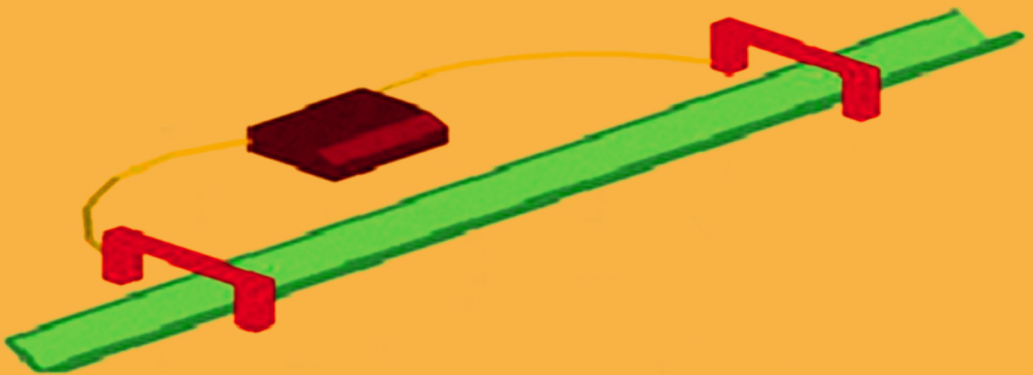


Instrumentación Electrónica en Laboratorio de Física Mecánica

Bernardo Núñez Pérez



Instrumentación Electrónica en Laboratorio de Física Mecánica

Instrumentación Electrónica en Laboratorio de Física Mecánica

Bernardo Núñez Pérez



2010



EDUCOSTA
EDITORIAL UNIVERSITARIA DE LA COSTA

Instrumentación Electrónica en Laboratorio de Física Mecánica

Autor: **Bernardo Núñez Pérez**

CORPORACIÓN UNIVERSITARIA
DE LA COSTA CUC
Barranquilla - Colombia - Sur América

ISBN: 978-958-8710-39-6

Primera Edición
Editorial Universitaria de la Costa EDUCOSTA
Corporación Universitaria de la Costa CUC
Calle 58 No. 55-66
Teléfono: (575) 344 4623
educosta@cuc.edu.co

Coordinación Editorial:
Perla Isabel Blanco Miranda
pblanco1@cuc.edu.co

Corrector de Estilo:
Nury Ruiz Bárcenas
nruizbarcenas@yahoo.com

Diagramación y Diseño:
Carlos Guillermo Peña Estrada
dolores-lopez@hotmail.es

Diseño y Fotografía de Portada:
Vanexa Romero
vanexares@gmail.com

Impreso por:
Yoyobiz Creativos Ltda.
yoyobizcreativos@hotmail.com

© **Todos los derechos reservados, 2010**

Esta Obra es propiedad intelectual de sus autores y los derechos de publicación han sido legalmente transferidos al editor. Queda prohibida su reproducción parcial o total por cualquier medio sin permiso por escrito del propietario de los derechos del copyright©

CONSEJO DE FUNDADORES
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA CUC

EDUARDO CRISSIEN SAMPER
RUBÉN MAURY PERTUZ (q.e.p.d.)
NULVIA BORRERO HERRERA
MARÍA ARDILA DE MAURY
RAMIRO MORENO NORIEGA
RODRIGO NIEBLES DE LA CRUZ (q.e.p.d.)
MIGUEL ANTEQUERA STAND

PERSONAL DIRECTIVO
CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA CUC

NULVIA BORRERO HERRERA
Rector

RODOLFO MAURY ARDILA
Vicerrector de Bienestar

MARIO MAURY ARDILA
Director Departamento de
Posgrados

HERNANDO ANTEQUERA
MANOTAS
Vicerrector Financiero

CAROLINA PADILLA VILLA
Secretaria General

ALFREDO GÓMEZ VILLANUEVA
Decano Facultad de Arquitectura

GLORIA CECILIA MORENO
GÓMEZ
Vicerrectora Académica

JAVIER MORENO JUVINAO
Decano Facultad de Ciencias
Económicas

HENRY MAURY ARDILA
Vicerrector de Investigaciones

ALFREDO PEÑA SALOM
Decano Facultad de Derecho (e)

JOSÉ EDUARDO
CRISSIEN ORELLANO (e)
Vicerrector de Extensión

MILDRED PUELLO SCARPATI
Decana Facultad de Psicología

JAIME DÍAZ ARENAS
Vicerrector Administrativo

NADIA JUDITH OLAYA
CORONADO
Decana Facultad de Ingeniería

A mi esposa Aurora

A mis hijos:

Luisa Fernanda, Adriana Michelle y Bernardo Jesús.

A ellos cuatro, gracias por su paciencia y comprensión

Agradezco al grupo de investigación en instrumentación del Departamento Ciencias Básicas INFI2CU de la CORPORACIÓN UNIVERSITARIA DE LA COSTA, CUC, la dedicación en este trabajo. Destaco el especial apoyo recibido de los estudiantes: Jorge González, Pablo Viloría, Javier Jaramillo Colpas, y a la Directora del Departamento de Ciencias Básicas ingeniera Adriana Granados, por haber estado siempre prestos a trabajar y colaborar en este proyecto editorial.

Agradezco también el apoyo de mi familia pues fue cada uno de sus integrantes quienes soportaron con paciencia mis desvelos y malos ratos durante la realización de este proyecto editorial que hoy se presenta a todos los barranquilleros en general, y a los estudiantes de ingeniería electrónica en especial.

Contenido

PRESENTACIÓN

CAPITULO 1

LA INSTRUMENTACIÓN EN LOS LABORATORIOS DE FISICA

INTRODUCCIÓN

LA INSTRUMENTACIÓN

Transductor

Sensor

Microcontroladores PIC

CAPITULO 2

DISPOSITIVOS ELECTRONICOS: SENSORES Y MICROCONTROLADORES PIC

INTRODUCCIÓN

1. DEFINICIÓN DE SENSORES

2. CLASIFICACIÓN DE SENSORES

a. Sensores de temperatura

b. Termocupla

c. Termistor

d. Termómetro de radiación

e. Sensor integrado de temperatura

f. Sensor de Humedad relativa

g. Sensor resistivo de humedad

h. Sensores capacitivos

i. Sensor de humedad de conductividad térmica

j. Acelerómetro

k. Velocímetro

l. Sensor de fuerza mecánica

m. Sensor de campo magnético

n. Sensor de presión

o. Sensor de sonido

p. Sensores infrarrojos

3. MICROCONTROLADORES PIC

- a) Principales características
- b) Dispositivos periféricos
- c) Diferencia entre los modelos de 28 y 40 pines

CAPITULO 3

LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES EN FISICA MECÁNICA Y LA INSTRUMENTACIÓN REQUERIDA

Los Instrumentos

Experimentos y ensayos experimentales

CAPÍTULO 4

CRONÓMETRO DIGITAL UTILIZANDO MICROCONTROLADOR PIC

INTRODUCCIÓN

- 1) Diseño y construcción
- 2) Algoritmo utilizado en el
diseño del cronómetro
- 3) Elementos del circuito

CAPITULO 5

CALIBRACIÓN DEL DISPOSITIVO

INTRODUCCIÓN

Incertidumbre de las mediciones

Calibración

Calibración del cronometro

Descripción del método

Tratamiento de los resultados

Resultados del proceso de medición
y de calibración

BIBLIOGRAFÍA

Presentación

La experimentación representa un papel muy importante en la formación de profesionales de la ingeniería, por lo que los laboratorios representan gran importancia en esta formación. Pero la preocupación de quienes realizan ensayos en el laboratorio, es disponer de equipos e instrumentos que permitan hacer medidas aceptables de cualquier variable; es decir, lograr la exactitud en la medida reduciendo la incertidumbre. Para ello, se hace necesario tener equipos e instrumentos que permitan la realización de los ensayos experimentales con mediciones confiables y factibles de simular. Este gran problema en la realización de los ensayos experimentales se vive permanentemente en el laboratorio. Para darle solución, se hace necesario que en el laboratorio se realice un proceso de instrumentación electrónica con el que se logre una buena realización de mediciones confiables.

Disponer en el laboratorio de física mecánica de instrumentos electrónicos para la medición con precisión de los ensayos experimentales, significa implementar una buena tecnología electrónica que permita incorporar al computador como elemento y equipo esencial de simulación de los ensayos experimentales y, sobre todo, lograr desarrollar procesos que brinden el apoyo a otros proyectos de investigación.

La instrumentación electrónica es la estrategia más recomendable para la obtención de datos confiables, almacenables y procesables para que luego pueda

disponerse de ellos y establecer análisis pertinentes con los que se establecerán las posturas en procesos de investigación que se desarrollan en laboratorios de física.

Con la entrega de este libro al público en general y a los estudiantes de la rama en especial, el autor busca hacer una introducción a la instrumentación electrónica aplicada a los laboratorios de física mecánica, teniendo en cuenta las variables que en esta parte de la física se manejan, tales como tiempo, distancia, velocidad, presión, entre otras.

La Instrumentación en Laboratorios de Física

INTRODUCCIÓN

Los laboratorios de física no sólo se orientan a la comprobación de leyes naturales conocidas, ni a la simple sustitución de datos para obtener mecánicamente una respuesta que cumpla con fórmulas matemáticas establecidas. Igualmente, el laboratorio de ingeniería, que está relacionado con las aplicaciones importantes de las leyes físicas, requiere de la aplicación de los procesos y las técnicas de medición por instrumentación electrónica dada la relevante importancia de contar con datos confiables que permitan hacer predicciones de los comportamientos de las variables y de los materiales en estudio.

El proceso de medición generalmente requiere del uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable visualizarla y establecerla como señal para ser procesable. Los instrumentos constituyen la perfección de las facultades humanas y en muchos casos permiten a los investigadores determinar el valor

de una cantidad desconocida, la cual no podría medirse de no contar con una instrumentación electrónica. En los procesos de medición se requiere tener en cuenta los tipos de instrumentos a aplicar, sabiendo que los dispositivos utilizados serán de acuerdo a magnitudes y variables a sensor; a los rangos de exactitud que determinarán las aproximaciones según la sensibilidad de la variable y del instrumento, haciendo confiable la medición y ofreciendo la menor incertidumbre posible.

La facilidad de modificación y transmisión de señales electrónicas ha despertado el interés de investigadores por convertir en electrónicas señales mecánicas, tales como la distancia, la posición, la velocidad, la temperatura, entre otras, generadas por numerosos sistemas físicos, por lo que se ha incrementado el interés por la instrumentación electrónica que es el área de la tecnología que estudia y desarrolla equipos destinados a la medición de variables físicas.

LA INSTRUMENTACIÓN

La razón de pensar en los laboratorios es que en estos existe la necesidad de obtener precisión y exactitud en los procesos de medición, dado que la física es una de las disciplinas fundamentales referentes a la comprensión de los fenómenos naturales que ocurren en nuestro universo, la cual está basada en las observaciones experimentales y las mediciones cuantitativas.

Cuando surge una discrepancia entre la teoría y el experimento, se necesita saber cuánto es el grado de desviación entre el dato teórico y el práctico; es decir, por su estructura experimental, la física necesita de los

factores inicialmente mencionados para su crecimiento y validez.

La realización de algunos ensayos experimentales “como son los que están relacionados con la variable tiempo y distancia”, en el laboratorio de física mecánica, se dificulta debido a la participación de estudiantes en el manejo de los instrumentos para la medición y registro de datos aceptables. Es de recordarse que las fuentes básicas de errores en los procesos de medición son las personas, los instrumentos y el medio ambiente. Por lo tanto, al disminuir la interacción hombre-instrumento es posible llegar a disminuir la magnitud de las desviaciones; sin embargo, al momento de hacer un análisis estadístico se encuentran errores altos al compararlo con estándares de calidad, por lo que se requiere de una instrumentación que permita minimizar errores y almacenar información de mediciones y posteriormente procesarlas.

La medición es el proceso de cuantificar nuestra experiencia del mundo exterior. Aunque ésta puede parecer una afirmación un poco exagerada, sigue siendo cierto que las mediciones constituyen uno de los ingredientes básicos de la experimentación. No alcanzamos un nivel satisfactorio de competencia en la experimentación sin un conocimiento de su naturaleza en cuanto a medición se refiere, lo que significa un enunciado natural de las mediciones.

Cuando hagamos mediciones e informemos de sus resultados se debe tener siempre en cuenta este punto clave y fundamental: Las medidas no son simples números exactos, sino que consisten en intervalos, dentro de los cuales tenemos confianza de que se encuentra el

valor esperado. Es bien sabido que la especificación de una magnitud física mensurable requiere cuando menos de tres elementos: Un número y una cantidad, índice de confiabilidad o grado en que se puede confiar en el valor establecido y que se conoce como índice de precisión.

El proceso de medición generalmente requiere del uso de un instrumento como medio físico para determinar la magnitud de una variable, visualizarla y establecerla como señal para ser procesable. Los instrumentos constituyen la perfección de las facultades humanas y en muchos casos permiten a los investigadores determinar el valor de una cantidad desconocida, la cual no podría medirse de no contar con una instrumentación electrónica. En los procesos de medición se requiere tener en cuenta cada tipo de instrumento a aplicar, sabiendo que los dispositivos utilizados serán de acuerdo a magnitudes y variables a sensar, a los rangos de exactitud con los que se determinarán las aproximaciones según la sensibilidad de la variable y del instrumento, haciendo confiable la medición y ofreciendo la menor incertidumbre posible.

La ciencia y la tecnología se caracterizan por la necesidad de generar y medir variables físicas. Reciben el nombre de instrumentos los equipos tecnológicos que tienen como misión determinar la magnitud de una variable, visualizarla, generarla, o convertirla en otra diferente.

La electrónica aplicada es el área de la tecnología que estudia las características de los dispositivos electrónicos y la forma de interconectarlos para realizar circuitos y sistemas que captan datos en forma de señales eléctricas, la procesan para obtener otras señales que

se transmiten a distancia, controlan la energía eléctrica y a través de ella otras manifestaciones de la energía (térmica, mecánica, y demás) o convierten la energía eléctrica de una forma a otra.

Para el análisis y la síntesis de los circuitos y sistemas electrónicos se hace necesario lo siguiente:

1. Medir los parámetros de las señales eléctricas presentes en diferentes puntos de los mismos.
2. Aplicar determinadas señales eléctricas en ciertos puntos, para comprobar su funcionamiento.

Por otra parte, la facilidad de modificación y transmisión a distancia de las señales eléctricas ha provocado el interés por convertir en eléctricas las señales no eléctricas (distancia, posición, velocidad, temperatura, densidad, entre otras) generadas por numerosos sistemas físicos. Además, a ello se ha unido el progreso del área de la electrónica aplicada denominada Microelectrónica, dedicada al estudio de los métodos y procesos de fabricación de circuitos integrados, lo cual ha bajado el costo y ha elevado la capacidad de los sistemas electrónicos.

Por todo lo dicho anteriormente, se ha incrementado enormemente el interés por la Instrumentación Electrónica siendo ésta el área de la tecnología que estudia los equipos realizados mediante circuitos y sistemas electrónicos, destinados a la medición, visualización, generación y conversión de señales eléctrica, así como los dispositivos o circuitos electrónicos que convierten una señal no eléctrica en una señal eléctrica.

En la instrumentación electrónica se pueden estipular tres grupos de instrumentos, como son:

1. Instrumentos generadores de señales: Son sistemas electrónicos que tienen como misión generar señales electrónicas de características determinadas. Por ejemplo, generadores de señales.

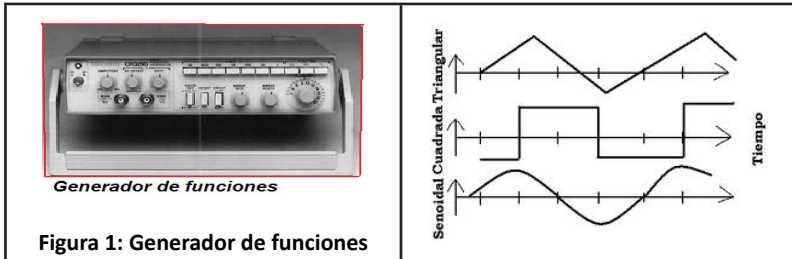


Figura 1: Generador de funciones

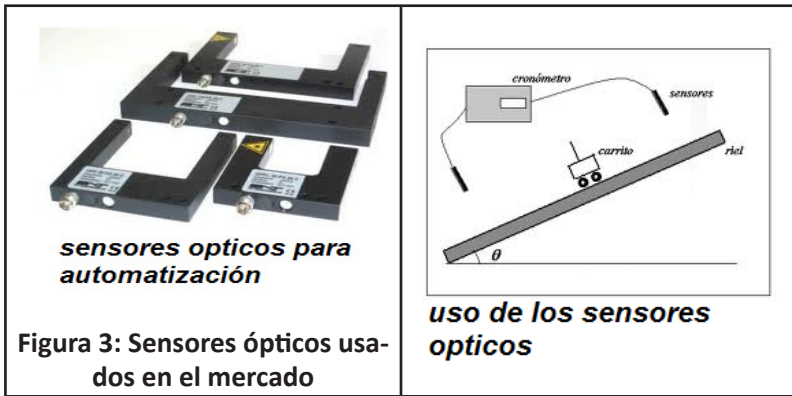
2. Instrumentos de medida y su visualización: Son sistemas electrónicos que realizan la evaluación de uno o varios parámetros de una señal electrónica y los presentan de forma gráfica, numérica o alfanumérica. La presentación se realiza en la unidad de medida adecuada al parámetro a medir y de acuerdo con el sistema de unidades de medida adoptado. Por ejemplo, el osciloscopio



Figura 2 Osciloscopio digital usado en la actualidad

visualizar un señal

3. Instrumentos convertidores de señales: Son dispositivos o circuitos electrónicos que convierten una señal electrónica o no electrónica, en otra señal electrónica de unas características y rango determinados, en uno de cuyos parámetros está contenida toda la información correspondiente a la primera. Estos instrumentos forman parte de un área más amplia de la tecnología que incluyen los sensores.



Desde este punto de vista, muchos dispositivos E /S se usan como vínculos de comunicaciones de los sistemas digitales con el mundo exterior (sincronización con el mundo análogo).

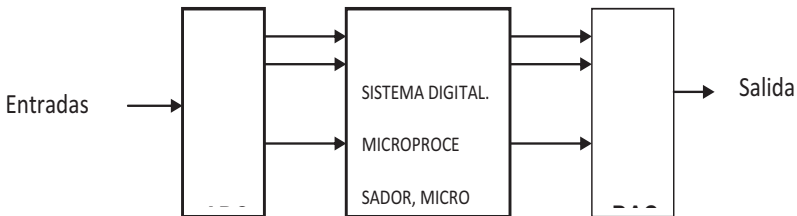


Figura 4 Sincronización Análoga/Digital

Donde ADC representa un convertidor Análogo Digital, es decir, un dispositivo que permite transformar una señal análoga o continua a una señal digital o discreta. Los instrumentos normalmente cuentan con elementos para sensor o captar la señal, elementos para transformar o tratar la señal y elementos para su transmisión a un actuador o dispositivo de salida final.

Hay dos dispositivos que representan un importante papel en la instrumentación electrónica en los laboratorios de física, estos son: los sensores y los microcontroladores. Por tal razón, se hace necesario conocer algo de estos dispositivos.

a. Transductor

El mensaje puede ser producido por máquinas o por el hombre y normalmente no es de naturaleza eléctrica. Como ejemplos tenemos: una escena a ser transmitida por T.V., sonidos, música, datos, parámetros físicos de un proceso tales como: temperatura, luz, presión, humedad, señales biológicas, entre otros. El transductor es el encargado de convertir cualquiera de estos mensajes en una señal eléctrica equivalente (voltaje o corriente).

Según la ISA (Instrument Society of America): “Un transductor es un dispositivo que proporciona una salida utilizable en respuesta a una medición específica». La medición es «una cantidad, propiedad o condición física medible». La salida es «la cantidad eléctrica producida por el transductor, la cual es función de la medición aplicada». Como ejemplos de transductores de entrada se pueden mencionar: cámara de T.V., micrófono,

electrodos, transductores de presión, humedad, temperatura, posición, entre otros.

En general, se denomina **transductor** a todo dispositivo que convierte una señal de forma física en una señal correspondiente pero de otra forma física distinta. Es por tanto, un dispositivo que convierte una forma de energía en otro. En la práctica, dado que hay seis tipos de señales: mecánicas, térmicas, magnéticas, eléctricas, ópticas y moleculares, se consideran transductores por antonomasia aquellos que ofrecen una señal de salida eléctrica.

b. Sensor

Por su parte, el sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transductible que es función de variable medida. Se suele confundir transductor con sensor, pero sensor sugiere un significado más extenso: la ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas que por su naturaleza no pueden ser percibidas directamente por los sentidos.

Las variables o magnitudes físicas susceptibles de ser transformadas en señales eléctricas son muy numerosas y ello da lugar a que también sea muy variada las tecnologías o principios de transducción (inductivo, piezoeléctrico, extensiométrico, capacitivo, entre otros) que se emplean actualmente.

Un sensor es un dispositivo que, a partir de la energía del medio donde se mide, da una señal de salida transducible que es función de la variable medida.

Sensor y transductor se emplean a veces como sinónimos, pero sensor sugiere un significado más extenso: La ampliación de los sentidos para adquirir un conocimiento de cantidades físicas, que por su naturaleza o tamaño, no pueden ser percibidas directamente por los sentidos. Transductores, en cambio, sugiere que la señal de entrada y la de salida no deben ser homogéneas.

c. Microcontroladores pic

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de una lavadora, un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, entre otros. Para esto, el microcontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema con microcontrolador debe disponer de una Memoria donde se almacene el programa que gobierna el funcionamiento del mismo, que una vez programado y configurado, sólo sirve para realizar la tarea asignada. La utilización de un microcontrolador en un circuito reduce notablemente el tamaño y número de componentes y, en consecuencia, disminuye el número de averías y el volumen y peso de los equipos, además de poseer otras ventajas.

Dispositivos Electrónicos: Sensores y Microcontroladores PIC

INTRODUCCION

Por la importancia que estos dispositivos electrónicos tienen y por lo que representan en el desarrollo de la instrumentación para la medición de las variables físicas, se hace necesario ampliar el conocimiento que se tiene de ellos. Por eso, se incluye este capítulo, el cual es una recopilación hecha por el grupo de investigación en instrumentación en los laboratorios de física. Este mismo capítulo lo encontrará en los diferentes textos realizados por este grupo de investigación, además de otros textos afines.

Un elemento de vital importancia en los procesos científicos e industriales que ha marcado un cambio fundamental a través de la historia son los llamados sensores, pues son estos los encargados de interactuar con el sistema físico, químico o cualquier otro que se desee observar. Actualmente estos dispositivos, en su mayoría de estado sólido, se han transformado a través del tiempo para brindarnos mayor confiabilidad

en las lecturas de los cambios de variables con mayor precisión, y ofrecer así una interacción entre el sensor y el fenómeno para que ese sensor no se altere.

1. DEFINICIÓN DE SENSORES

Un sensor es un transductor que produce respuesta cuantificable de un cambio de alguna variable de un sistema, ya sea física o química, tales como la temperatura, la conductividad térmica, el cambio en la concentración química, y otras más. La manera de captar los cambios depende del fenómeno y de las variables de este que se quieren medir o monitorear. Las respuestas de los sensores dependen de la forma de captar cambios externos y la relación que este tiene con los cambios internos de cualquier propiedad intrínseca de algún componente del dispositivo. En la figura 1 se muestra el esquema de interacción del sensor con el fenómeno y su respuesta a cambios de este, ya sean físicos o químicos. Los sensores son dispositivos especialmente útiles para la toma de mediciones y monitoreo, tanto en las experiencias de la vida cotidiana, en el laboratorio y en los procesos de control en la industria, desde nuestro control remoto del televisor, como en el ordenador que tenemos en casa [1].

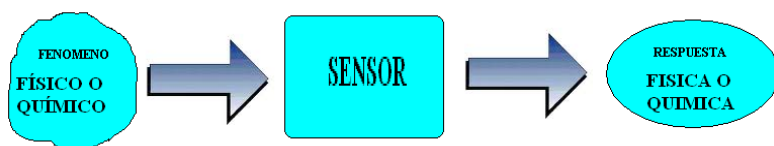


Figura 1. Esquema de la interacción del sensor con el fenómeno y su respuesta

2. CLASIFICACIÓN DE LOS SENSORES

Los sensores son parte importante de cualquier medida y aplicación en los laboratorios de física e industria. El sensor es responsable de convertir algún tipo de fenómeno físico **o químico en una cantidad mensurable para algún** sistema de adquisición de datos (DAQ). Desde el punto de vista de la aplicación los sensores se pueden clasificar de acuerdo al sistema con que están interactuando; de ahí que en este capítulo se tratará los sensores para aplicaciones físicas de los cuales existen varios tipos, entre los cuales se encuentran:

- Temperatura
- Humedad relativa
- Acelerómetros
- Velocímetros
- De fuerza mecánica
- Campo magnético
- Presión
- Sonido
- LED-IR

a. Sensores de temperatura

La temperatura es una de las variables más comúnmente medidas en los laboratorios de docencia, investigación y en los procesos industriales, por lo que no es sorprendente que se encuentren muchas maneras de percibir la misma. La energía transferida por calor

se puede realizar por tres métodos: 1) convección, 2) conducción y 3) radiación. La detección de los cambios de temperatura se puede hacer a través del contacto directo con la fuente de calor, o de forma remota, sin contacto directo con la fuente de radiación utilizando la energía radiada en un lugar alrededor de la fuente. La energía radiada por calor es una onda electromagnética que mayormente se encuentra en el infrarrojo. Los sensores de contacto utilizan la conducción o convección, mientras que la detección a distancia se utiliza en la radiación **térmica** como método principal de transferencia de energía por calor [2].

El método tradicional para medir la temperatura es la utilización del termómetro de mercurio, que se basa en la expansión del mercurio como sustancia termométrica con el calor. Aunque esto no es conveniente cuando se quiere medir los cambios de temperatura con un sensor a distancia. Otro tipo de sensor de temperatura basa su medición de la capacidad de algunos materiales para responder a la energía en forma de radiación. Cuando el material se calienta, la superficie del material emite luz en el rango infrarrojo. Esta radiación es una indicación directa de que la energía es absorbida y está relacionada con la temperatura, de manera precisa se puede determinar el cambio de temperatura del cuerpo de interés.

También existe otro sensor de temperatura basado en la medición de la expansión y contracción de los metales a ritmos diferentes. Una tira bimetálica se compone de una tira con dos metales diferentes. A medida que el material se calienta o enfría los metales se expanden o se contraen a ritmos diferentes causando que el material

se doble en una u otra dirección. Este movimiento puede ser traducido en una diferencia de potencial [3]. En el mercado existen varios tipos de sensores de temperatura que utilizan estos principios para su funcionamiento entre los cuales se tienen:

b. Termocupla

La termocupla es una unión de dos alambres de diferentes aleaciones metálicas que se unen en los extremos por un punto de soldadura de arco llamado juntura. Al someterlo a un sistema, los dos metales conducen de manera diferente y generan una diferencia de potencial termoeléctrica en los extremos separados, relacionada con la temperatura en el punto. En la figura 2 se muestra el esquema general de una termocupla [4].

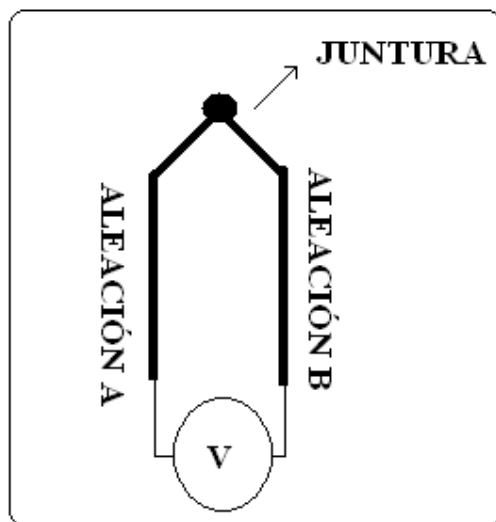


Figura 2. Esquema general de una termocupla

c. *Termistor*

El termistor es un material sensible a la temperatura, cuya función es hacer variar su resistencia eléctrica, la que es proporcional a la temperatura del sistema; esto quiere decir que el termistor es un dispositivo que utiliza los cambios de la resistencia de un material en función de la temperatura. En la figura 3 se muestra el esquema del circuito de un termistor el cual es excitado con un voltaje externo V_e , el cual nos da una diferencia de potencial V_o al final de los terminales [5].

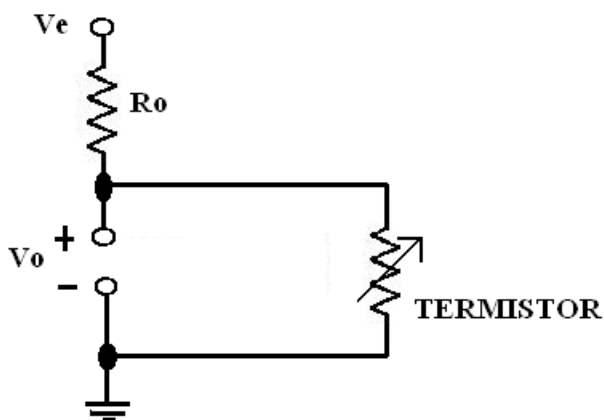


Figura 3. Esquema del circuito de un termistor

d. *Termómetros de radiación*

Los termómetros de radiación son instrumentos para medir la temperatura de un cuerpo cuando este se encuentra a alta temperatura y cierta distancia. Estos instrumentos utilizan las leyes de radiación como la luminosidad para medir la temperatura superficial del

cuerpo en estudio a cierta distancia, esto quiere decir que no es un instrumento de contacto. Unos de los principales termómetro de radiación es el llamado pirómetro óptico. En la figura 4 se puede observar de número 1 el objetivo, 2 el lente del objetivo, 3 apertura objetivo, 4 filtro de absorción, 5 lámpara, 6 filtro rojo, 7 lente microscópico, 8 apertura microscópico, 9 lente ocular y finalmente el amplificador de la señal [6].

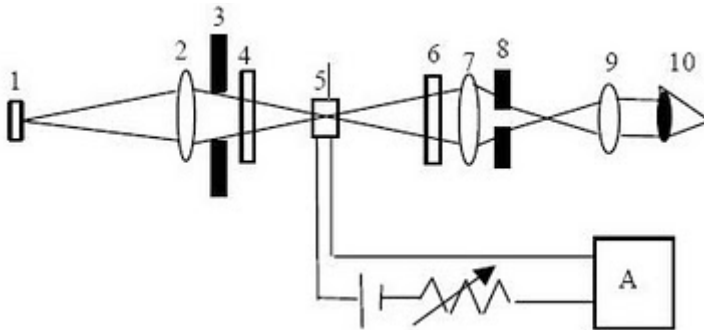


Figura 4. Esquema de un pirómetro óptico

e. Sensor integrado de temperatura

Los sensores de temperatura de circuito integrado difieren significativamente de los otros tipos en varios aspectos importantes. El primero es la gama de temperaturas. Un sensor de temperatura de circuito integrado opera en el rango de temperatura de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$ nominalmente y son lineales. Algunos dispositivos como las termocuplas van más allá de este rango, pero no son lineales. La segunda diferencia es la funcionalidad. Un sensor de temperatura de silicio es un circuito integrado, que incluye circuitos de procesamiento

de señales en el mismo encapsulado. Un ejemplo de estos dispositivos son los *LM35* fabricados por la *National Instruments*. Es un integrado que viene la mayoría de las veces en un encapsulado de tres pines como lo muestra la figura 5. Los pines de este integrado son de la señal de salida, alimentación y tierra [7].



Figura 5. Encapsulado de un sensor integrado de temperatura LM35

f. Sensor de humedad relativa

El aire siempre mantiene una cantidad de moléculas de agua en nuestro ambiente normal. Aunque el número de moléculas de agua en él puede variar de manera sustancial, por ejemplo, puede ser tan seco como un desierto o con gran humedad como los trópicos. Siempre hay un límite superior para la cantidad de moléculas de agua que el aire puede contener a una temperatura dada. Más allá de este límite se produce una saturación. Si por alguna razón, el nivel de humedad es empujado hasta este límite, se produce la condensación de estas moléculas en forma de gotitas de agua. La humedad es

la cantidad que determina el porcentaje de esta cantidad, que es la máxima humedad que está presente en el aire a una temperatura dada.

La humedad relativa (RH = *relative humidity*) se define como la cantidad de moléculas de agua en forma de vapor en el aire a cierta temperatura, en comparación con la cantidad máxima de vapor de agua que el aire puede contener. La humedad relativa se expresa como un porcentaje. Distintos materiales responden de manera diferente en un rango de niveles de humedad relativa.

En la actualidad existen diferentes tipos de sensores capaces de medir los cambios de humedad relativa que experimentan los cuerpos. Hoy en día los principales dispositivos construidos para medir humedad relativa son, entre muchos otros:

- Sensores de resistencia
 - Capacitadores
- Conductividad Térmica

La medición de la humedad relativa es muy importante ya que tiene ligada a ella muchas aplicaciones cotidianas, en las cuales se puede resaltar las aplicaciones industriales, el confort, la medicina y la investigación. En la actualidad se apunta a la construcción de estos dispositivos hacia la construcción de macromoléculas, materiales semiconductores, de silicio poroso, láminas de nitruro de carbono y la cerámica porosa. Aunque la fabricación de estos sensores con los anteriores componentes permite una mayor estabilidad y precisión, no se han fabricado para aplicaciones prácticas todavía.

g. Sensor resistivo de humedad

Los sensores resistivos de humedad utilizan la variación de impedancia eléctrica de un medio hidroscópico como pueden ser un polímero conductor, una sal, o sustrato dado. En estos sensores la impedancia decae exponencialmente de acuerdo a la humedad. Estos sensores resistivos consisten generalmente en dos electrodos depositados en un sustrato que está cubriendo una sal o un polímero conductor. Este sensor absorbe el vapor de agua y algunos iones funcionales que se disocian, dando lugar a un aumento de la conductividad eléctrica. El rango de impedancia de un sensor con estas características es de 1Ω a $100k\Omega$.

El sensor absorbe el vapor de agua y grupos funcionales iónicos que se disocian, dando lugar a un aumento en la conductividad eléctrica. El tiempo de respuesta para las gamas de sensores más resistente es de 10 a 30ms para un cambio de ritmo del 63%. El rango de impedancia de los típicos elementos de resistencia varía de 1Ω a $100k\Omega$. En la figura 6 se pueden observar algunos de los típicos sensores de resistencia para medir humedad relativa [8].

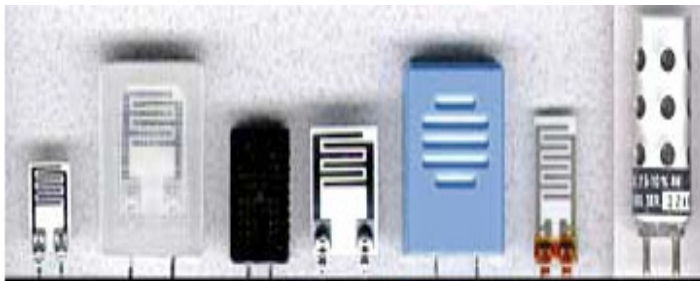


Figura 6. Típicos sensores comerciales de humedad de resistencia

h. Sensores capacitivos

Los sensores de humedad relativa generalmente están conformados por polímeros termoestables con tres capas, las cuales conforman un capacitador, una de platino poroso y dos electrodos; algunos integran un chip de silicio para el acondicionamiento de la señal de salida. Algunos con aplicaciones industriales para altas temperaturas no integran este tipo de dispositivos. Cuando el sensor capacitivo de humedad está en marcha, el vapor de agua llega a la capa dieléctrica del capacitor, activándose y se equilibra con el gas circundante. El platino poroso hace las veces de escudo para la capa de respuesta dieléctrica de las influencias externas, mientras que el polímero recubre la capa de protección mecánica, proporcionando protección de la capa de platino de contaminantes, tales como suciedad, polvo y aceites. Evitando así que la suciedad del medio haga que el sensor se vuelva lento en las tomas de muestra del sistema [9].

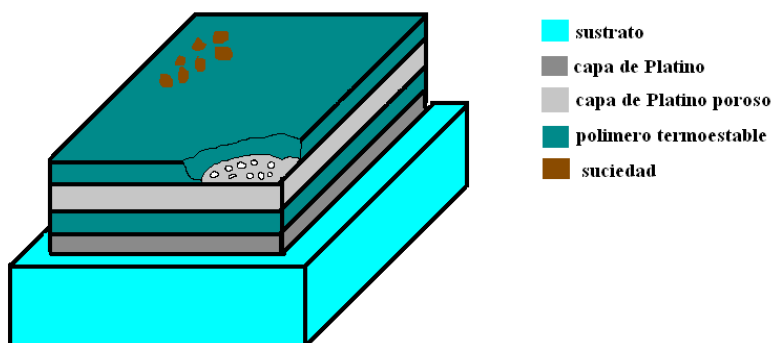


Figura 7. Esquema del funcionamiento de un sensor de humedad de capacitancia

En la figura 7 se muestra la estructura interna de un sensor de humedad de capacitancia el cual consta de un sustrato de silicio; le sigue una capa de platino, después una capa protectora de polímero termoestable, una capa de silicio poroso y otra capa de polímero. El principio físico que se utiliza -como ya se decía- es el conocido capacitor de placas paralelas, el cual consiste en dos electrodos de algún metal, en este caso platino, el cual por sus propiedades eléctricas de buen conductor es recomendado para estas aplicaciones, y un medio dieléctrico en este caso son las moléculas de agua que llegan del medio en estudio. De la física sabemos que el condensador necesita un medio entre las dos placas que están separadas una distancia d como muestra la figura 8, este puede ser aire o -como este caso- el agua. Pero la concentración de moléculas de agua que llegan a los electrodos no es constante, entonces la capacitancia del sistema cambia en relación al número de moléculas que llegan, esto hace que la diferencia de potencial entre las placas cambie. La relación entre la constante dieléctrica y la capacitancia está dada por esta razón:

$$C = \epsilon \frac{A}{d}$$

Donde C es la capacitancia del sistema, ϵ la constante dieléctrica, A es el área de las placas y d la distancia entre los dos electrodos. Con esta relación se puede observar que la capacitancia varía linealmente con la constante dieléctrica. La manera de variar la constante dieléctrica es que la cantidad de moléculas de agua no son constantes entre las dos placas paralelas, esto quiere decir que cuando al sensor se le aproxima a un

ambiente humedad se comienza a llenar el espacio entre las dos placas de moléculas de agua y la constante dieléctrica comienza a variar. De modo igual cuando se le somete a un ambiente seco, la constante dieléctrica también cambia. En la figura 8 se muestra el modelo de condensador de estos sensores de humedad. El cambio de la capacitancia genera un cambio de potencial en los electrodos, y es el voltaje de salida del sensor [10].

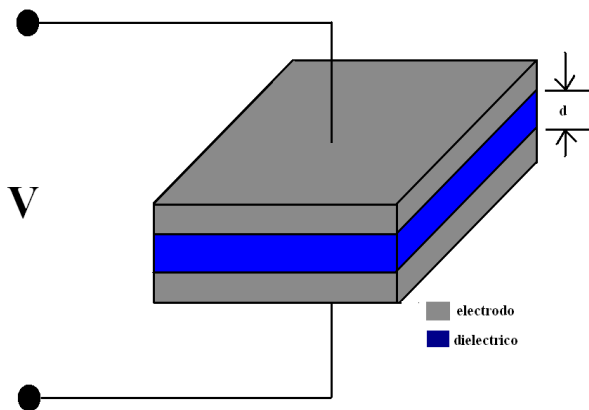


Figura 8. Modelo del condensador de los sensores de humedad

i. Sensor de humedad de conductividad térmica

Estos sensores miden la humedad relativa mediante la cuantificación de la diferencia entre la conductividad térmica del aire seco y del aire que contiene el vapor de agua. Cuando el aire o el gas son secos, tiene una mayor capacidad de “sumidero” de calor; por ejemplo, cuando nos encontramos en un clima desértico. Un desierto puede ser muy caliente en el día, pero por la

noche la temperatura decae rápidamente debido a las condiciones atmosféricas secas. En comparación, los climas húmedos no se enfrían tan rápidamente en la noche porque el calor es retenido por el vapor de agua en la atmósfera. Los sensores de conductividad térmica constan de un emparejamiento de dos circuitos. Los elementos de este circuito puente están confinados en un encapsulado encerrado con gas de nitrógeno seco y el otro al ambiente.

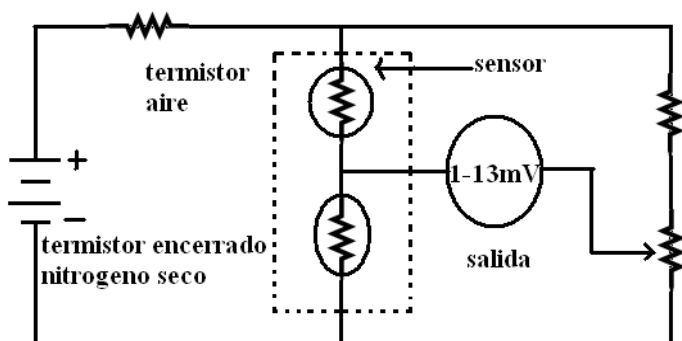


Figura 9. Esquema del circuito de un sensor de humedad de conductividad térmica

En la figura 9 se muestra el circuito general de un sensor de humedad de conductividad térmica donde se aprecian los dos termistores: uno, expuesto al aire o al ambiente circundante; el otro, encapsulado de nitrógeno. La diferencia de conductividad entre los dos termistores es directamente proporcional al valor de humedad relativa. La salida de este sensor es de 1-13mV como así lo indica la misma figura. Esto quiere decir que necesita una etapa de amplificación para poder percibir los cambios de voltaje producidos por lo anterior [11].

j. Acelerómetro

Un acelerómetro es un transductor electromecánico que produce en sus terminales de salida una diferencia de potencial que es proporcional a la aceleración a la que está sometido. Los elementos piezoeléctricos (similar a los cristales pequeños) dentro del acelerómetro tienen la propiedad de producir una carga eléctrica que es directamente proporcional al voltaje y, por tanto, la fuerza aplicada durante la carga, ya sea en tracción, compresión o cizallamiento. Los acelerómetros generalmente miden la aceleración de las fuerzas aplicadas a un cuerpo al ser montado directamente sobre una superficie del cuerpo acelerado. Los acelerómetros son útiles en la detección de movimiento en los objetos. Un acelerómetro nos muestra la fuerza ejercida sobre un cuerpo como resultado de un cambio en la velocidad del cuerpo. Un cuerpo en movimiento posee una inercia que tiende a resistir el cambio de velocidad; es esta resistencia al cambio en la velocidad la fuente de la fuerza ejercida por el cuerpo en movimiento. Esta fuerza es directamente proporcional a la componente de la aceleración en la dirección del movimiento cuando el cuerpo en movimiento es acelerado. El movimiento se detecta en la parte sensible del acelerómetro, el cual es un indicio de movimiento en la aplicación en la que se monta el acelerómetro. Por lo tanto, un acelerómetro con sensibilidad puede rápidamente detectar el movimiento dado. Los acelerómetros se utilizan en muchas aplicaciones comerciales, militares y científicas, como la navegación inercial, sistemas de seguridad vehicular, como los airbags, control de confort de marcha, estabilización de superficie, detección de inclinación y control de vibraciones, sistemas de

frenos antibloqueo (ABS), vibrómetros, controladores de disco duro de ordenador, los sistemas inteligentes de detonación de bombas y misiles y los monitores de vibraciones de máquinas.

En la figura 10 se pueden observar varios tipos de acelerómetros comerciales con sus respectivas tarjetas de montaje que permiten una mayor estabilidad [12].



Figura 10. Diferentes tipos de acelerómetros comerciales, con sus respectivas tarjetas

Algunos acelerómetros miden la aceleración en el *eje x* y *eje y* pero también en los tres ejes *x,y,z*. el principio físico que utiliza algunos de estos acelerómetros es de forma de capacitor el cual contiene un electrodo fijo, y el otro electrodo no está fijo pero se encuentra a despena de la sustancia o dieléctrico entre los dos. Al no mantener uno de los electrodos fijos hace que la distancia entre las placas no sea fija, haciendo que la capacitancia varíe en función de ella. Al variar la capacitancia, se genera una diferencia de potencial en las salidas de los acelerómetros proporcional a la gravedad que se encuentre el sistema donde el acelerómetro es montado. En la figura 11 se muestra el esquema de un acelerómetro tipo condensador donde se observa los dos electrodos,

uno fijo y otro suelto entre un material dieléctrico, que hace el papel de interfaz entre los dos electrodos.

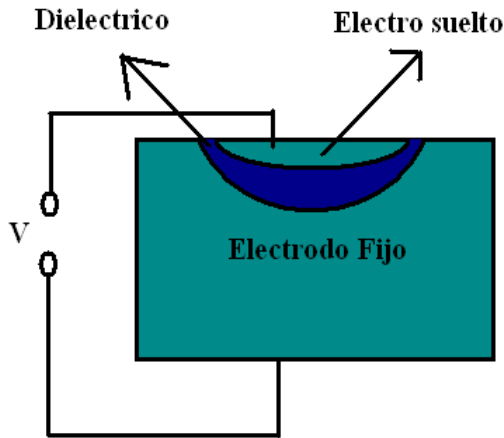


Figura 11. Esquema de un acelerómetro con principio de funcionamiento de un condensador

k. Velocímetro

El velocímetro se basa en el principio de inducción magnética y proporcionar medidas de la velocidad fiable en un movimiento lineal. Pasar un imán a través de la forma de la bobina genera un voltaje proporcional a la velocidad de los imanes y la intensidad de campo. Esta señal de salida se utiliza para supervisar cuidadosamente componentes de velocidades en diversas aplicaciones. Dentro de los velocímetros más conocidos se encuentra el tacómetro que mide la velocidad angular de un eje de rotación usando uno de dos métodos. 1) Se conecta un generador de corriente (motor) con el eje que produce un voltaje proporcional al aumento de la velocidad angular

del eje. 2) Se utiliza un imán con una bobina de recogida; cuando pasa el imán de la bobina se genera un pulso. La magnitud y la frecuencia del pulso son proporcionales a la velocidad angular [13].

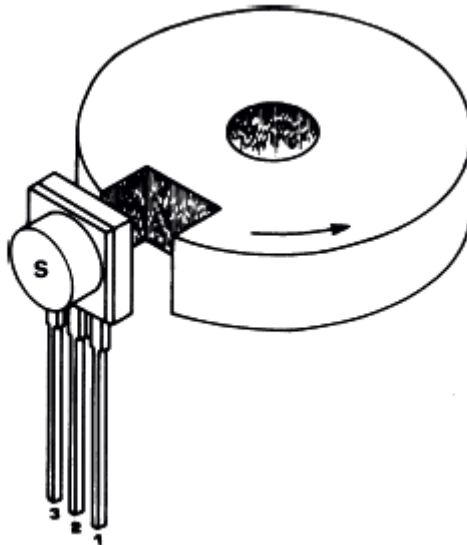


Figura 12. Velocímetro construido con un sensor que mide flujo magnético

En la figura 12 se muestra un velocímetro construido a base de un sensor que mide flujo magnético y esta es proporcional al voltaje de salida. Estos sensores son utilizados mayormente para medir velocidades angulares en cuerpos rígidos como motores.

1. De Fuerza Mecánica

Los sensores de fuerzas funcionan con células de fuerza destinadas a la determinación de las fuerzas estáticas o dinámicas de tracción y compresión y vienen en muchas formas diferentes, incluyendo la compresión,

tensión, haz simple y punto único. Transductores de fuerza se puede utilizar como celdas de tensión, pero también pueden ser utilizados en aplicaciones de pesaje y la medición de la compresión o la tensión. Las células de carga pueden ser construidas utilizando cualquiera de los transductores, LVDTs, medidores de tensión o de los sensores piezoeléctricos. Otro sensor de tensión son los extensómetros que se utilizan para la medición de la fuerza de tracción y compresión en un cuerpo, por lo que puede recoger de expansión y contracción. La tensión es causada en un cuerpo por agentes internos o externos, las presiones, los momentos, el calor, o los cambios estructurales en el material. En general, la mayoría de los extensómetros dependen de la variación proporcional de la resistencia eléctrica o el voltaje: se pueden encontrar piezoresistivo o semiconductores. La figura 13 muestra un extensómetro axial de propósito general el cual funciona con la ley de tensión de resistencia [14].

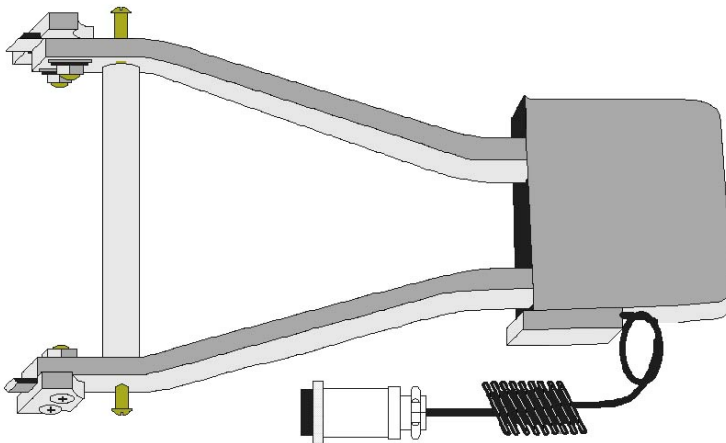


Figura 13. Montaje de un extensómetro axial

m. Sensor de campo magnético

Los sensores magnéticos pueden determinar el cambio en el campo magnético de la tierra debido a la presencia de un objeto ferromagnético o la posición dentro del campo magnético de la Tierra. Su gran ancho de banda permite la detección de vehículos y otros objetos ferrosos a altas velocidades. Los sensores están sin contacto y la distancia de trabajo depende de la masa ferromagnética que se está midiendo. Las aplicaciones incluyen la navegación, detección de vehículos, realidad virtual, laboratorio de instrumentación e instrumentos médicos en su mayoría. En la figura 14 se muestra el modelo físico del campo magnético en cual debe observarse que las líneas de campo son cerradas y van de polo a polo [10].

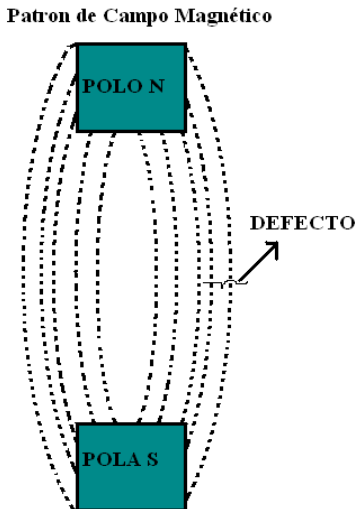


Figura 14. Modelo físico del campo magnético

n. Sensor de presión

Los sensores de presión tienen muchas aplicaciones que incluyen la altura de una columna de líquido, la profundidad o altitud, de un objeto sumergido, posición, sonido, presión barométrica, caída de presión, vacío, el desplazamiento volumétrico y el peso.

Un transductor es un dispositivo que convierte la energía de una forma a otra. El término se aplica generalmente a los dispositivos que registren algún fenómeno físico (presión, temperatura, humedad, flujo, entre otros) y lo convierten en una señal eléctrica.

Un sensor/transductor de presión utiliza una amplia gama de principios operativos. Los sensores de presión dinámica están diseñados para medir las variaciones de presión en líquidos y gases, mediciones de la presión en un cilindro, pruebas de campo de explosión, perturbaciones de presión en bombas y neumáticos y otros procesos hidráulicos. Su alta rigidez y su pequeño tamaño les dan una excelente respuesta con el acompañamiento de exploración rápida por tiempo de respuesta; esto los hace prácticamente insensibles al movimiento mecánico; es decir, golpes y vibraciones. La presión diferencial es la diferencia de presión que se mide entre dos fuentes de esta, lo cual se expresa generalmente en libras por pulgada cuadrada diferencial. Cuando una fuente se encuentra a presión atmosférica, se habla en este caso de medidor de presión y, por lo general, se expresa en libras por pulgada cuadrada Gage (psig).

Por lo tanto, la presión manométrica es un caso especial de presión diferencial con presiones medidas diferencialmente pero siempre con relación a la presión atmosférica local. En el mismo sentido, la presión absoluta también se puede considerar una presión diferencial donde se compara la presión medida en vacío absoluto. Los sensores de presión absoluta son los más utilizados para medir los cambios en la presión barométrica o como altímetros. Estas aplicaciones requieren una presión de referencia fija ya que no pueden tener referencia a la presión que tenga el ambiente. En la figura 15 se muestran los elementos básicos de un sensor de presión que utiliza piezoelectricidad como medio transductor. Este sensor es fabricado por la compañía *Sensym* [15].

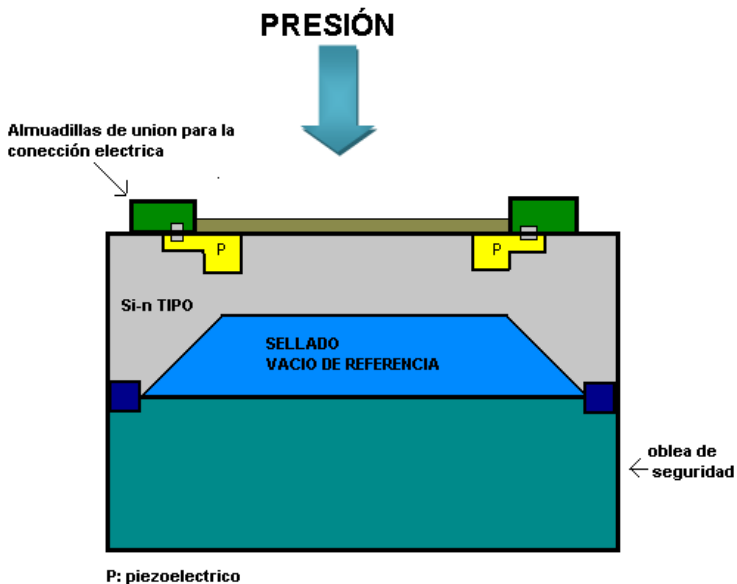


Figura 15. Esquema de un sensor de presión comercial SSAN-24

o. Sensores de sonido

Un sensor para la detección de ondas acústicas es llamado generalmente micrófono. Se trata de un dispositivo eléctrico que se puede clasificar en varios tipos básicos como pueden ser dinámicos, electrostáticos y piezoeléctricos de acuerdo a su sistema de conversión. El micrófono dinámico es utilizado en el mundo de la música, mientras que el micrófono piezoeléctrico es muy utilizado principalmente para aplicaciones de baja frecuencia. Para medir cargas electrostáticas los micrófonos de condensadores son los más populares, porque pueden ser reducidos de tamaño, tienen respuestas de frecuencia plana en un amplio rango de frecuencias, y proporcionan una alta estabilidad en comparación con otros tipos de micrófonos. Los micrófonos de condensador están disponibles en dos tipos: 1) el tipo electrete y 2) el polarizado simple. Un micrófono electrete tiene como característica principal mantener la carga, sin necesidad de tener una fuente de polarización. En la figura 14 se muestran las partes más importante de un micrófono electrete, las cuales son el diafragma electrete y el caparazón placa trasera. Entre el diafragma y la parte trasera se establece una diferencia de potencial análoga que es la respuesta del sensor, esta a su vez necesita una etapa de filtrado y amplificado para poder observar mejor el fenómeno acústico [16].

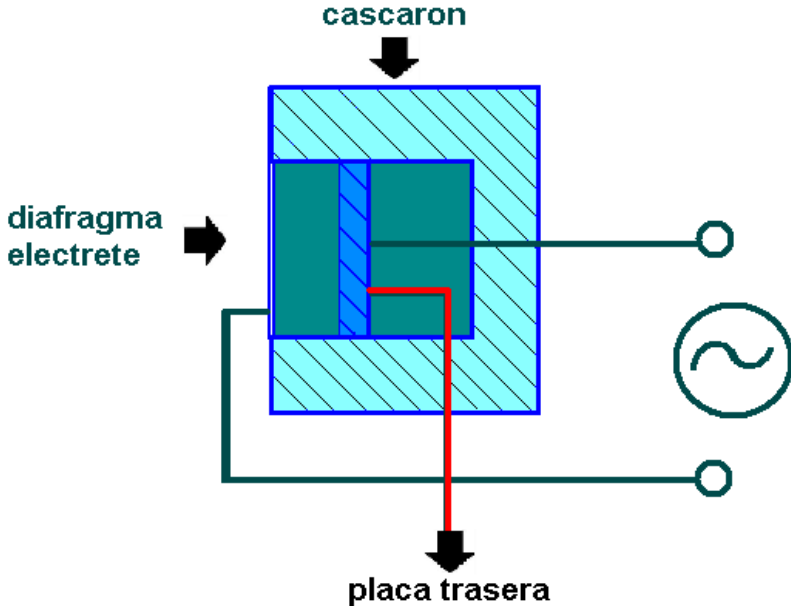


Figura 16. Partes importantes de un micrófono electrete

p. Sensores infrarrojos

Los sensores de infrarrojos son usados ampliamente en aplicación científica, industrial y para la docencia, esto se debe a su gran facilidad de adquisición, implementación y adaptación a muchos sistemas electrónicos. Estos sensores mayormente son usados como detectores de proximidad donde se utiliza un emisor y un receptor. Ellos sólo captan y emiten una señal electromagnética que está en la región del infrarrojo en el espectro electromagnético. El principio general de funcionamiento consiste en que el emisor al someterlo a una diferencia de potencial (en este caso un diodo LED) emite una frecuencia determinada en el

infrarrojo la cual es dirigida a un blanco, el cual refleja una parte de esta radiación y otro sensor; en este caso el receptor toma esa radiación reflejada y genera una diferencia de potencial en su salida. A medida que el blanco se acerca este voltaje varía, esto se debe a que la intensidad de la luz va aumentando a medida que este se acerque al emisor infrarrojo.

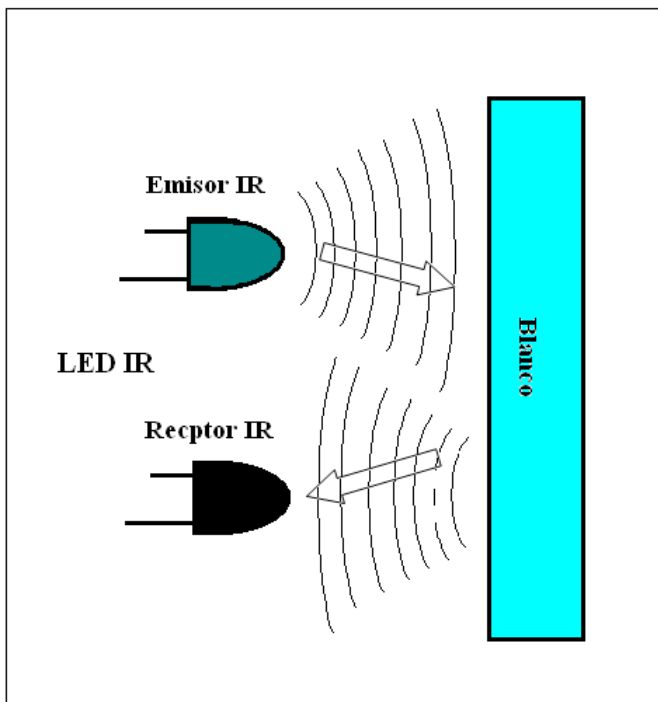


Figura 17. Esquema de un sensor de proximidad utilizando LED-IR

En la figura 17 se muestra el esquema de cómo funciona un sensor de proximidad utilizando dos LED infrarrojo, un emisor y receptor. La radiación electromagnética en algunos fenómenos físicos se

comporta como una onda la cual cumple con las leyes de la óptica ondulatoria; esto quiere decir que igual a una onda mecánica estas se emiten y reflejan, aunque el material que está compuesto el blanco absorbe gran parte de esta energía y refleja una pequeña porción los receptores toman esta pequeña parte y la convierten en una diferencia de potencial que varía dependiendo de la distancia.

Algunos de los sensores ópticos que se consiguen en el mercado electrónico son los siguientes:



sensores opticos para automatización

Figura 18. Algunos sensores ópticos comerciales
(tomada de los catálogos de venta)

Otra forma de apreciar un sensor en su conformación es en el circuito que aparece en la figura 19. Este es un sensor de proximidad, que se puede usar como interruptor en un sistema de automatización



Figura 19. Circuito de un sistema de interrupción con sensor de proximidad

Como se mostró en los numerales anteriores, los sensores son una herramienta importante dentro las aplicaciones científicas, industriales y en los laboratorios de docencia porque estos nos ayudan a percibir los cambios de alguna variable física o química que se esté monitoreando o midiendo. Estos cambios muchas veces son representados de diferentes formas, ya sean mecánicos, acústicos, eléctricos entre otros, por parte de la física, y de la química por algún cambio en la concentración de la sustancia en estudio. También se ve que estos sensores mayormente traducen sus cambios en forma eléctrica. Internamente los sensores tienen algún parámetro que al entrar en interacción con

el medio de medida cambia alguna propiedad eléctrica de este como se vio en el caso del sensor de humedad relativa y el acelerómetro, ellos tienen internamente un condensador, el cual cambia su capacitancia al variar tanto la constante dieléctrica y la distancia entre las placas respectivamente. Este cambio de la capacitancia se representa en un cambio del voltaje en las salidas de los sensores y este valor finalmente el que se le asocia el cambio de interacción. Los sensores que tienen como salidas señales eléctricas son los más utilizados actualmente, esto se debe a que ellos se pueden integrar a otros sistemas más complejos para el análisis del cambio de voltaje que representan el fenómeno físico de interés. Estos sistemas son los llamados sistemas de adquisición de datos.

Se pudo observar que los sensores se clasifican de varias maneras, de acuerdo al tipo de variable que se quiera medir o monitorear. Aunque esta no es una clasificación general y existen otras clasificaciones de los sensores según el tipo de señal, como pueden ser digitales o análogos.

3. MICROCONTROLADOR PIC

Un microcontrolador es un circuito integrado que contiene todos los componentes necesarios para controlar el funcionamiento de una tarea determinada, como el control de una lavadora, un teclado de ordenador, una impresora, un sistema de alarma, entre otros. Para esto, el microcontrolador utiliza muy pocos componentes asociados. Un sistema con microcontrolador debe disponer de una Memoria donde se almacene el programa

que gobierna el funcionamiento del mismo, que una vez programado y configurado, sólo sirve para realizar la tarea asignada. La utilización de un microcontrolador en un circuito reduce notablemente el tamaño y número de componentes y, en consecuencia, disminuye el número de averías y el volumen y peso de los equipos, entre otras ventajas.

El microcontrolador es uno de los inventos más notables del siglo xx. En el mercado hay gran cantidad de ellos, con multitud de posibilidades y características. Cada tipo de de microcontrolador sirve para una serie de casos y es el diseñador del sistema quien debe elegir el microcontrolador más idóneo para cada caso.

En los últimos años han tenido un gran auge los microcontroladores PIC fabricados por Microchip Technology inc. Los Pic (peripheral Interface Controller) son una familia de microcontroladores que ha tenido gran aceptación y desarrollo en los últimos años gracias a que sus buenas características, bajo precio, reducido consumo, pequeño tamaño, gran calidad, fiabilidad y abundancia de información, los convierten en muy fácil, cómodos y rápidos de utilizar.

A la hora de escoger el microcontrolador a emplear en un diseño concreto se debe tener en cuenta multitud de factores, como son: la documentación y herramientas de desarrollo disponibles y su precio, la cantidad de fabricantes que lo producen y, por supuesto, las características del microcontrolador (tipo de memoria de programa, número de temporizadores, interrupciones, entre otros).



Figura 20. Algunos microcontroladores comerciales
(tomada de catálogo)

PIC (Microchip) familia de microcontroladores que gana popularidad día a día, fueron los primeros microcontroladores RISC. Es preciso resaltar en este punto que existen innumerables familias de microcontroladores, cada una de las cuales posee un gran número de variantes.

Al estar todos los microcontroladores integrados en un chip, su estructura fundamental y sus características básicas son muy parecidas. Todos deben disponer de los bloques esenciales: Procesador, memoria de datos y de instrucciones, líneas de E/S, oscilador de reloj y módulos controladores de periféricos. Sin embargo, cada fabricante intenta enfatizar los recursos más idóneos para las aplicaciones a las que se destinan preferentemente.

Cada fabricante oferta numerosas versiones de una arquitectura básica de microcontrolador. En algunas amplían las capacidades de memorias, en otras incorpora nuevos recursos, en otras reduce las prestaciones al mínimo para aplicaciones muy simples, y así sucesivamente. La labor del diseñador

es encontrar el modelo mínimo que satisfaga todos los requerimientos de su aplicación. De esta forma, minimizará el costo, el hardware y el software. Los principales recursos específicos que incorporan los microcontroladores son:

- Temporizadores o “Timers”
- Perro guardián o “Watchdog”
- Protección ante fallo de alimentación o “Brownout”
- Estado de reposo o de bajo consumo
- Conversor A/D. o Conversor D/A
- Comparador analógico
- Modulador de anchura de pulsos o PWM
- Puertos de E/S digitales
- Puertos de comunicación



Dispositivos utilizados en la programación de microcontroladores

Figura 21. Algunos dispositivos que se usan como periféricos de microcontroladores

Existen diversas familias de PIC, las cuales se amplían constantemente, pero las más básicas son:

PIC16C5x: instrucciones de 12 bit, 33 instrucciones, 2 niveles de acumulador, sin interrupciones. En algunos casos la memoria es del tipo ROM, definida en fábrica

PIC16Cxx: instrucciones de 14 bit, 35 instrucciones, 8 niveles de acumulador. El PIC16C84 posee memoria EEPROM.

PIC16Cxx: instrucciones de 16 bit, 55 instrucciones, 16 niveles de acumulador. A menos que se indique, la memoria es del tipo EPROM.

En la familia de los PIC16FXX encontramos el PIC 16F87X, bajo el nombre de esta subfamilia de microcontroladores tenemos cuatro modelos: el PIC 16F873/4/6/7. Estos microcontroladores disponen de una memoria de programa FLASH de 4 a 8 Kbytes de 14 bits, considerablemente superior frente al PIC 16F84 en el que sólo se dispone de 1 Kbyte de 14 bits. De esta subfamilia de microcontroladores, el 16f873 y el 16f876 son de 28 pines, mientras que 16f874 y 16F877 tienen 40 pines, lo que permite disponer de 33 líneas de E/S.

a. Principales características PIC16f87x

Se mencionan a continuación las prestaciones y dispositivos especiales de los PIC16F87X:

- Procesador de arquitectura RISC avanzada

- Juego de solo 35 instrucciones con 14 bits de longitud. Todas ellas se ejecutan en un ciclo de instrucción, menos las de salto que tardan dos.
- Hasta 8K palabras de 14 bits para la Memoria de Programa, tipo FLASH en los modelos 16F876 y 16F877 y 4KB de memoria para los PIC16F873 y 16F874.
- Hasta 368 Bytes de memoria de Datos RAM
- Hasta 256 Bytes de memoria de Datos EEPROM
- Pines de salida compatibles para el PIC 16C73/74/76/77
- Hasta 14 fuentes de interrupción internas y externas
- Pila de 8 niveles
- Modos de direccionamiento directo e indirecto
- Power-on Reset (POP)
- Temporizador Power-on (POP) y Oscilador Temporizador Start-Up
- Perro Guardián (WDT)
- Código de protección programable
- Modo SLEEP de bajo consumo
- Programación serie en circuito con dos pines, solo necesita 5V para programarlo en este modo.
- Voltaje de alimentación comprendido entre 2 y 5,5 V
- Bajo consumo: < 2 mA valor para 5 V y 4 Mhz 20 μ A para 3V y 32 M <1 mA en standby.

b. Dispositivos periféricos

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo sleep de forma externa por un cristal/clock.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postscaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Ancho de Pulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Master (MSSP) con SPI e I2C (Master/Slave).
- USART/SCI (Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter) con 9 bit.
- Puerto Paralelo Esclavo (PSP) sólo en encapsulados con 40 pines

c. Diferencia entre los modelos de 28 y los de 40 pines

El PIC 16F873 y el 876 tienen 28 pines, mientras que el PIC 16F874 y 877 tienen 40.

Nos centraremos en el PIC 16F873, y las diferencias que tiene con sus hermanos que son mínimas; se detallan a continuación:

- d. Los modelos de 40 pines disponen de 5 Puertos de E/S: A, B, C, D y E, mientras que los de 28 sólo tienen 3 Puertos: A, B y C.*
- e. Los modelos de 40 pines tienen 8 canales de entrada al Conversor A/D, mientras que los de 28 sólo tienen 5 canales.*
- f. Sólo poseen el Puerto Paralelo Esclavo los PIC 16F87X de 40 pines.*

Bajo el nombre de esta subfamilia de microcontroladores, actualmente encontramos cuatro modelos: EL PIC 16F873/4/6 y 7. Estos microcontroladores disponen de una memoria de programa FLASH de 4 a 8 KBytes de 14 bits, considerablemente superior frente al PIC 16F84 en el que sólo disponíamos de 1 Kbyte de 14 bits.

De los microcontroladores indicados, el 16F873 y el 16F876 son de 28 pines, mientras que 16F874 y el 16F877 tiene 40 pines, lo que les permite disponer de hasta 33 líneas de E/S.

En su arquitectura se incorporan:

- Varios Timer
- USART
- Bus I2C

En la siguiente tabla 1 se hace una comparación de las características de los Pic de la familia 16f87xx

| Tabla 1: Comparación entre los PIC de la Familia 16F87XX | | | | |
|---|------------|------------|-----------|------------|
| Características | 16F873 | 16F874 | 16F876 | 16F877 |
| Frecuencia Máxima | DC-20Mhz | Dx-20Mhz | DX-20Mhz | DX-20Mhz |
| Memoria de programa Flash palabra de 14 bits | 4KB | 4KB | 8Kb | 8Kb |
| Posiciones RAM de datos | 192 | 192 | 368 | 368 |
| Posiciones EEPROM de d | 128 | 128 | 256 | 256 |
| Ports E/S | A,B y C | A,B,C yD | A,B y D | A,B,C y D |
| Nº de pines | 28 | 40 | 28 | 40 |
| Interrupciones | 13 | 14 | 13 | 14 |
| Timer | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Módulos CCp | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Comunicaciones Serie | MSSP,USART | MSSP,USART | MSS,USART | MSSP,USART |
| Comunicación paralelo | - | PSP | - | PSP |
| Líneas de entrada en convertidor A/D de 10 bits | 5 | 8 | 5 | 8 |
| Juegos de instrucciones | 35 INSTRU | 35 INSTRU | 35 INSTRU | 35 INSTRU |
| Longitud de la intrusión | 14bits | 14bits | 14bits | 14bits |

El Pic 16f877 se presenta en un encapsulado de 40 pines, como se muestra en la figura 22.

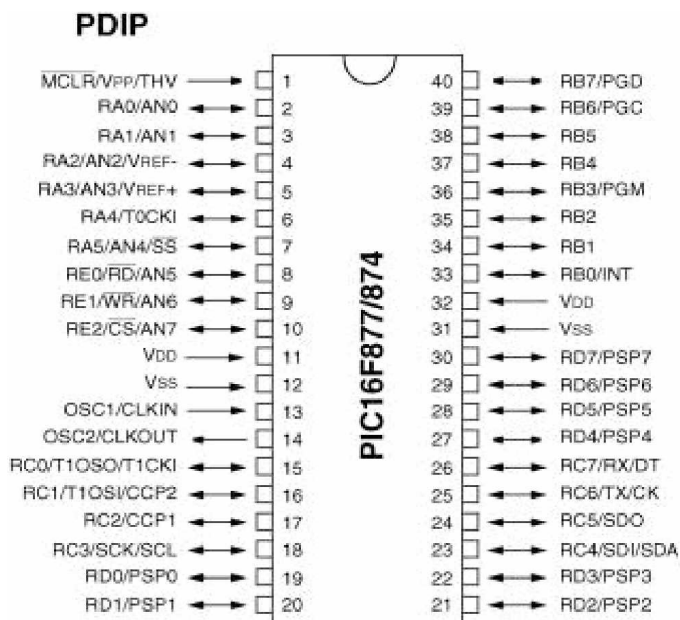


Figura 22. Encapsulado de Pic 16f877

Para que un Pic pueda funcionar se requiere de un programa y una serie de periféricos, que permiten evidenciar las funciones para las cuales se ha programado. En la figura 21 de páginas anteriores se mostró un grupo de dispositivos utilizados en las funciones de un PIC.

Se puede encontrar información adicional del PICmicro™ en el Manual de Referencia de los PIC de la gama media, (DS33023) los cuales se obtienen en el *website* de **Microchip**. El Manual de referencia debe ser considerado un documento complementario a estos datos, y es recomendable leerlo para entender mejor la arquitectura del dispositivo y el funcionamiento de los módulos periféricos.

Ensayos Experimentales en Física Mecánica y su Instrumentación Requerida

LOS INSTRUMENTOS

La ciencia y la tecnología se caracterizan por la necesidad de generar y medir variables físicas. Reciben el nombre de instrumentos los equipos tecnológicos que tienen como misión determinar la magnitud de una variable, visualizarla, generarla, o convertirla en otra diferente.

Por otra parte, la facilidad de modificación y transmisión a distancia de las señales eléctricas ha provocado el interés por convertir en eléctricas las señales no eléctricas (distancia, posición, velocidad, temperatura, densidad, entre otras) generadas por numerosos sistemas físicos. Además, a ello se ha unido el progreso del área de la electrónica aplicada denominada Microelectrónica, dedicada al estudio de los métodos y procesos de fabricación de circuitos integrados, lo cual ha abaratado el costo y elevado la capacidad de los sistemas electrónicos.

El trabajo de laboratorio de física está ideado para ayudar a entender mejor los principios básicos de esta

ciencia. Al mismo tiempo se familiarizará con las técnicas y métodos científicos empleados en el laboratorio. En cada experimento se busca una meta definida, investigando un principio específico o resolviendo un problema determinado. Para encontrar la respuesta al problema, usted, amigo lector, efectuará mediciones, las ordenará como datos y después interpretará éstos para encontrar el resultado de dichas mediciones.

Es probable que los resultados obtenidos no concuerden con los aceptados, pero esto sucede con mucha frecuencia y las causas son múltiples; sin embargo, tenga en cuenta que la relación entre lo observado y las leyes generales de la física son mucho más importantes que la estricta exactitud numérica.

EXPERIMENTOS Y ENSAYOS EXPERIMENTALES

Algunos de los experimentos y ensayos experimentales que se pueden realizar en un curso de física mecánica son:

1. Movimiento rectilíneo uniforme y uniformemente acelerado
2. Tiro parabólico y semiparabólico
3. Trabajo y energía: Conservación de la energía mecánica
4. Conservación de la cantidad de movimiento y de la energía mecánica
5. Conservación de la energía y el momento angular
6. Máquina de Atwood
7. Movimiento pendular

La mayoría de estos ensayos experimentales de laboratorio de física mecánica se llevan a cabo empleando materiales e instrumentos convencionales como: cronometro, riel, soporte universal, poleas, plano inclinado y otros dispositivos; pero se debe tener mucha habilidad para tomar datos en la realización de estas experiencias, debido a que se deben hacer dos y más actividades a la vez, tales son: la observación y la puesta en marcha de forma manual de un cronómetro.

La forma de realizar algunos de los ensayos experimentales, tales como plano inclinado, se puede observar en la figura 1 de este capítulo. Aquí se aprecia la forma muy dispendiosa de realizar la práctica. Estos procedimientos influyen mucho en los resultados finales. Teniendo en cuenta estas situaciones, se hace necesaria la realización de un proceso de automatización en los laboratorios de física con el objeto de mejorar los procedimientos empleados en la realización de los experimentos y ensayos experimentales en cada clase en los laboratorios.



Figura 1: Realización práctica de movimiento en una esfera en un plano inclinado

En estas situaciones es conveniente tener un instrumento que sea operado electrónicamente, que pueda mostrar los datos en pantalla y almacenarlos para poder analizarlos. Por ello, se requiere disponer de un sistema que realice las mediciones de manera automática.

Existen muchos dispositivos en el mercado dependiendo del fabricante, pero todos buscan el mismo fin. Uno de estos diseños es el mostrado en la figura 2 de este capítulo 3, el cual se puede emplear para la realización de diferentes prácticas relacionadas con la cinemática, tales como: movimiento rectilíneo y movimiento en un plano inclinado. Además, el montaje contiene una rampa, un cronómetro, el cual es activado automáticamente por dos sensores ópticos: uno de inicio y el otro de pare (start/stop).

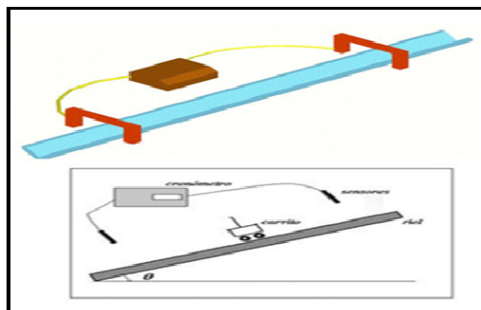


Figura 2. Plano inclinado utilizando sensores ópticos y un cronómetro digital

Otras de los ensayos experimentales que se realizan en un laboratorio de física mecánica es el movimiento vertical acelerado, el cual se puede instrumentar electrónicamente utilizando los mismos dispositivos

como en el caso anterior. En la siguiente figura 3 de este capítulo. se aprecia su montaje; también dispone de dos sensores ópticos: uno, que marca el inicio al momento en que se suelta un pequeño balón en la parte superior; el otro sensor, está ubicado en la parte inferior marcando el pare en el instante en que pasa el balón. En ambas situaciones, se hace referencia al mismo dispositivo que se está utilizando en diferentes experiencias.

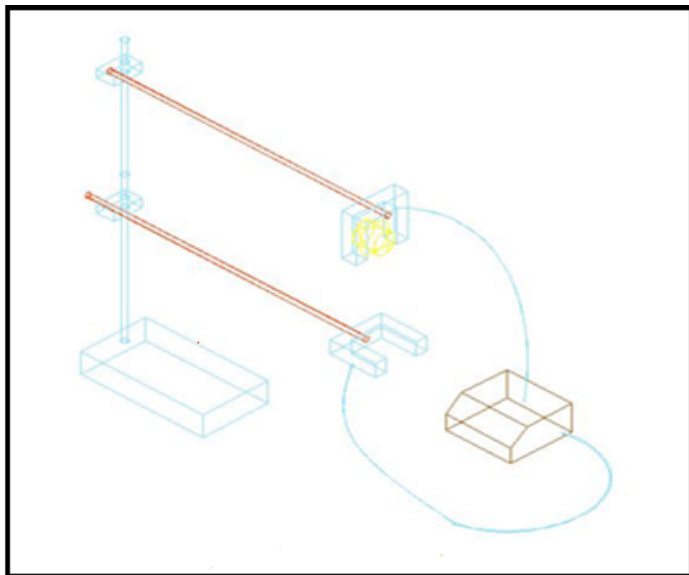


Figura 3. Movimiento caída libre, utilizando dos sensores y un cronómetro

Una de las variables físicas que se encuentra relacionada en un gran número de situaciones mecánicas es el tiempo. En la mayoría de los ensayos experimentales que se realizan en un curso de laboratorio de física mecánica se debe hacer medición de esta cantidad física. Pero la dificultad se presenta en la forma como se realizan

las mediciones en los diferentes eventos en los cuales se requiere tener registro de tiempo. Es por esto que se deben instrumentar electrónicamente los laboratorios de física con una instrumentación acorde con las variables y el tipo de ensayos que se realizan.

En la gran mayoría de los ensayos experimentales de física mecánica anteriormente mencionados se debe hacer medición de tiempo, por lo que se debe usar un cronómetro cuyo funcionamiento sea automático, con el propósito de disminuir los errores de medición que se presentan cuando es el observador quien inicia y para el cronómetro.

En la actualidad existe gran necesidad y se ha despertado un interés por diseñar y construir nuevos prototipos para la enseñanza de los laboratorios de física, ya que los equipos utilizados en los laboratorios. En los actuales momentos, en muchas instituciones educativas tienen problemas con la difícil adquisición de equipos, altos costos, confiabilidad en los resultados y manejo de los mismos. Por todas estas situaciones, han surgido en las instituciones educativas grupos de investigación en instrumentación y metrología que se dedican al diseño y construcción de prototipos para la realización de ensayos experimentales de física. En la gran mayoría de estos diseños se recurre a las bondades que brindan los microcontroladores Pic.

En el siguiente capítulo cuatro se describirá el proceso de diseño y construcción de un cronómetro digital basado en microcontrolado Pic, utilizado en algunas de los ensayos experimentales en el laboratorio de física mecánica.

Cronómetro Digital Utilizando Microcontrolador PIC

INTRODUCCION

Si queremos conocer el intervalo entre dos eventos, necesitamos disponer de un controlador de tiempos, el dispositivo al que se hace referencia es un cronómetro. En este capítulo se describe el procedimiento para su diseño y construcción, detallando elementos del circuito y destacando la importancia que representa la programación del microcontrolador pic en este diseño.

1. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN

Existen diversas alternativas para la construcción de un cronómetro digital. Pueden estar basados en el uso de integrados que ejecutan funciones específicas o pueden realizarse a través del uso de microcontroladores, los cuales son más versátiles. Por su parte, el uso de los microcontroladores implica un trabajo adicional, en el sentido de que estos se deben programar utilizando un lenguaje de máquina o de bajo nivel con el cual se le “indican” las tareas que debe desarrollar. Es por ello, que el mayor

trabajo para el desarrollo de un cronómetro se hace en la parte de la programación del microcontroladores PIC. En la construcción de un cronómetro, un dato importante para empezar, es decidir cuánto tiempo hemos de controlar; de esto depende el número de dígitos a usar. En este caso se busca que alcance las décimas de segundo, que muestre minutos y segundos desde 00.00 hasta 59.59. El estudio de un contador digital de cuatro dígitos con el que pueda contar en ascendente, exige obtener una señal de reloj como base de tiempos para la sincronía del equipo con otros posibles equipos, también es conveniente disponer de otras dos frecuencias, para acelerar una puesta a punto y los pulsadores de inicio, parada.

En este diseño que se describe a continuación se tiene en cuenta el sistema digital (microcontrolador), el cual ya posee internamente el transductor ADC (interfase que convierte las señales análogas a digital). Ya a nivel de programación, el microcontrolador se prepara para ayudar a visualizar el dato análogo de tiempo.

El diseño del cronómetro consiste en **realizar un programa que se encargue de controlar la salida del microcontrolador PIC 4 displays de 7 segmentos de cátodo común, y como elementos de entrada dos pulsadores: uno, para la puesta en marcha; el otro, para la parada.** Estos dos pulsadores deben ir conectados a los puertos del Pic 16F877 RA0 (marcha) y RA1 (parada). Este cronómetro digital debe mostrar minutos y segundos en los displays aunque también se puede mostrar en pantalla LCD. En el diseño del programa se tiene presente que este puede encontrarse en dos estados posibles: contando o parado. El programa principal ejecuta un

bucle continuo de barrido de los cuatro displays que representan minutos y segundos; esto lleva a tener dos temporizaciones: 1) La de permanencia de cada dígito en su display; 2) La de contabilización del tiempo transcurrido cuando el cronómetro esté contando.

Para realizar estas dos temporizaciones se hace uso de dos de los tres temporizadores que posee el PIC 16F877: TMRO y TMR1. Se elige para la permanencia de cada dígito en el display el temporizador TMR0 y se deja el temporizador TMR1 para generar interrupciones periódicamente y servirá para incrementar los segundos y los minutos.

Las acciones de *marcha* y *parada* del cronómetro se pueden hacer con dos pulsadores, los cuales están conectados a RA0 (*marcha*) y RA1 (*parada*). Pero esta función puede ser reemplazada por un interruptor empleando un sensor infrarrojo. De esta forma se reemplaza el funcionamiento manual por uno automático, que sería lo adecuado para usarlo en los laboratorios de física y poder realizar mejores ensayos, y minimizar los posibles errores que se presentan en el momento de hacer medidas.

Como se puede apreciar, en el diseño del cronómetro digital se distinguen dos partes diferentes:

1. La programación del microcontrolador PIC, en la cual se generan los pulsos eléctricos y se controlan los display.
2. La de los circuitos, donde se acoplan los periféricos al PIC. En la figura 1 de este capítulo, se puede apreciar el circuito que conforma el cronómetro.

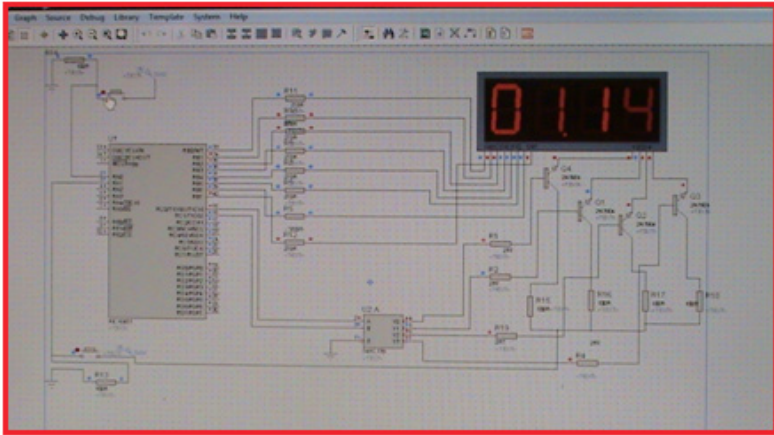


Figura 1. Simulación del circuito que constituye el cronómetro digital

En la parte de circuito se utilizan los componentes electrónicos necesarios para permitir sacar la información del microcontrolador; es decir, los periféricos. Dentro de estos periféricos se tienen cuatro display; cada display consta de 7 segmentos, todos ellos son diodos leds de cátodo común. Los segmentos de los display se controlan directamente mediante el puerto B del microcontrolador. En la parte del funcionamiento del cronómetro para marchar y parar se utilizan dos circuitos: 1) Para ponerlo en marcha y 2) Para pararlo. Este circuito es un detector infrarrojo de proximidad. La forma de alimentación de todos estos circuitos es a través de una pila de 9 voltios, lo cual representa una gran ventaja para el traslado y manejo del equipo.

2. ALGORITMO UTILIZADO EN EL DISEÑO DEL CRONÓMETRO

Las partes que presenta el algoritmo son:

1. Inicialización
2. Bucle de barrido de los display
3. Exploración de estado de los botones de marcha y parada
4. Programa de tratamiento de la interrupción de TMR1
5. Subprograma de suma con ajuste

Insertar archivo bloc de nota donde aparece el código fuente

Código fuente realizando en assembler (Véase anexo 1)

Grabación del programa en el microcontrolador.

El programa de control se graba en la memoria de programa mediante un equipo físico denominado grabador o programador para Pic. El programador es el equipo físico donde se procede a grabar la memoria del microcontrolador con las instrucciones del programa de control. Microchip ofrece el grabador PICSTAR PLUS.

El IC-Prog es de los softwares más populares que existen para la grabación de microcontroladores PIC. Es de libre distribución y en la pagina Web www.ic-prog.com se puede descargar y recoger toda la información del uso.

3. ELEMENTOS DEL CIRCUITO

Con este intertítulo se hace una descripción de cómo está constituido el circuito del dispositivo, y se mencionan los componentes que hacen parte del mismo; a continuación se dan algunos detalles al respecto:

El Circuito. Para el análisis y la síntesis de los circuitos y sistemas electrónicos se hace necesario realizar los siguientes procedimientos:

- Medir los parámetros de las señales eléctricas presentes en diferentes puntos de los mismos.
- Aplicar determinadas señales eléctricas en ciertos puntos, para comprobar su funcionamiento.

Al revisar la parte electrónica se encuentra que los componentes requeridos son pocos y de bajo costo. Una lista de los componentes es la siguiente:

- | | |
|--------------------------------|------|
| Pic 16F877 | (1) |
| Display catodo común | (4) |
| Resistencias de 300 ohmios | (12) |
| Integrado 74HC139 | (1) |
| Transistores 2n3904 | (4) |
| Resistencias 2.7K | (4) |
| Fuente de alimentación a 5 v D | |

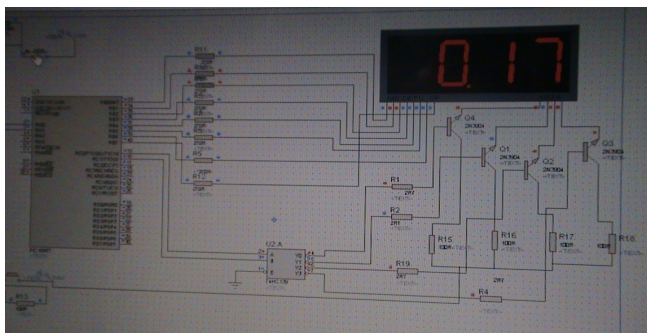


Figura 2. Simulación de circuito cronómetro digital

El circuito mostrado en la figura 2 de arriba, corresponde a la simulación del circuito realizada con el programa proteuss. Este programa es muy necesario para la simulación de los circuitos antes de realizar los montajes con los componentes. Además, este programa dispone de una herramienta para el diseño del circuito impreso.

Los dos circuitos que se muestran en las figuras 3 y 4 de este capítulo, representan un sensor óptico que se usa como botón pulsador del cronómetro, puesto que estos funcionan cuando es interrumpida la señal luminosa que se da en el sensor.



Figura 3. Circuito utilizado con interruptor

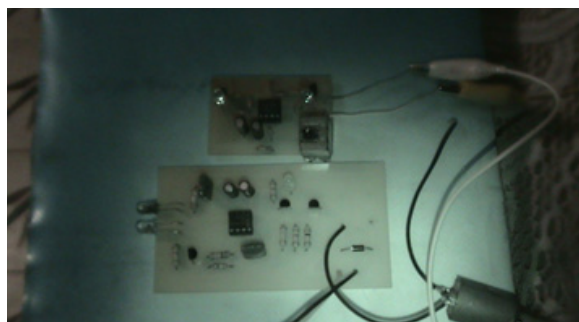


Figura 4. Dos circuitos utilizados como botón de marcha y de parada

Pero estos circuitos utilizados con interruptor se consiguen de forma encapsulada en los almacenes de electrónica y a bajos costos. En la figura 5 se muestra un sensor óptico, el cual está acondicionado para que funcione como botón de interrupción en el cronómetro.



sensores opticos para automatización

Figura 5. Sensores para adaptarlos al cronómetro

En la figura 5 se puede ver todo el circuito del cronómetro y con un circuito del sensor óptico.

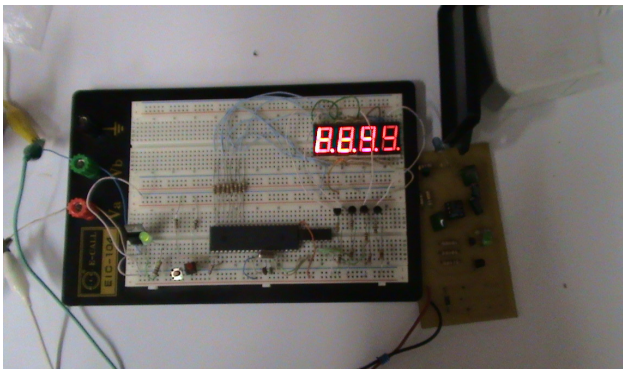


Figura 6. Montaje del circuito completo del cronómetro

Aquí, en esta parte (figura 6), se realiza la prueba del circuito en protoboar, donde el cronómetro se pone a funcionar utilizando el circuito del sensor infrarrojo. En esta parte del texto se busca que el lector se forme un idea de cómo son los circuitos utilizados en el desarrollo del cronómetro digital. Pero se debe tener en cuenta que existen muchos más diseños y cronómetros en el mercado, aunque lo importante son las necesidades del usuario.

Calibración del Dispositivo

INTRODUCCIÓN

Existen dos conceptos muy importantes dentro de la instrumentación: 1) La metrología, y 2) La calibración. El primero, está relacionado con todo el proceso de medición y su finalidad es establecer los procedimientos adecuados para realizar las medidas de forma apropiada y determinando la incertidumbre de las mismas. El segundo concepto, tiene que ver con el proceso necesario para poder garantizar que el instrumento de medición está apto para realizar la medición de la variable dentro del intervalo de confiabilidad requerido.

“La Metrología es la ciencia de las mediciones, y mediante estas se obtiene información sobre el comportamiento de la materia y lo producido mediante su transformación. La Metrología es la encargada de estudiar, diseñar y establecer las técnicas de medición requeridas para alcanzar la incertidumbre necesaria, conforme la aplicación particular, en los resultados de las mediciones”.

Como se desprende de la definición anterior, la función metrología es de vital importancia, porque es la que va

a permitir tomar decisiones, sea bien en un laboratorio en el cual se indaga sobre algún fenómeno físico, o sea, en el caso que se quiera controlar la calidad de un producto, o los parámetros de un proceso industrial.

1. INCERTIDUMBRE DE LAS MEDICIONES

Las mediciones, sin importar el procedimiento realizado, los instrumentos o las condiciones en las que se realizan, siempre tienen un error o incertidumbre asociado y este debe ser determinado mediante procedimientos de naturaleza estadística.

En general, cualquier procedimiento realizado con el fin de conocer o determinar el valor de una cantidad o variable es una medición. Esta medición puede ser directa o indirecta, dependiendo de si el valor de la variable se obtiene de la lectura directa en el instrumento, o de si es necesario el uso de fórmulas, tablas o gráficas para conocer el mismo. En ambas situaciones, es necesario cuantificar el error cometido.

Los errores se clasifican usualmente en absolutos y en relativos. Los absolutos miden la exactitud de la medición respecto a un valor que se acepta como verdadero, mientras que el relativo evalúa la precisión de un conjunto de datos, entendiéndose en este caso por precisión el grado de dispersión de estas medidas respecto a su valor promedio

La exactitud no es más que la diferencia o desviación del valor medido respecto al verdadero, y puede determinarse por diferentes métodos (error máximo, desviación estándar y otros). El error relativo o porcentual es la relación entre este error absoluto y el valor promedio o verdadero de la medida.

En el documento Métodos para el aseguramiento de la calidad de las mediciones en un laboratorio de calibración (ya mencionado) se presentan las siguientes definiciones:

- Repetitividad: Aptitud de un instrumento de medición para indicaciones muy cercanas, en aplicaciones repetidas de la misma magnitud por medir bajo las mismas condiciones.
- Reproducibilidad: Cercanía entre los resultados de una medición, efectuada bajo condiciones de medición diferentes. Debe indicarse cuál condición es la que cambia (principio de medición, método de medición, observador, lugar, entre otras).

Los errores también pueden clasificarse en sistemáticos y aleatorios dependiendo de si se pueden identificar y ejercer alguna acción de control para minimizarlos o eliminarlos. Los errores sistemáticos son aquellos en los que podemos ejercer estas acciones de control, mientras que los aleatorios son intrínsecos a los procesos de medición, siempre están presentes y su magnitud es variable. En este último caso la única solución posible es realizar la medición repetidamente, con el fin de minimizar el valor de la dispersión y acercarse más al verdadero valor de la variable.

Los errores sistemáticos, por definición, no deberían afectar significativamente el valor de la variable, ya que al ser controlables se debe ejercer la acción de control para ajustar el valor de la misma. La forma más simple de determinar el valor “verdadero” de una variable es mediante el cálculo de su media aritmética, así:

Y la medida de la incertidumbre se puede obtener como la desviación estándar de la desviación media:

Donde es la desviación estándar

Para un mayor nivel de detalle puede consultarse la referencia.

2. CALIBRACIÓN

En la metrología, la calibración es un conjunto de operaciones desarrolladas para establecer bajo condiciones específicas la relación entre el valor mostrado por la medición de un instrumento, en un sistema de medición, y el valor mostrado por un parámetro de referencia (de la misma naturaleza) o estandarizado. La calibración implica comparación y verificación, pero debe ir más allá.

El procedimiento de calibración realmente es específico de cada instrumento y de los componentes que lo forman. La calibración puede en el caso de los instrumentos electrónicos realizarse mediante acciones sobre el hardware (la programación del microcontrolador, por ejemplo) o sobre el software, en el caso que la señal llegue a un pc y a través del programa apropiado se realicen la medición (por ejemplo, Lab View).

La calibración se realiza comparando el valor medido con un parámetro estandarizado. Puede ser un patrón físico existente o puede ser una condición para la cual debe un cierto valor de medición. Cuando la diferencia o error no está dentro de los límites establecidos, se lleva a cabo la modificación de la programación o del hardware.

Para validar, la calibración apropiada de un instrumento es usual construir una gráfica en la que se observe su comportamiento y la desviación del mismo respecto al valor verdadero.

3. CALIBRACIÓN DEL CRONÓMETRO

En el proceso de calibración se pueden utilizar varios métodos, entre los cuales tenemos un método donde se calcule una constante conocida como la constante g

Realizando la experiencia de caída libre de un cuerpo a diferentes alturas.

El valor de la gravedad local es de suma importancia al realizar correcciones en mediciones de alta exactitud como en el campo de la Gravimetría y en los procesos de calibración de instrumentos, tales como: cronómetros, manómetros de columna de líquidos, balanzas de precisión, entre otros.

Otro método es el de comparar registro de tiempo en segundo, minutos y horas. En esta oportunidad se aplica el método de comparación de tiempo medidos por el cronómetro patrón y el cronómetro a calibrar. Este procedimiento se aplica a los cronómetros de disparo manual, analógico y digital.

Inicialmente se debe tener en cuenta algunos prerequisites o precauciones, tales como:

- El equipo patrón a utilizar debe encontrarse dentro del período de validez de calibración.
- Comprobar mediante inspección visual que el cronómetro se encuentra en buenas condiciones.

Equipo patrón y accesorios. Cronómetro manual patrón tipo microsplit 1030 o similar.

4. DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

Se deben realizar los pasos siguientes:

1. Tomar el cronómetro patrón en una mano y el cronómetro a calibrar en la otra.
2. Comprobar que los dos cronómetros está reseteados. Indicando una lectura de cero.
3. Apretar simultáneamente los pulsadores del cronómetro patrón y del cronómetro a calibrar de inicio de cuenta.
4. Esperar hasta que el cronómetro patrón indique aproximadamente un minuto. En ese mismo instante, apretar simultáneamente los pulsadores de parada del patrón y del equipo a calibrar, anotar las medidas obtenidas por ambos cronómetros.
5. Resetear ambos cronómetros
6. Repetir los puntos 3,4,5 hasta diez veces
7. Repetir los puntos 3, 4 y 5 esperando tiempos del orden de 10 minutos y 60 minutos.

5. TRATAMIENTO DE LOS RESULTADOS

Para el intervalo de un minuto se calcula la diferencia entre la medida de las indicaciones del cronómetro patrón (X_{oi}) y la medida de las indicaciones del cronómetro medurado (X_{mi}) para el resto de intervalos, se calcula

la diferencia entre la indicación del cronómetro patrón (X_{oi}) y las indicaciones del cronómetro medurado (X_{mi}), se obtiene la corrección o desviación de medida $\Delta X_i = X_{oi} - X_{mi}$. La incertidumbre total de calibración será debida a las contribuciones:

- A. Incertidumbre del laboratorio de referencia es decir cronómetro patrón
- B. Error por falta de sincronismo o similitud, acotado en un valor del orden de 0.005 segundos

La incertidumbre de medida con el cronómetro calibrado y debida únicamente a éste, será la siguiente:

$$I_c = 2 \sqrt{\left(\frac{A}{K}\right)^2 + \frac{B^2}{3}} ; K = 2$$

Donde K es el factor de incertidumbre del certificado de calibración del cronómetro patrón. Si no se efectúan las correcciones del certificado, a la incertidumbre anterior, con factor de $K = 2$, se le sumarán linealmente las desviaciones:

$$I_{ci} = \pm \left(I_c + \Delta X_{\max} \right)$$

Para implementar este modelo de calibración, se cuenta con un cronómetro manual y con una serie de ensayos experimentales en el laboratorio de física mecánica. Los resultados de las medidas y los cálculos realizados se registran en una tabla que se presenta en la siguiente sección:

6. RESULTADOS DEL PROCESO DE MEDICIÓN Y DE CALIBRACIÓN

Tabla 2: Registro de datos tomados de los dos cronómetros: el patrón y el de calibración

| minutos | | | segundos | | Error absoluto | Error relativo |
|------------------|-------------------------|------|------------------|------------------|------------------------------|----------------|
| $(X_{0i})_{T_p}$ | $(X_{mi})_{T_{C(seg)}}$ | | $(X_{0i})_{T_p}$ | $(X_{mi})_{T_c}$ | $\Delta X = X_{0i} - X_{mi}$ | |
| 1 | 0.6 | 0.6 | 10 | 5 | 0.4 | 0,66 |
| 2 | 1:06 | 1.1 | 15 | 8 | 0.9 | 0,81 |
| 3 | 1:36 | 1.6 | 20 | 10 | 1.4 | 0,87 |
| 4 | 2:12 | 2.2 | 25 | 13 | 1.8 | 0,81 |
| 5 | 2:42 | 2.7 | 30 | 15 | 2.3 | 0.85 |
| 6 | 3:12 | 3.2 | 37 | 18 | 2.8 | 0,87 |
| 7 | 3:42 | 3.7 | 40 | 20 | 3.3 | 0.89 |
| 8 | 4:12 | 4.2 | 45 | 23 | 3.8 | 0.90 |
| 9 | 4:42 | 4.7 | 50 | 26 | 4.3 | 0.91 |
| 10 | 5:12 | 5.2 | 60 | 30 | 4.8 | 0.92 |
| 11 | 5:42 | 5.7 | | | 5.3 | 0.92 |
| 12 | 6:11 | 6.2 | | | 5.8 | 0.93 |
| 13 | 6:38 | 6.6 | | | 6.4 | 0.96 |
| 14 | 7:07 | 7.1 | | | 6.9 | 0.97 |
| 15 | 7:38 | 7.6 | | | 7.4 | 0.97 |
| 16 | 8:06 | 8.1 | | | 7.9 | 0,97 |
| 17 | 8:36 | 8.6 | | | 8.4 | 0,97 |
| 18 | 9:06 | 9.1 | | | 8.9 | 0.97 |
| 19 | 9:36 | 9.6 | | | 9.4 | 0,97 |
| 20 | 10:08 | 10.1 | | | 9.9 | 0,98 |
| 21 | 10:39 | 10.7 | | | 10.3 | 0.96 |
| 22 | 11:09 | 11.2 | | | 10.8 | 0.96 |
| 23 | 11:39 | 11.7 | | | 11.3 | 0.96 |
| 24 | 12:10 | 12.2 | | | 11.8 | 0.96 |
| 25 | 12:41 | 12.7 | | | 12.3 | 0.96 |

**DATOS DEL MOVIMIENTO DE UNA ESFERA
EN UN PLANO INCLINADO TOMADOS CON
EL CRONÓMETRO PARA CALIBRAR**

| Distancia (cm) | t(seg) | | | | | (seg) | (seg) | | a (cm/ seg ²) | | S _a | δ _a % |
|-------------------|--------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|--|---------------------------------|--|----------------|------------------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1.0 | 1 | | | | | | |
| 80 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2 | | | | | | |
| 120 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2.0 | 2 | | | | | | |

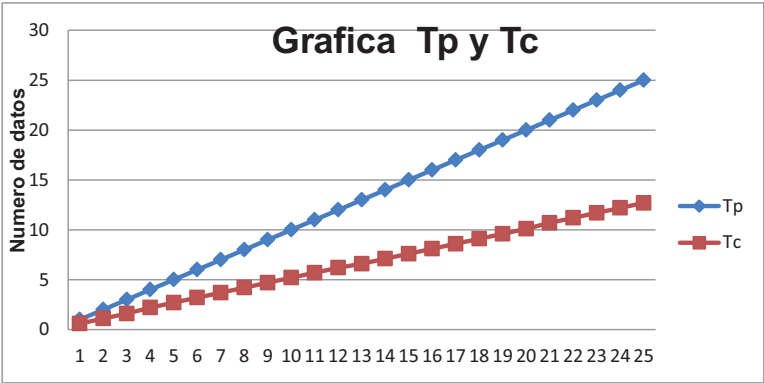
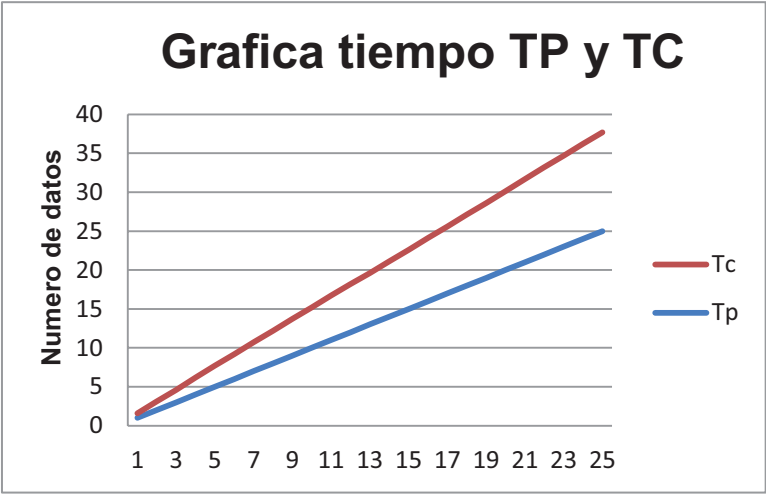
Tabla 3: Registro de datos tomados en la realización de una práctica de laboratorio

**DATOS DEL MOVIMIENTO DE UNA ESFERA
EN UN PLANO INCLINADO TOMADOS CON
CRONÓMETRO PATRÓN**

| Distancia (cm) | t(seg) | | | | | (seg) | (seg) | | a (cm/ seg ²) | | | |
|-------------------|--------|------|------|------|------|-------|-------|------|---------------------------------|-------|------|------|
| | | | | | | | | | | | | |
| 40 | 1.41 | 1.47 | 1.44 | 1.45 | 1.42 | 1.44 | 0.024 | 1.66 | 38.68 | | | |
| 80 | 2.04 | 2.06 | 2.09 | 2.11 | 1.99 | 2.06 | 0.047 | 2.26 | 37.77 | 39.78 | 2.72 | 6.83 |
| 120 | 2.35 | 2.36 | 2.41 | 2.37 | 2.34 | 2.37 | 0.027 | 1.14 | 42.87 | | | |

Tabla 4: Registro de datos tomados en la realización de una práctica de laboratorio

Al apreciarse los datos de la tabla 1 se puede realizar gráficas para mirar el comportamiento de las variables tiempo ejecutadas durante el proceso de calibración:



Bibliografía

ANGULO, Uzuategui, José María. Microcontroladores PIC. Solución en un solo Chips. Paraninfo, 1999.

_____. Microcontroladores PIC. McGrawHill, 1998.

_____. Laboratorio de microelectrónica. Voll ii. McGrawHill. Madrid, 2002

COOPER, William, y HELFRICK, Albert. Instrumentación Electrónica Moderna y Técnicas de Medición. Prentice Hall. México, México. 1991.

GONZÁLEZ, Carlos, y ZELENY, Ramón. Metrología. McGraw-Hill. México. 1999.

JHONSON, Curtis. Manual de Tecnología Eléctrica y Electrónica. Prentice Hall. México, México, 1998.

MANDADO, Enrique, y otros. Instrumentación Electrónica. Alfaomega Marcombo Editores. Barcelona, España.1995.

MEINERS, Harry y EPPENTEIN, Walter. Experimentos de Física. Editorial Limusa. México, México,1980.

PALACIOS, Enrique; Ramiro Fernando. Microcontrolador Pic16f84 Alfaomega grupo Editores. México, 2004

PALLAS, Ramón. Sensores y Acondicionadores de Señales. 3ª edición. Alfaomega. Nacombo, 2000.

TOCCI, Ronald. Sistemas Digitales. Prentice Hall. México, México.1987.

Referencias

[1] Jacob Fraden, *“Handbook of Modern Sensors (Physics, Designs and Applications)”*, Second edition, edit Spinger.

[2] Ryogo Kubo. *“Thermodynamics”*, North-Holland Publishing Company-Amsterdam, John Wiley and Sons, INC. New York, 1968.

[3] Gonzáles. J. *“Transductores y medidores electrónicos”*, Marcombo boixareu editores.

[4] *“Manual on the Use of Thermocouples in Temperature Measurement”*, Fourth Edition, ASTM

MNL-12, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, 1993.

[5] Robert P. Benedict. *“Fundamentals of Temperature, Pressure and Flow Measurements”*, John Wiley & Sons, Inc., New York, 1969.

[6] Budde W. *“Optical Radiation Measurements”*. Vol 4. *Physical Detector of Optical Radiation*, New York, Academic Press. 1983.

[7] National Semiconductor, *“Precision Centigrade Temperature Sensors”*, 2000.

[8] Ohmic Instrumets co, *“Ceramic Resistive Humidity Sensor”*, 2001.

[9] Honeywell, *“Humidity Sensor Theory and Behavior”*. 2008. www.honeywell.com/sensing.

[10] Sears & Zemansky, *“Física Universitaria, Vol 2”*. Adinson Weley, Edición 11°. 2008.

[11] Burak Okcan and Tayfun Akin, *Member, IEEE*, *“A Low-Power Robust Humidity Sensor in a Standard CMOS Process. IEEE Transactions on Electron devisces, Vol 54, No. 11, 2007.*

[12] Neubert, Hermann K. P., *“Instrument Transducers”* 2nd Ed, Pub. 1975 by Clarendon Press in Oxford, England, pp. 38, 264, 36, 51 & 39.

[13] Ming-Lai Lai and A Soom, *“An electromagnetic wall velocimeter for liquid film flows: theory and experiment”*. Measurement Science and Techonology. Vol 1, No. 11, 1990.

[14] P. T. Alfimov, V. P. Lamashevskii **and** I. V. Makovetski, *“Extensometer for measuring axial and tangential strains in tubular specimens”*, Springer New York, Vol 15 No 1, págs.141-143, 1983.

[15] Sensym ICT. *“Low Cost Pressure Sensor”*, 2005

[16] Fateme Mohandespour, *“Acoustic Transducers”*. Amirkabir University Of Technology, 2003.

ANEXO

Algoritmos para el programa del microcontrolador PIC

Lista de Figuras

Capítulo 1:

- Figura 1 Generador de funciones
- Figura 2 Osciloscopio digital usado en la actualidad (2011)
- Figura 3 Sensores ópticos usados en el mercado
- Figura 4 Sincronización analógica/digital

Capítulo 2:

- Figura 1 Esquema de la interacción del sensor con el fenómeno y su respuesta.
- Figura 2 Esquema general de una termocupla
- Figura 3 Esquema del circuito de un termistor
- Figura 4 Esquema de un pirómetro óptico
- Figura 5 Encapsulado de un sensor integrado de temperatura LM 35
- Figura 6 Típicos sensores comerciales de humedad de resistencia
- Figura 7 Esquema del funcionamiento de un sensor de humedad de capacitancia
- Figura 8 Modelo del condensador de los sensores de humedad
- Figura 9 Esquema del circuito de un sensor de humedad de conducción térmica

- Figura 10 Diferentes tipos de acelerómetros comerciales, con sus respectivas tarjetas
- Figura 11 Esquema de un acelerómetro con principio de funcionamiento de un condensador
- Figura 12 Velocímetro construido con un sensor que mide flujo magnético
- Figura 13 Montaje de un extensómetro axial
- Figura 14 Modelo físico del campo magnético
- Figura 15 Esquema de un sensor de presión comercial SSAN-24

Capítulo 2:

- Figura 16 Partes importantes de un micrófono electrete
- Figura 17 Esquema de un sensor de proximidad utilizando LED-IR
- Figura 18 Algunos sensores ópticos comerciales (tomada de los catálogos de venta)
- Figura 19 Circuito de un sistema de interrupción con sensor de proximidad
- Figura 20 Algunos microcontroladores comerciales (tomado de catálogo)
- Figura 21 Algunos dispositivos que se usan como periféricos de microcontroladores
- Figura 22 Encapsulado de Pic 16f877

Capítulo 3:

- Figura 1 Realización práctica de movimiento de una esfera en un plano inclinado
- Figura 2 Plano inclinado utilizando sensores ópticos y un cronómetro digital
- Figura 3 Movimiento caída libre, utilizando dos sensores y un cronómetro

Capítulo 4:

- Figura 1 Simulación del circuito que constituye el cronómetro digital
- Figura 2 Simulación del circuito cronómetro digital
- Figura 3 Circuito utilizado con interruptor
- Figura 4 Dos circuitos utilizados como botón de marcha y de pasada
- Figura 5 Sensores para adaptarlos al cronómetro
- Figura 6 Montaje del circuito completo del cronómetro

Lista de Tablas

- | | |
|---------|--|
| Tabla 1 | Comparación entre los Pic de la familia 16f87XX |
| Tabla 2 | Registro de datos tomados de los dos cronómetros: el patrón, y el de calibración |
| Tabla 3 | Registro de datos tomados en la realización de una práctica de laboratorio |
| Tabla 4 | Registro de datos tomados en la realización de una práctica de laboratorio |

