DE FLUJO DE LA SECUENCIA A PROGRAMAR.

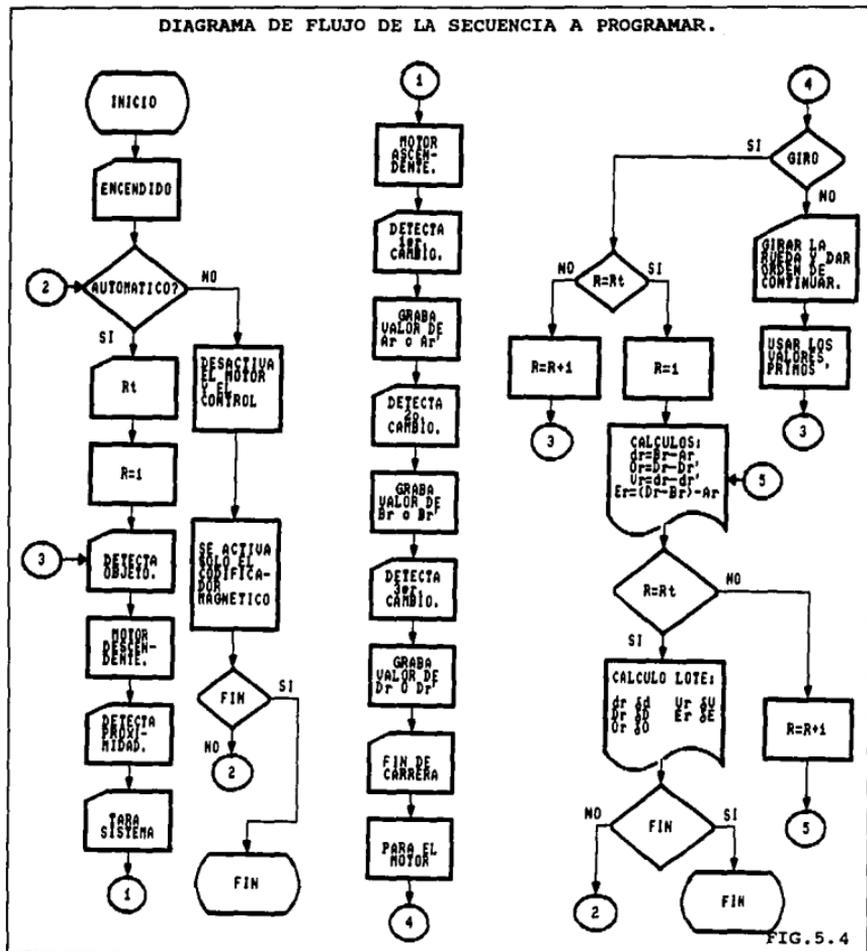


FIG. 5.4

5.5. CUADRO DE ENTRADAS Y SALIDAS EN EL CASO DEFINIDO.

De acuerdo al caso que definimos en el apartado 4.1. de éste trabajo, presento a continuación el cuadro de entradas y salidas del sistema cuando su programa tenga que seguir el diagrama de flujo anterior.

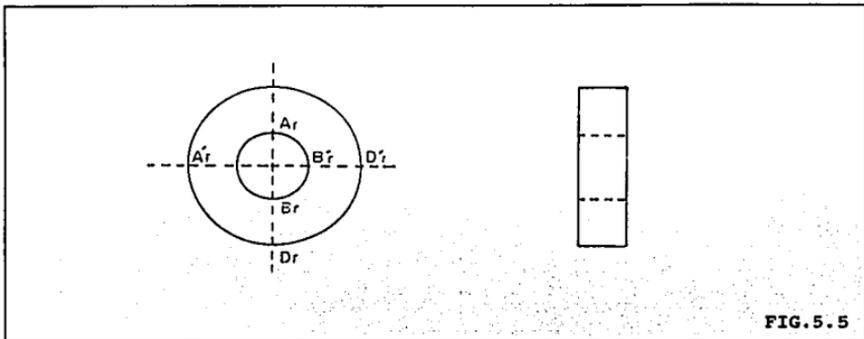


FIG.5.5

ENTRADAS

Total 24

- X1 Encendido.
- X2 Selecciona automático.
- X3 Dato número de lote Rt.
- X4 Detecta objeto a medir.
- X5 Detecta proximidad al objeto a medir.
- X7 Detecta 1er cambio de señal.
- X8 Detecta 2o. cambio de señal.
- X9 Detecta 3er cambio de señal.
- X10 Detecta fin de carrera.
- X11 Si no se ha girado la rueda se gira 90 grados y da señal.
- X12 Se giró rueda pero $R < Rt$
- X13 Giró rueda pero $R = Rt$
- X14 Si $R < Rt$
- X15 Si $R = Rt$
- X16 No ha terminado
- X17 Terminó.

SALIDAS

Total 17

- Y1 Activa sólo el codificador (pasa a X16).
- Y2 Activa todo y pasa a X3
- Y3 $R=1$
- Y4 Enciende motor (descendente)
- Y5 Tara el sistema.
- Y6 Enciende motor (ascendente)
- Y7 Graba valor en Ar ó A'r.
- Y8 Graba valor en Br ó B'r.
- Y9 Graba valor en Dr ó D'r.
- Y10 Para el motor del actuador.
- C11 Regresa a X4 y usan las variables primas (').
- C12 Señal para contador $R=R+1$ y vuelve a X4.
- Y13 Señal para $R=1$ y se hacen los cálculos por rueda.
- C14 Señal para contador $R=R+1$ y vuelve a X4.
- C15 Cálculos y operaciones promedio del lote.
- Y16 Regresa a paso 2
- C17 Fin.

5.6. DIAGRAMA DE ESCALERA DE LA SECUENCIA A PROGRAMAR.

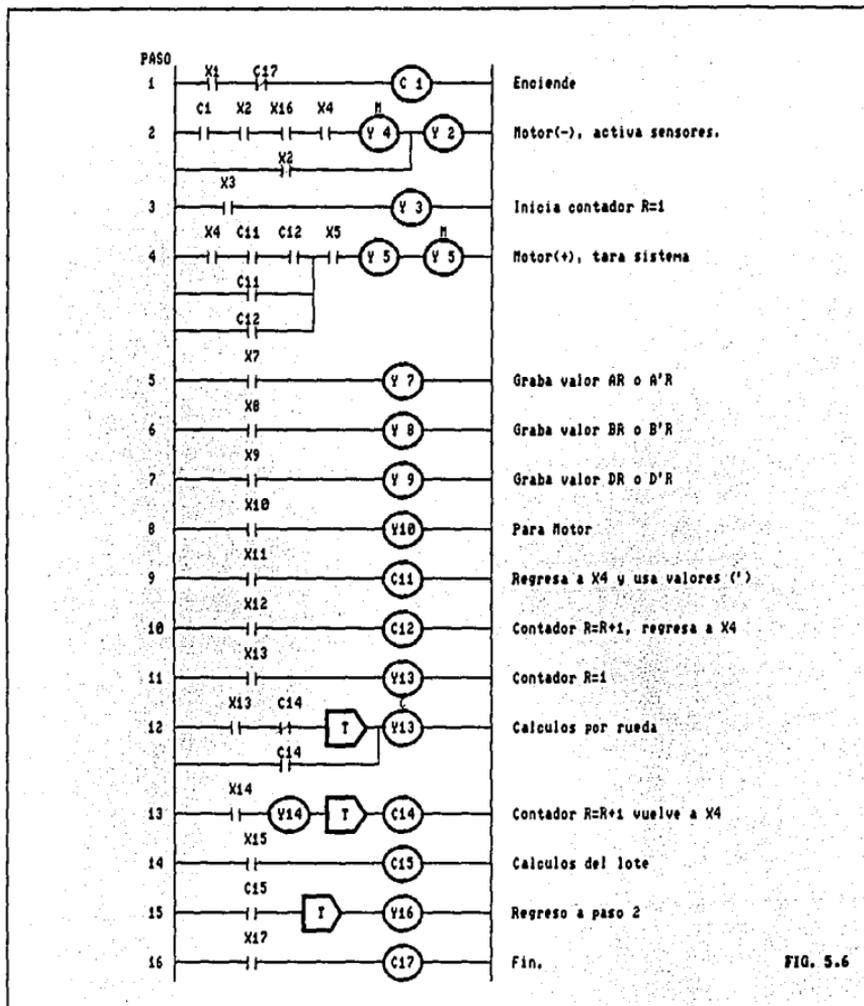


FIG. 5.6

5.7. ESPECIFICACIONES DEL P.L.C. ADECUADO PARA EL SISTEMA.

Cuando se trata de escoger un PLC, existen características importantes que hay que tomar en cuenta:

1.- Número de entradas y salidas. Este deberá tener puntos de E/S suficientes como para cumplir con los requerimientos de la aplicación, además de algunos recursos extra o de sobra para permitir futuras expansiones o mejoras.

2.- Capacidad eléctrica de las entradas y salidas. Cada E/S es capaz de o bien aceptar o detectar (actuar como sumidero), o bien de suministrar (actuar como fuente) una cantidad determinada de corriente o de tensión. Si el controlador es capaz de proporcionar la corriente o el voltaje necesarios para accionar directamente dispositivos externos, podemos ahorrar una cantidad considerable de hardware externo.

En nuestro caso, todas las entradas pueden ser digitales con valores de umbral establecidos por las mismas entradas. Las salidas son tanto digitales como analógicas, el valor de voltaje y corriente máximos lo establecerá el motor actuador que utilizaremos siempre y cuando no exceda la capacidad de la salida, ésto únicamente para las salidas analógicas..

3.- El tiempo de barrido. Es la velocidad con la que el PLC es capaz de ejecutar el programa correspondiente a la lógica serie-paralelo. Esto suele especificarse en función del tiempo invertido en la ejecución de 1000 nodos de la lógica.

4.- Memoria disponible para el usuario. La cantidad de memoria que va a requerir el usuario estará directamente relacionada con la longitud y la dificultad de la lógica que sea preciso resolver en esa aplicación concreta. Las aplicaciones más sencillas, con apenas unos pocos relés de control, no necesitan de una cantidad de memoria significativa. Si se desea determinar la cantidad de memoria que se precisa, será necesario realizar una estimación de la lógica del programa.

5.- Funciones aritméticas. Normalmente un PLC puede realizar funciones aritméticas que pueden utilizarse para inicializar temporizadores y para modificar datos.

6.- Temporizadores y contadores. Utilizando un PLC, estas funciones se manejan desde el programa (software) y no influyen para nada en el coste del sistema, están limitadas en número únicamente por el tamaño de la memoria de que se dispone.

Concluyendo el PLC que podemos utilizar debe de tener como básicas las siguientes características que cumplen muchos PLC comerciales:

Número mínimo de entradas:	24	
Número mínimo de salidas digitales:	15	
Número mínimo de salidas analógicas:	2	
Tensión de entrada:	24	Vcc
Intensidad de entrada:	1	A
E/Señal "0":	0-5	V
E/Señal "1":	13-33	V y 7 mA
Tensión de salida digital:	24	Vcc
S/Señal "1":	24	V y 1 A
S/Señal "0":	4.8	V y 1 mA
Tensión de salida analógica:	60	V ca
Intensidad de salida analógica:	4-20	mA
Frecuencia:	50-60	Hz

¹ Neil M. Schmitt, Robert F. Farwell, "A FONDO: ROBOTICA Y SISTEMAS AUTOMATICOS" Ed. Anaya Multimedia 1983 Pp. 13

² Neil M. Schmitt, Robert F. Farwell, Idem Pp.113

Como ejemplo de lenguajes de programación para PLC puede citarse el STEP 5 para los SIMATIC de SIEMENS. Todos los posibles lenguajes de programación se basan en los diagramas SERIE-PARALELO, incluso muchos programadores aceptan que se les programe con los citados diagramas.

CAPITULO VI

SISTEMA SENSOR Y ACTUADOR

VI. SISTEMA SENSOR Y ACTUADOR.

La función de los sensores del sistema automático se puede dividir en dos categorías principales: estado interno y estado externo. Los de estado interno tratan con la detección de variables como la posición de los mecanismos. Los de estado externo tratan con la detección de variables tales como: alcance, proximidad y contacto.

Por la naturaleza de éste proyecto, me limito a exponer las características de los sensores de estado externo que también pueden clasificarse como *sensores de contacto o no contacto*.

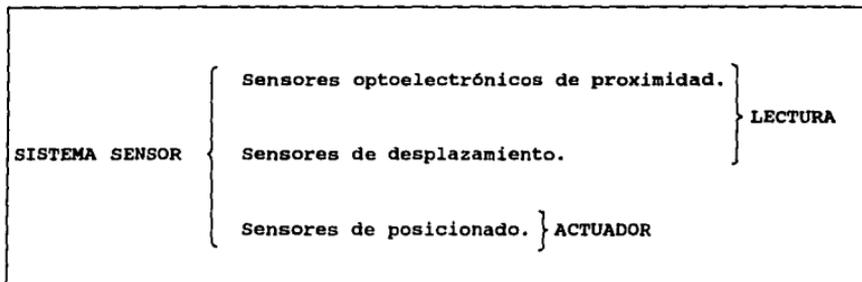
La primera clase de sensores responde al contacto físico, tal como el tacto, deslizamiento y torsión. Los sensores de no contacto se basan en la respuesta de un detector a las variaciones en la radiación electromagnética o acústica. Los ejemplos más destacados de los sensores de no contacto miden el alcance, la proximidad y las propiedades visuales de un objeto.

En el capítulo III se detallaron algunos de los métodos sensores más comunes utilizados para detectar objetos y medir distancias. En éste capítulo hablaré específicamente de los sistemas sensor y actuador elegidos para el proyecto propuesto.

6.1 SISTEMA SENSOR A UTILIZAR.

La parte principal de éste proyecto es el sistema sensor del mismo debido a que la medición de longitud se realizará sin tocar la pieza al detectarla por medio de sensores optoelectrónicos de proximidad. El transductor que convertirá el desplazamiento del sensor de proximidad en la señal eléctrica que se utilice para dar la lectura

digital, será una escala magnética por la precisión y exactitud requeridas. Por último el posicionado de cada parte dinámica de la máquina se detectará por medio de swichs que controlarán el sistema actuador formado básicamente por motores eléctricos.



6.2 SENSORES ELECTROOPTICOS DE PROXIMIDAD.¹

Son dispositivos sensibles a la luz. Las fuentes luminosas ofrecen una fuente de energía única. Esta energía (W) que se transmite en paquetes discretos denominados fotones, tienen un nivel que se relaciona directamente con la frecuencia de la onda luminosa viajera (f) de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$W = h f$$

donde h se denomina constante de Planck y su valor es de 6.624×10^{-34} joules-segundo.

A su vez la frecuencia está relacionada directamente con la longitud de onda de la señal viajera

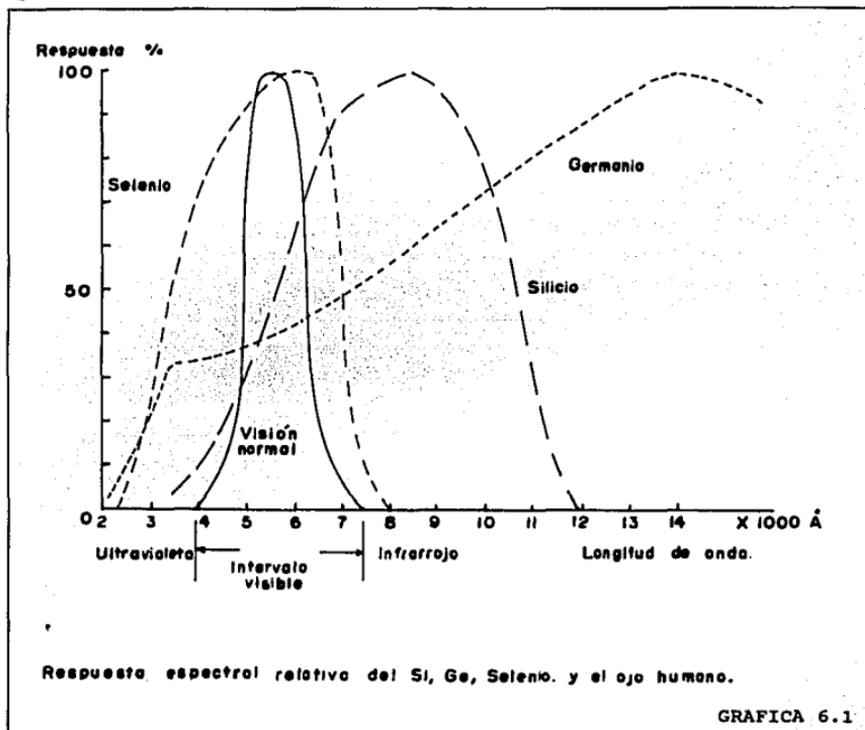
$$\lambda = v/f$$

λ = longitud de onda (m)

v = velocidad de la luz 3×10^8 (m/s)

f = frecuencia (hz)

La longitud de onda es importante porque determinará el material que se utilizará en el dispositivo optoelectrónico. (GRAFICA 6.1)



El número de electrones libres que se genera en cada material es proporcional a la intensidad de la luz incidente. La intensidad luminosa es una medida de la cantidad de flujo luminoso que cubre un área superficial particular. El flujo luminoso se mide normalmente en lumen (lm) o watt. Las dos unidades se relacionan mediante la expresión

$$1 \text{ lm} = 1.466 \times 10^{-10} \text{ W}$$

La intensidad luminosa se mide por lo general en lm/pie², pie-candela (pc) o W/m².

$$1 \text{ lm/ft}^2 = 1 \text{ fc} = 1.609 \times 10^{-12} \text{ W/m}^2$$

El fotodiodo es un dispositivo semiconductor de unión p-n cuya región de operación está limitada a la región de polarización inversa. (FIG. 6.1).

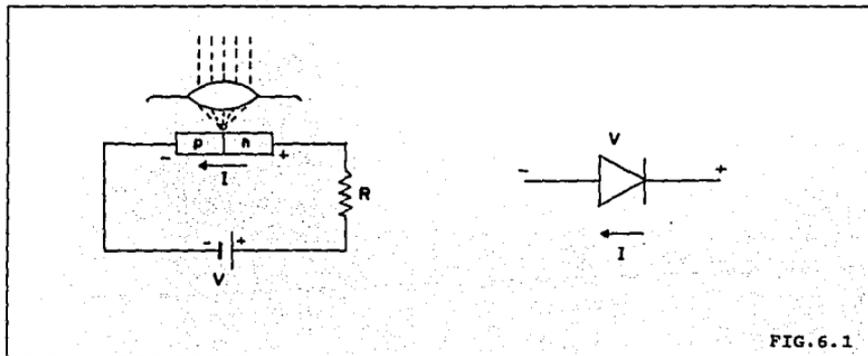
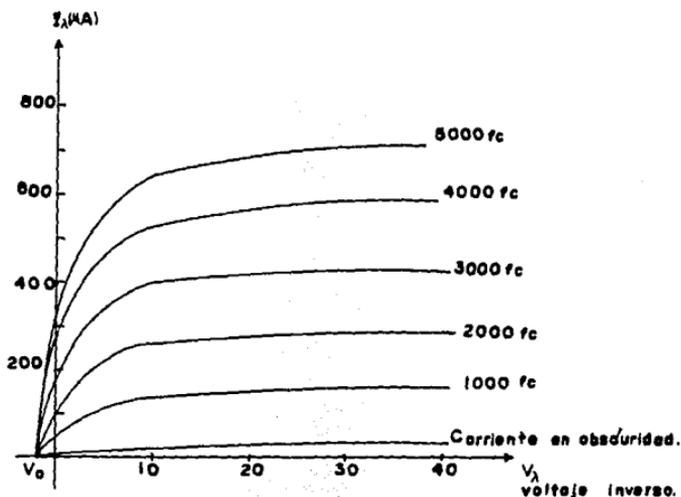


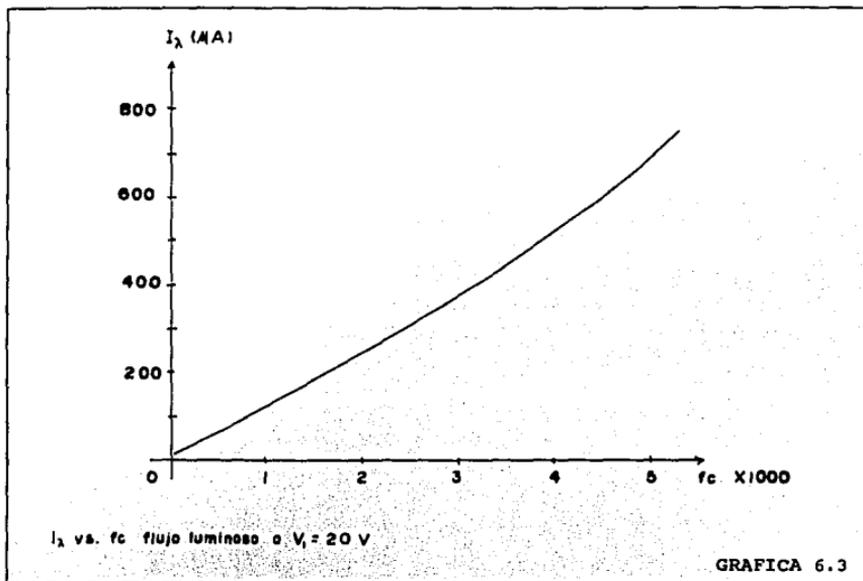
FIG. 6.1

La aplicación de luz en la unión p-n dará como resultado una transferencia de energía de las ondas luminosas incidentes (en forma de fotones) a la estructura atómica, lo que origina un número incrementado de portadores minoritarios y un mayor nivel de corriente inversa. Esto se muestra claramente en la (GRAFICA 6.2) para diferentes niveles de intensidad.



GRAFICA 6.2

La corriente inversa y el flujo luminoso se relacionan en forma muy cercana a la lineal (GRAFICA 6.3), con respecto a un voltaje fijo V de 20V. Sobre una base relativa podemos considerar que la corriente inversa es en esencia cero cuando no hay luz incidente. Puesto que los tiempos de subida y caída (parámetros de cambio de estado) son sumamente pequeños para éste dispositivo (en el intervalo de los nanosegundos), el dispositivo puede emplearse para aplicaciones de conteo o conmutación a altas velocidades.



El fototransistor tiene una unión p-n de colector a base fotosensible. La corriente inducida por efectos fotoeléctricos es la corriente de base del transistor.

Si se asigna la notación I_b para la corriente de base fotoinducida, la corriente de colector resultante, es

$$I_c = h_{fe} I_b$$

En la (FIG. 6.2) presento un conjunto representativo de características para un fototransistor con la representación simbólica del dispositivo. Un incremento en la intensidad luminosa corresponde a un aumento en la corriente de colector. En la gráfica I_B-H se puede observar el aumento exponencial en la corriente de base con la creciente densidad de flujo. El foto transistor también cuenta con una característica llamada alineamiento angular.

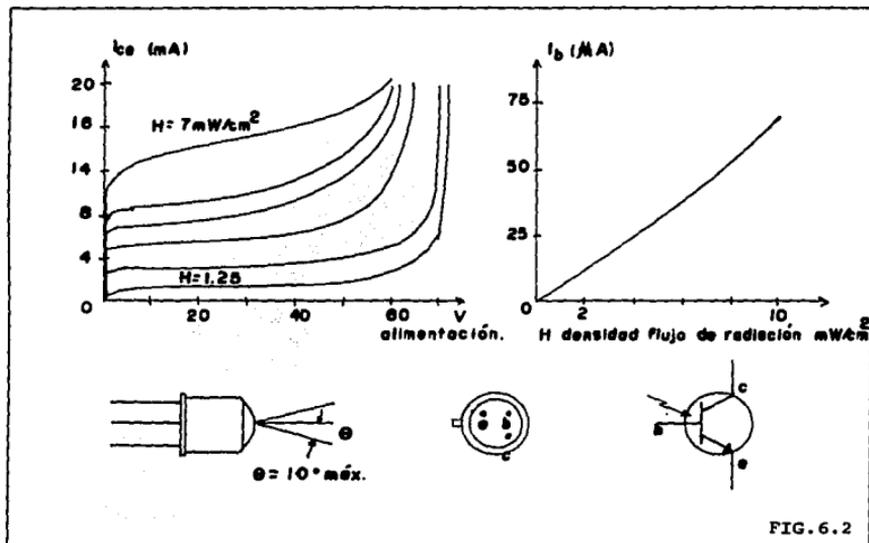


FIG. 6.2

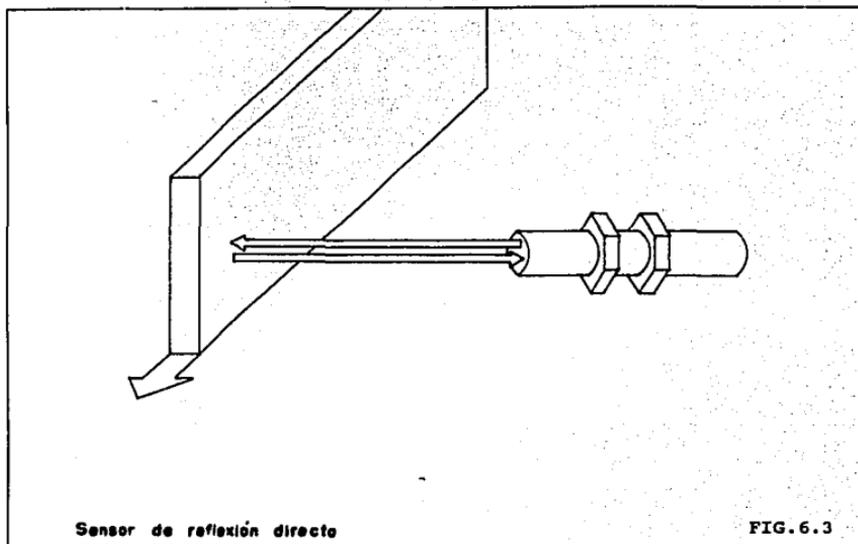
La combinación LED-Fototransistor tiene algunas ventajas importantes sobre la combinación lámpara-celda fotoconductoras u otras combinaciones para detectar proximidad sin contacto mencionadas anteriormente, es por ello que en éste proyecto será utilizada para tal efecto. Algunas de las ventajas son:

- 1.- Un LED tiene una vida extremadamente larga comparada a una lámpara de cualquier clase.
- 2.- Un LED-Fototransistor, puede resistir las vibraciones y los choques mecánicos en los ambientes industriales mucho mejor que una lámpara de filamento, fotocelda, capacitores o bobinas sensoras.
- 3.- Un LED-Fototransistor tiene una velocidad de respuesta más rápida que una lámpara y una celda fotoconductoras, un sistema capacitivo o uno magnético y éste es una gran ventaja para los requerimientos de éste proyecto, que entre otros, esta la conmutación rápida para optimizar la sensibilidad y exactitud del sistema de medición.
- 4.- El material a utilizar en las piezas a medir (abrasivo, resinas o vitrificado), no tienen características eléctricas o magnéticas que ayuden a detectarlo y el arreglo LED-Fototransistor del método óptico sólo requiere un poco de propiedades reflectoras que si poseen casi todos los materiales.

6.2.1 ESPECIFICACIONES DE LOS SENSORES OPTICOS A UTILIZAR.

De acuerdo a datos comerciales y a la exposición anterior los sensores de reflexión optoelectrónicos serán los principales candidatos a ser utilizados en éste proyecto. El principio de funcionamiento se muestra a continuación (FIG. 6.3):

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**



Los datos técnicos de un sensor de reflexión directa que puede servirnos son:

- Distancia nominal: 200 mm (puede variar)
- Frecuencia de conmutación: 200 a 400 Hz

(En nuestro caso, mientras ésta característica sea mayor nos ayuda a obtener mediciones más exactas).

- Tensión de alimentación: 11 a 30 Vcc
- Tensión de salida: $U_D - 3 V$
- Intensidad de carga I_a : 100 mA
- Intensidad de reposo I_f : 35 mA
- Ajuste de sensibilidad.

- Luz infrarroja
- Indicador de estado de conmutación.
- Cuerpo de fundición inyectada de aluminio para temperaturas de funcionamiento de 0 hasta 50 grados centígrados.
- Medidas 20 x 15 x 40 mm.

6.3 SENSORES DE DESPLAZAMIENTO.

Existen varios métodos posibles a utilizar, los más comunes y eficientes utilizan principios magnéticos, ópticos o resistivos.

6.3.1 El sistema de potenciómetro

Consta básicamente de una resistencia por la cual se desliza una escobilla que hará variable a la resistencia y con ella a otras características eléctricas cuando en éstas exista desplazamiento. En las mediciones realizadas con éstas, las tolerancias que se manejan son en promedio de ± 0.025 mm (FIG. 6.3').

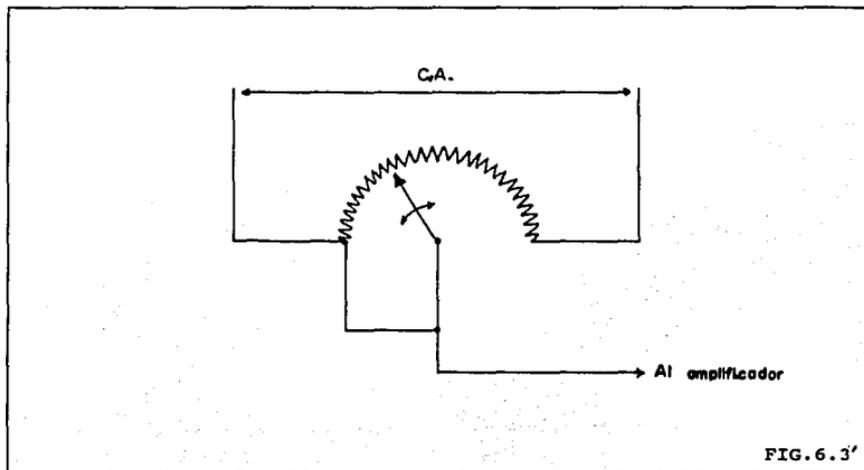
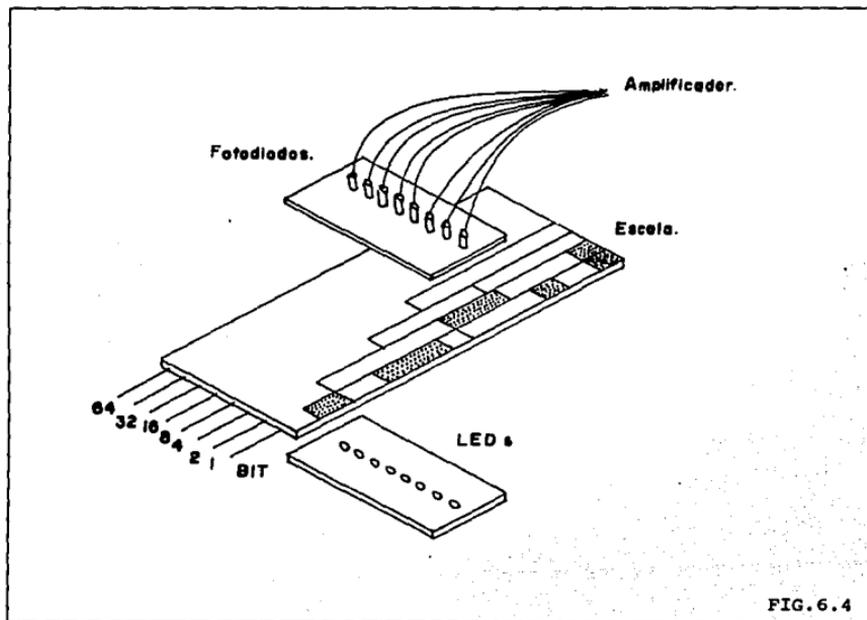


FIG. 6.3'

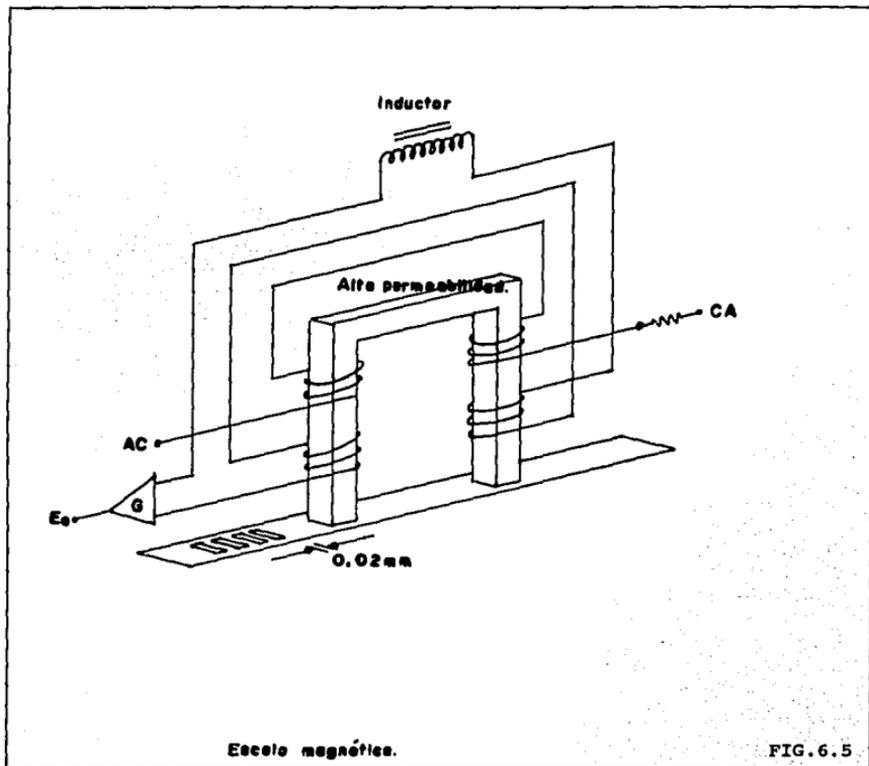
6.3.2 El sistema óptico o escalas ópticas binarias.

Estas escalas tienen depositado un código decimal binario sobre una película transparente de escasamente un metro de longitud. Estas son utilizadas junto con arreglos de LEDs y fotodiodos en un registro fijo, pueden poseer configuraciones de hasta 14 bits y es posible medir longitudes de 3 m con un arreglo de 3 escalas. Comercialmente se pueden lograr resoluciones hasta de 0.005 mm en escalas para rangos de 1600 mm o más. Por ejemplo puedo sugerir usar la escala Mitutoyo modelo AT2N que cubre dichas características y su velocidad de respuesta es de 50 m/min. (FIG. 6.4)



6.3.3 El sistema magnético ó escalas magnéticas.

Se basa en el principio de inducción magnética en una bobina cuando su núcleo está formando un lazo ferromagnético con alta permeabilidad magnética. Una banda fija sobre la que se desliza la bobina inducida contiene grabados, separados a una longitud de 0.02 mm c/u un bit magnético que produce el pulso en la bobina inducida (FIG. 6.5).



En el siguiente cuadro presento las tolerancias y resoluciones características de cada tipo de transductor de desplazamiento.

TIPO DE ESCALAS	TOLERANCIA	DESVENTAJA
Potenciómetro	± 0.025 mm	Disipa energía en forma de calor, fácilmente se puede perder el contacto por flameo.
Optica	± 0.005 mm	
Magnética	± 0.002 mm	

6.3.4 ESPECIFICACIONES DEL SENSOR DE DESPLAZAMIENTO A UTILIZAR.

El sensor de desplazamiento a utilizar puede estar basado en los principios magnético u óptico descritos anteriormente.

Para éste proyecto escojo el método magnético debido a que en el medio en que trabajará el equipo se encuentra grasa y polvo que pueden alterar el funcionamiento correcto del sensor óptico.

Los sistemas de escalas magnéticas están diseñadas para detectar posición y desplazamiento de un sensor magnético en relación a su guía que tiene grabada en su longitud, una serie de señales magnéticas. Al existir desplazamiento del sensor sobre ésta, se genera una señal eléctrica que es convertida en medición u otra señal de control. Esta medición, es transformada y mostrada a través de un

display digital compuesto de detectores, generadores de pulsos y contadores (FIG.6.6).

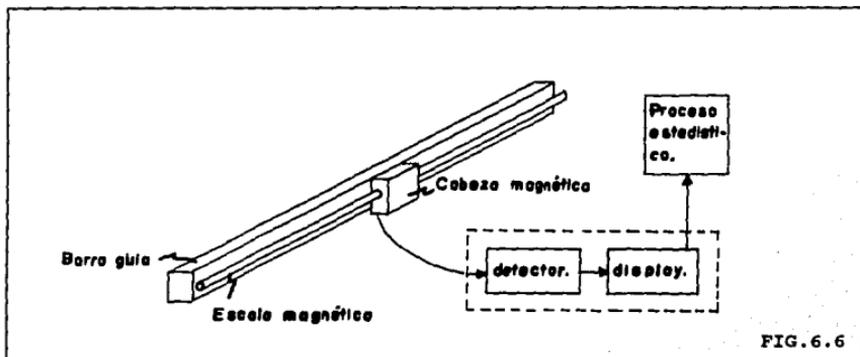


FIG.6.6

Comercialmente podemos encontrar escalas con los siguientes datos técnicos que pueden servirnos:

ESCALAS.

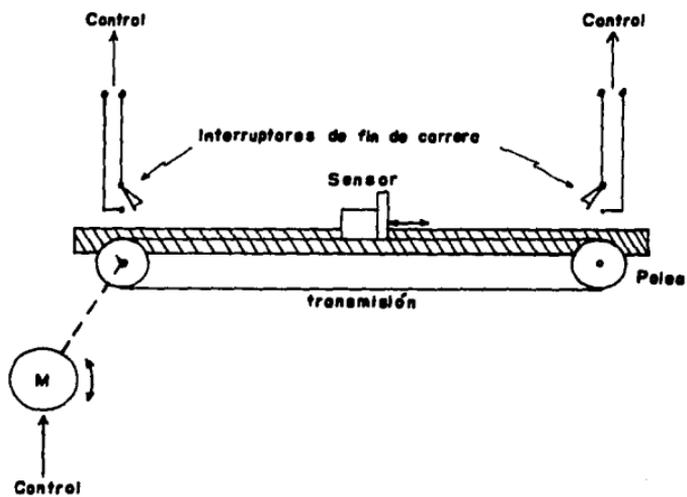
- 1.- Longitud efectiva desde 250 mm y hasta 1550 mm. Nuestras necesidades normalmente no rebasan los 1000 mm por lo que podemos usar cualquiera que se aproxime a la última medida.
- 2.- Tolerancia de $\pm(0.0035 \text{ mm} + 0.005 \text{ mm/m})$. Nuestras tolerancias nominales en el material abrasivo es $\pm 0.2 \text{ mm}$, por lo cual la que nos ofrecen las escalas es más que suficiente.
- 3.- La repetibilidad es de 0.001 mm que da confianza de que las medidas realizadas son precisas.

DISPLAYS.

- 1.- Pueden ser de 1 o 2 ejes (para nuestro caso un eje es suficiente).
- 2.- 7 dígitos \pm signo.
- 3.- Resolución del display 0.002 mm
- 4.- máxima velocidad de respuesta 10 m/min
- 5.- Error máximo ± 1
- 6.- Alimentación AC 110, 120, 220 o 240 V $\pm 10\%$
- 7.- Consumo de potencia 10 o 20 W , según número de ejes.
- 8.- Peso 3.2 o 4.8 Kg

6.4 SISTEMA ACTUADOR.

Los sensores de posicionado tienen la finalidad de indicar al PLC la etapa de la secuencia en la que se encuentra el ciclo de la máquina y así poder tomar decisiones. Cumplen con ésta función los microswich de tres terminales con palanca N.A. o N.C. que comercialmente pueden soportar 10 A y 125 V. Estos cerrarían o abrirían un circuito que indicarían al controlador que el ciclo está en cierta etapa. El circuito de posicionado que alimentará al controlador se muestra en la (FIG. 6.6).

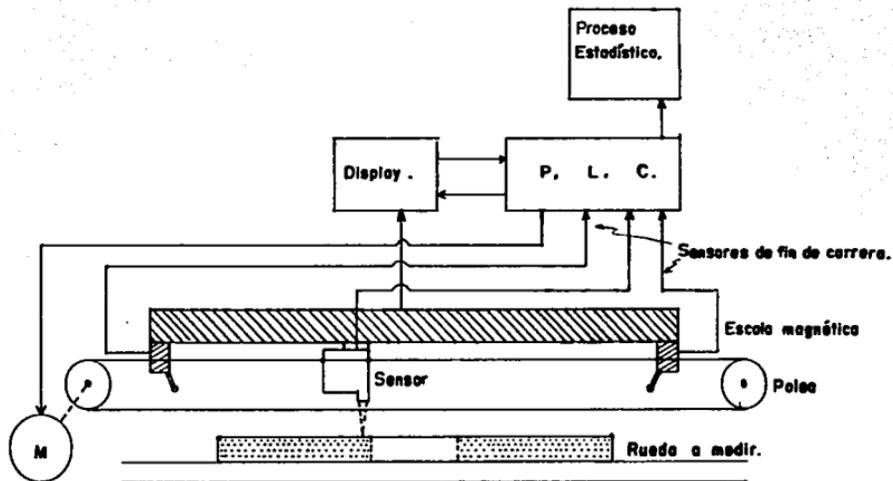


ACTUADOR.

FIG. 6.6

Los elementos actuadores serán servo motores eléctricos de AC, ya que la variable a controlar será una posición mecánica medida en conjunto con la escala magnética elegida. Los servo motores hacen posible posicionar los sensores de proximidad en cualquier punto en un rango limitado por la capacidad de la escala y la ubicación de los microswitch. El servo motor de AC es básicamente un motor de inducción de fase partida con velocidad controlada que mantendrán mayor continuidad en su torque que un cilindro neumático que dependerá de la presión alimentada por una compresora para proporcionar un desplazamiento continuo a los sensores de proximidad y desplazamiento.

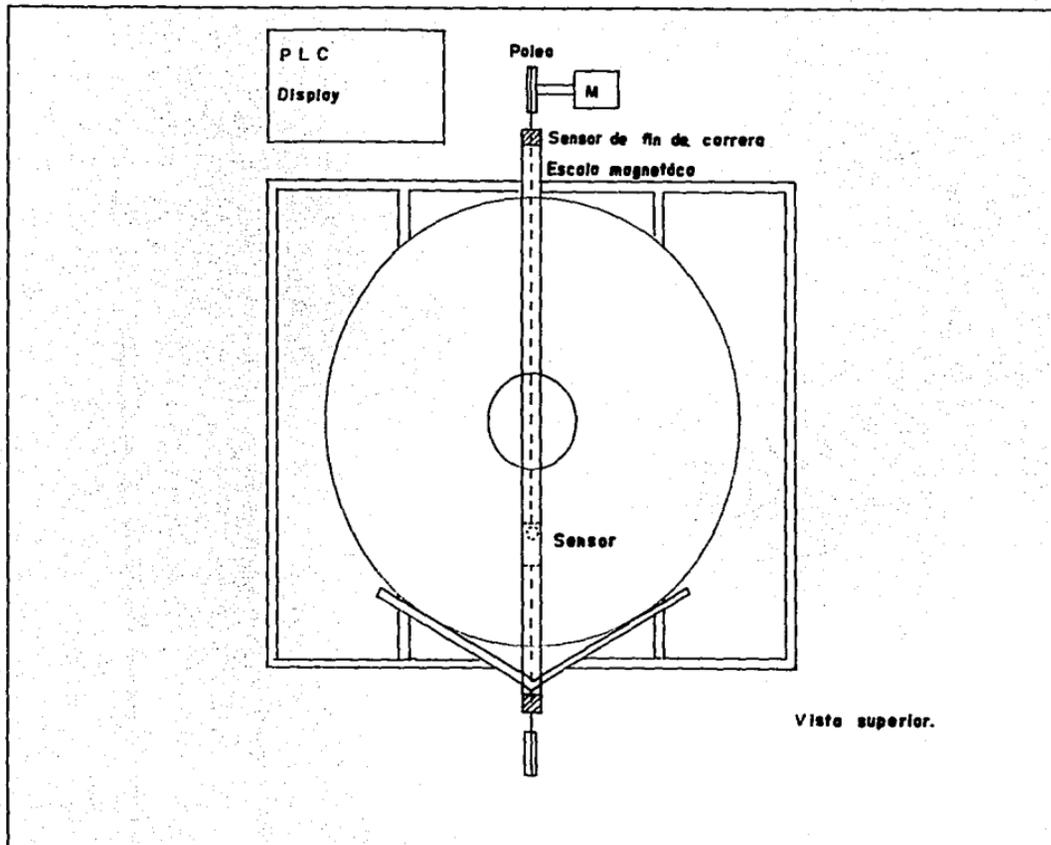
¹ K.S. Fu, R.C. González, C.S.G. Lee, "ROBOTICA: CONTROL, DETECCION, VISION E INTELIGENCIA", Mc. Graw-Hill, 1987 Pp. 275-293



Vista lateral

DIAGRAMA DEL SISTEMA INTEGRADO.

FIG. 6.7



CONCLUSIONES.

En funciones repetitivas suele ocurrir que la mejor forma de realizar el trabajo es automatizado para obtener en resumen mayor repetibilidad en el proceso ya que factores como el cansancio, el aburrimiento o la inexperiencia pueden introducir errores en el proceso como los descritos en el capítulo I.

Al automatizar un proceso las mayores ventajas que se obtienen son:

- Mejorar la precisión ya que un programa que controla el sistema repetirá el ciclo siempre igual al anterior.
- La velocidad para realizar el proceso podría mejorarse ya que un sistema electrónico procesa señales en fracciones de segundo.

Esto mejora considerablemente la calidad del producto ya que su inspección que alimenta al sistema de control de calidad estará poco influido por decisiones, preferencias o caprichos humanos que pueden introducir error a las mediciones y al control de la calidad del producto.

Para aumentar la confiabilidad en la calidad de un producto hay que empezar por aumentar la confiabilidad de las mediciones que se realizan en el proceso y éste fue el objetivo de los anteriores capítulos. Lograr un equipo que integre un sistema de alta eficiencia en el control de la calidad.

Para lograr el anterior sistema se necesitó conocer las características, ventajas y desventajas de cada etapa que lo compone.

En el caso de la etapa sensora se explicaron cuales son las principales técnica de detección sin contacto y los métodos en los que se pueden aplicar para realizar mediciones.

Por la naturaleza del material abrasivo y sus aglutinantes con escasas propiedades magnéticas y también por su costo menor se sugiere utilizar sensores optoelectrónicos aplicados al método de triangulación de exploración reflexiva.

Para detectar el desplazamiento y medirlo se explicaron tres métodos funcionales y cualquiera funcionaria, pero con el fin de mantener las ventajas del acoplamiento sin contacto debido al ambiente de trabajo y a los riesgos de trabajar entre polvos se sugiere utilizar los codificadores ópticos ó magnéticos.

En el sistema de control se eligieron los PLC, ya que son módulos de control compactos para uso industrial con alta capacidad para manejar grandes cargas como lo puede ser una máquina, pueden ser programados rápidamente. Al igual que una computadora están basados en microprocesadores programables de semiconductores y tienen las ventajas de fiabilidad, tamaño reducido y programación sencilla.

El proyecto total cuenta también con una etapa actuadora y una de análisis de datos. La actuadora para efecto de ahorro, mayor control y precisión de los movimientos será accionada por motores eléctricos.

En la parte de análisis de datos y reportes podrá ser aplicado equipo especialmente diseñado para ello tal como los procesadores de Mitutoyo que registran la información capturada del equipo de medición, la procesan por medio de software especializado y generan un reporte que certifica la inspección realizada al material. No se

detalla tanto de éstas dos últimas etapas ya que considero que las etapas realmente importantes en el proyecto son las de detección y control. La primera es la que logra la detección y medición sin contacto de los cuerpos abrasivos (u otros) y la segunda etapa aportará el control que permitirá lograr mayor repetibilidad en el proceso.

BIBLIOGRAFIA.

- 1.- Boylestad Robert, Nashelsky Louis. ELECTRONICA TEORIA DE CIRCUITOS, Editorial Prentice Hall, 1989. Pp.124-129 y 594.
- 2.- Collet Hope, MEDICIONES EN INGENIERIA, Editorial Gustavo Gili, Pp.11-30, 57-65 y 90-105.
- 3.- Considine Douglas M., Ross S.D., MANUAL DE INSTRUMENTACION APLICADA, Editorial CECSA, Pp.25-65, 349-379 y 497-548.
- 4.- Considine Douglas M., PROCESS INSTRUMENTS AND CONTROLS HANDBOOK, Editorial Mc. Graw-Hill 3a. ed., Pp. 9.1-9.95, 18.05-18.32, 18.5-18.6.
- 5.- Feigenbaum Armand V., TOTAL QUALITY CONTROL, Editorial CECSA 1983 Pp. 35 y 288-337.
- 6.- FESTO DIDACTIC, Apuntes del Seminario INTRODUCCION A LOS CONTROLADORES PROGRAMABLES, 1993. Pp.1-3, 12-30, 33-59, 64-90.
- 7.- Fu K.S., González R.C., Lee C.S.G., ROBOTICA: CONTROL, DETECCION, VISION E INTELIGENCIA, Editorial Mc. Graw-Hill 1987, Pp. 275, 289-293.
- 8.- Hewlett Packard, OPTOELECTRONICS/FIBER OPTICS APLICACIONES MANUAL 2a. ed., Editorial Mc. Graw-Hill, Pp. 15.1-15.23.
- 9.- Holman Jack P., METODOS EXPERIMENTALES PARA INGENIEROS, Mc Graw-Hill, 1990. Pp.7,8,19,20,51 y 52.
- 10.-Krar Stephen F., Oswald J. William. GRINDING TECHNOLOGY Editorial DELMAR PUBLISHERS INC. 1974 Pp. 7-46.
- 11.-Maloney Timothy J.,ELECTRONICA INDUSTRIAL DISPOSITIVOS Y SISTEMAS Editorial Prentice Hall 1983. Pp.21-36, 384-392, 425-430 y 452
- 12.-Mano M. Morris, LOGICA DIGITAL Y DISEÑO DE COMPUTADORES, Prentice Hall., 1982 Pp.36-58.

- 13.-Markus John , ENCICLOPEDIA DE CIRCUITOS ELECTRONICOS, Editorial Marcombo, Pp. 289-294.
- 14.-MITUTOYO INC., PRECISION MEASURING INSTRUMENTS Catalog No.E60.
- 15.-Norton Harry N., SENSORES Y ANALIZADORES , Editorial Gustavo Gili Pp. 47-79, 115-142 y 418-452.
- 16.-Sánchez Sánchez Antonio. LA INSPECCION Y EL CONTROL DE LA CALIDAD Editorial Limusa 1986, Pp. 10.
- 17.-Schmitt Neil M., Farwell Robert F., Texas Instruments Inc. A FONDO: ROBOTICA Y SISTEMAS AUTOMATICOS. Ediciones Anaya Multimedia 1983, Pp. 13-16, 27-31, 31-43, 47-74, 108-186, 212-226 235, 253-263 y 299-313.
- 18.-SIEMENS S.A. de C.V. División Energía y Automatización. MANUAL DEL AUTOMATA PROGRAMABLE SIMATIC S-5 CPU-100/102/103. 1991.
- 19.-Soisson Harold E., INSTRUMENTACION INDUSTRIAL, Editorial Limusa, Pp. 284-311.
- 20.-SONY MAGNESCALE INC., MAGNESCALE DIGITAL POSITION SYSTEM Catalog 1991.
- 21.-TOSHIBA INTERNATIONAL CORPORATION, EX Series PROGRAMMABLE CONTROLLERS User's Manual, 1991.