

31
2ej.



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE CIENCIAS

**DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN LABORATORIO
CONTROLADO POR COMPUTADORA.**

T E S I S

QUE SE PRESENTA PARA OBTENER EL GRADO DE
LICENCIATURA EN LA CARRERA DE FISICA

POR

ALEJANDRO PADRON GODINEZ

“ POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU ”

CIUDAD UNIVERSITARIA

ENERO 1992.

FALLA GEN



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

INDICE DE CONTENIDO DE LA TESIS

INTRODUCCION

CAPITULO I

EPISTEMOLOGIA DE LA FISICA EXPERIMENTAL 1

CAPITULO II

EL METODO EXPERIMENTAL

	Introducción.	10
2.1	Experimentación e Investigación.	11
2.2	Características del Método Científico.	11
2.3	Las Hipótesis.	12
2.4	Los elementos de juicio.	13
2.5	La sistematización.	13
2.6	La naturaleza autocorrectiva.	14
2.7	La naturaleza abstracta de la teoría científica.	14
2.8	Tipos de teorías científicas.	15
2.9	Tipos de preguntas y respuestas.	15
2.10	Clasificación.	16
2.11	Relaciones.	17
2.12	Funciones.	17
2.13	Cualificación y cuantificación.	21
2.14	Lo particular y lo general.	22
2.15	Las fases de la investigación.	23

CAPITULO III

TEORIA DE LA MEDIDA

	Introducción.	24
3.1	Escalas nominales.	25
3.2	El conteo.	26
3.3	Tipos de relaciones.	26
3.4	Tipos de ordenamientos.	28
3.5	Escalas de intervalos.	28
3.6	Clasificación de las escalas de medida.	29
3.7	La medición.	30
3.8	Condiciones formales de la medición.	31

CAPITULO IV

MEDICIONES

	Introducción.	32
4.1	Mediciones.	32
4.2	Propagación de incertidumbres.	38

CAPITULO V
ANALISIS DE DATOS

	Introducción.	43
5.1	Modelos lineales.	43
5.2	Método de mínimos cuadrados.	47
5.3	Modelos potenciales.	54
5.4	Modelos exponenciales.	59

CAPITULO VI
DESCRIPCION DEL SISTEMA

	Introducción.	65
6.1	Descripción del sistema.	68
6.2	Empleo y Servicio del sistema.	70
6.3	Principio de funcionamiento.	86

CAPITULO VII
DESCRIPCION DE INSTRUMENTOS

	Introducción.	90
7.1	Voltímetro.	91
7.2	Amperímetro.	96
7.3	Ohmetro.	102
7.4	Frecuencímetro.	108
7.5	Phmetro.	115
7.6	Termómetro.	121
7.7	Fotómetro.	129
7.8	Cronómetro.	136
7.9	Fotocolorímetro.	142
7.10	Conductímetro.	143

CAPITULO VIII
SOFTWARE

	Introducción.	158
8.1	Explicación.	158
8.2	Programa " LABORATORIO ".	159
8.3	Programa " GRAFICADOR ".	168
8.4	Programa " GRAFICADOR MULTIPLE ".	169
8.5	Programa " SUMADOR DE SEÑALES ".	170

CAPÍTULO IX

APLICACION

	Introducción.	171
9.1	Movimiento Circular Uniforme.	172
9.2	Movimiento Armónico Simple.	173
9.3	Relación entre el movimiento armónico simple y el movimiento circular uniforme.	176
9.4	Péndulo Simple.	177
9.5	Fuerza conservativa dependiente de la posición. Energía Potencial.	181
9.6	Oscilador Armónico Amortiguado.	183
9.7	Péndulo Físico.	187
9.8	Resultados Experimentales.	189

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

205

INTRODUCCION

Uno de los grandes problemas que existen en el ámbito educativo, es la absoluta disociación que existe entre los conocimientos de Ciencia y Tecnología que desean ser impartidos a los estudiantes, y la realidad que en sí presentan tanto la Investigación Científica, como el desarrollo de la Tecnología. Es evidente que las relaciones entre el sujeto y el objeto científico o tecnológico, no son en ningún momento la que se dan en el aula entre el profesor y el alumno. Las relaciones entre el alumno y el supuesto objeto de estudio científico o tecnológico, así como las relaciones entre profesor y alumno, son lineales y manejadas directamente por el profesor, sin permitir elementos de dubitación en el alumno. Esto lo que en principio permite es exclusivamente la posibilidad del ejercicio de la memoria para poder saber los elementos requeridos para la aprobación del curso, y la relación entre el alumno y el objeto de conocimiento, sólo se hace presente en algún ejemplo, o demostración experimental manejada por el profesor, o en algunas PRACTICAS, que bajo un esquema de receta de cocina, se presentan al alumno para su realización.

Como se ve de lo anterior, la posibilidad de crear los elementos de ambiente que permitan la génesis de las estructuras conceptuales en los estudiantes, está muy lejos de lograrse, lo que de alguna manera se logra es una capacidad de tipo operativo sobre una sintaxis de lenguaje que permite la sustitución numérica en las ecuaciones.

Definir una cosa, es establecer los principios generales que permitan la identificación de la pertenencia a una cierta categoría, esto implica en sí, toda una gama de atributos lógicos de pensamiento que lo permitan, atributos sin los cuales, la posibilidad clasificativa, y por ende definitoria, no es posible de darse en los estudiantes.

Las formas de la evidencia científico-tecnológica, son claramente formales, y es indispensable que se presenten en forma de acto real, para que puedan ser percibidas por el sujeto. Si éstas no están presentes en su relación cognoscitiva, es imposible que les sean necesarias para buscar perse su construcción.

La evidencia experimental, que permite este tipo de presencia, no es la demostración de reglas generales, ni la manipulación de circunstancias para lograrla, sino que consiste en aquella que permite la posibilidad de establecer las clases y las reglas, que a partir de supuestos contruidos al interior del sujeto generen un modelo propio de la realidad en forma concreta. La posibilidad de que en el primer tipo de presentación se puedan inducir elementos de control perceptual es, por lo anterior, prácticamente nula.

No es posible pensar, que si la realidad perceptual del sujeto estudiante es diferente de la realidad del medio científico-tecnológico, este pueda recrear imagenes que motiven su búsqueda. El mundo técnico de nuestro tiempo implica en sí, la necesidad del dominio de los sistemas que permiten las formas de percepción y control de la realidad que nos construimos, realidad que es siempre ocultada al estudiante en las escuelas.

Si analizamos los elementos con los cuales el científico y el tecnólogo realizan sus creaciones, y los comparamos con las realidades de los laboratorios escolares, nos podemos dar cuenta en forma inmediata de que la disociación planteada es clarísima. Un laboratorio formal, implica de entrada un sentido a la necesidad de su existencia, la instrumentación de medida, caracterización y control que en el existe responde a una particular expectativa y creencia de lo que con él se puede y quiere realizar, esto en sí implica la duda sobre la cual, se desea crear un modelo explicativo o descriptivo. Es el investigador científico-tecnológico, el que se crea el problema, y es el mismo el que le da respuesta o solución operante.

El laboratorio entendido como escolar en nuestro país, presenta una imagen radicalmente diferente. El estudiante no tiene acceso a la obtención de un instrumental que le permita la clarificación, a su nivel, de sus dudas o hipótesis, ya que de entrada, el problema que se le presenta es inexistente, dado que ya está demostrado como tal en la operatividad matemática del profesor en la clase teórica. Con lo anterior lo que construye por se es la necesidad de que los datos experimentales, en el caso de que los obtenga, deban de ajustarse al modelo explicativo o descriptivo dado por el profesor, sin tomar en cuenta la necesidad de la génesis de un modelo propio que pueda ser construible del experimento, y el cual a su vez, marca la clase de experimento a realizar.

Si partimos a la comparación, podemos preguntarnos: ¿Será posible que logre el estudiante, un dominio sobre la realidad, cómo para poder crearse un modelo de ésta?

Si tenemos las herramientas de la tecnología en el ámbito escolar, ¿Por qué no usarlas para poder crear con ellas un ambiente que permita acercarse al estudiante a la realidad?

Es posible que se pueda creer en fantasmas si deseamos creer en ellos, lo que no es posible es demostrar que éstos existen. El creer en fantasmas es un acto de fe, demostrar su existencia es percibirlos y poder decir como y por que son. Lo que en este tiempo hacemos en el aula laboratorio, es pedirle a los estudiantes que crean en los fantasmas, cuando lo que deberíamos de hacer, es pedirles que se demuestren su existencia.

Bajo la idea anterior la computadora nos permite la construcción de un ambiente que facilite el obtener, con la instrumentación más cercana a la de la realidad experimental, la posibilidad de motivar la necesidad de la demostración verificada de las percepciones realizadas por los estudiantes, y además ésta como solución a un problema de génesis propia.

Las posibilidades tanto gráficas como conversacionales de las computadoras, permiten que el estudiante pueda establecer elementos conectivos entre una realidad observada, y la representación modelada del fenómeno, tanto en forma simbólica como gráfica. Esto a su vez no dará una correspondencia entre modelo y realidad por medio de la simulación, lo que permitirá la verificación de lo modelado a partir de la observación controlada.

La posibilidad de crear un hardware y un software, que permita la medida, el control de los parámetros, la acumulación de los datos, el manejo operacional de ellos para el modelaje abstracto, y la simulación operativa del modelo para su verificación concreta, es en síntesis, lo que nos permitirá el paso de lo concreto a lo abstracto, y de lo abstracto a lo concreto.

En un laboratorio controlado por computadora, estamos privilegiando la posibilidad de que los estudiantes adquierán las metodologías y la génesis de estrategias cognoscitivas por ellos mismos, en un contexto de inducción experimental, y de dubitación propia, en lugar de enseñarles los conceptos y los métodos de obtención de modelos para que sean creídos por ellos, y esporádicamente corroborados en un laboratorio.

Si el trabajo en el laboratorio se dedica a la solución de problemas concretos, que sean reales a los estudiantes, se pueden emplear los conceptos y los objetos en el laboratorio de forma holística, es decir, será dada la posibilidad de que el estudiante pueda acceder a obtener la información deseada, a través de todos sus sentidos, y de las ampliaciones instrumentales de éstos que requiera, lo que le permitirá tener una visión global o específica de su problema objeto de estudio.

Desde este punto de vista los estudiantes estarán en la posibilidad de crear sus propias relaciones entre los objetos y sus creencias, creando los conceptos propios que les permitan un modelo, que verificado en la simulación les permita predecir los resultados de la relación o interacción entre los objetos, así como definir las condiciones necesarias y suficientes de la experimentación para la verificación de sus relaciones, tanto experimentalmente, como en simulación.

El planteamiento anterior nos lleva a presentar el siguiente esquema:

- 1.) La necesidad de contar con instrumentación de medición y control de parámetros, vía la computadora.
- 2.) La necesidad de contar con software que permita, tanto la operación de la instrumentación, como el establecimiento de los parámetros de control de las variables experimentales.
- 3.) La necesidad de contar con software que permita tanto la captura de los datos de las medidas de las variables, como el manipuleo de estos para lograr las representaciones simbólicas que los modelen.
- 4.) La necesidad de contar con la posibilidad de poder crear simulaciones de los modelos en la computadora.

En este esquema se trabaja de la siguiente manera:

Problema → Diseño experimental → Medida → Modelaje → Simulación.

Pondremos un ejemplo de un tema de Física, trabajado por los alumnos de esta forma. El problema presentado a los alumnos, fué describir la forma mediante la cual se mueve un péndulo físico amortiguado.

Se había realizado con anterioridad todo un trabajo de análisis experimental de un péndulo simple, usando la técnica anterior. Se sustituye el anterior péndulo por un péndulo amortiguado, y se les pide a los estudiantes que ahora su problema es describir y verificar la descripción de esta nueva forma de movimiento.

El laboratorio cuenta con la siguiente instrumentación conectada a una computadora Apple II-C:

- 1.) Voltímetro con resolución de 1/100 en los siguientes intervalos de lectura: 0-2, 0-20, 0-200 volts.
- 2.) Amperímetro con resolución de 1/100 en los siguientes intervalos de lectura: 0-200mA, 0-20mA y 0-2A.
- 3.) Frecuencímetro con resolución de 1/100 en los siguientes intervalos de lectura: 0-10KHz, 0-100KHz, 0-1MHz.
- 4.) pHmetro con resolución de 1/10, con presentación simultánea de temperatura, milivoltaje, pendiente y pH.
- 5.) Cronómetro con resolución de 1/100 de seg, con la posibilidad de operación manual o automática.
- 6.) Termómetro con resolución de 1/10 de OC, en un intervalo de lectura de -55OC a 150OC.
- 7.) Fotocolorímetro de transmitancia en las siguientes bandas: rojo, amarillo, azul, verde, y violeta.
- 8.) Fotómetro con resolución de 1/100 de % de intensidad relativa.
- 9.) Graficador X,T tanto simple como de dos canales, con la posibilidad de suma de estas.
- 10.) Ohmetro con resolución de 1/100 en los siguientes intervalos de lectura: 0-1KW, 0-10KW, 0-100KW, 0-1MW.
- 11.) Conductímetro con resolución de 1/100.

El software permite adquirir datos de los instrumentos vía el puerto de la computadora, establecer los parámetros de las ventanas de control, graficación de los datos, análisis de regresión lineal para funciones lineales, potenciales y exponenciales, y modelado matemático.

Los estudiantes se enfrentaron después de observar la conducta del péndulo a los siguientes problemas experimentales:

- a.) Como medir las amplitudes del péndulo, ya que era evidente su variación, en función del tiempo.
- b.) Como medir el tiempo, para poder relacionar las amplitudes con el tiempo.

Estos problemas los resolvieron diseñando software y empleando la instrumentación de la computadora. El instrumento que emplearon fue el voltímetro. Como péndulo usaron un potenciómetro lineal de 1KW. El tiempo se midió por medio de establecer un contador por software que tomará las lecturas cada cierto tiempo conocido de los valores leídos por el voltímetro.

Uno de los proyectos que pueden integrar a los estudiantes en un ambiente Científico-Tecnológico, puede ser el de establecer en los planteles del nivel medio superior de la UNAM, sistemas de medición de Velocidad del viento, Veletas, medidores de humedad ambiente, de lluvia ácida, de precipitación pluvial, etc. Estos equipos controlados por computadora mandarían los datos a los demás planteles vía comunicación por radio en la banda civil, integrando todos los datos en la DGSCA, para realizar por computadora los mapas de distribución de vientos, lluvia etc, en la zona metropolitana. Esta información sumada a los datos e investigaciones de la SDUE, puede llegar a describir ampliamente la dinámica de la contaminación de la zona Metropolitana.

Si este sistema puede ampliarse a la posibilidad de la construcción de sistemas automáticos de medición y control, podemos establecer con los estudiantes esquemas de construcción de modelos de mayor operatividad, lo que ayudado por modelos de lógicas dependientes del tiempo, pueda involucrarlos en las génesis de modelos más complejos de experimentación. Con sistemas de este tipo, los estudiantes se pueden plantear diferentes hipótesis conceptuales, aun sobre modelos ya construidos.

Es claro que un programa de este tipo, implica en sí, un cambio en la actitud de los profesores ante la cátedra, es necesario involucrar a los profesores en este ambiente, no podemos esperar que se de por se. La preparación de los profesores debe de ir en el sentido de la búsqueda de respuestas a preguntas planteadas, y no sólo en el planteamiento de preguntas sobre hechos operativos de una matemática. El profesor se debe de convertir en otro investigador de su realidad más, para que logre involucrar en su investigación a sus estudiantes. La realidad a investigar es el planteamiento de una concepción de ésta a partir de las percepciones dadas, lo que por ende implica aprender a percibir. No se percibe sin una dubitación anterior, al simple hecho de mirar la realidad. La contemplación de la realidad, no es Ciencia ni Técnica, crear Ciencia o Técnica, es en si misma la génesis del cambio de la realidad.

Sería deseable enfrentar a los estudiantes y profesores a ser ellos actores de este cambio.

Entre las aportaciones de este trabajo cabe señalar el uso y manejo de este laboratorio para laboratorios de Física, Química y Biología; con una medición automática de datos experimentales durante las experiencias realizadas en dichos laboratorios.

Con este trabajo de tesis se quiere involucrar a estudiantes de nivel medio superior a una interacción de experiencias por medio de este laboratorio y desde luego utilizando la computadora para motivarlos principalmente a una formación profesional científica. Aunque en algunos casos esto pueda servir para la enseñanza de muchas otras ramas.

Para esto se ha pensado en construir un laboratorio (instalación) que sea de carácter libre, es decir, que los estudiantes puedan acudir en horas libres accesibles. En dicho laboratorio los estudiantes podrán realizar experiencias ya realizadas y experiencias que puedan surgir con este laboratorio según el interés del estudiante y a sí mismo involucrarlos con otro tipo de instrumentación diferentes al establecido. Habrá alguna persona que los oriente, pero se trata que el estudiante tome sus decisiones por sí solo.

CAPITULO I

EPISTEMOLOGIA DE LA FISICA EXPERIMENTAL

Una de las ramas de la ciencia mas importantes es la Física, a si mismo la entendemos como una de las partes que conocemos con el término de Conocimiento Científico. Consecuentemente aparece otro término que es muy común en su empleo y es el de Método Científico. La manera en que se dan a conocer estos términos en los libros de texto y en los salones de clase, nos hacen aparentar que se debe seguir una metodología, que si es correctamente aplicada permite el desarrollo o la génesis para adquirir nuevos conocimientos. Siendo así esta es una manera errónea de presentación, y es errónea por que no esta nada completa con lo cual da una idea falsa, tanto del conocimiento como de la metodología empleada en su adquisición. Esta ideas nos han hecho reflexionar acerca del principio fundamental de que el conocimiento no esta dado, sino que éste se genera por los sujetos y que por lo tanto existe en este proceso una clara acción por parte del sujeto cognoscente. De tal manera es importante y necesario el que nos pongamos a reflexionar un poco sobre la forma de generación del pensamiento Físico.

Como anteriormente dijimos la Física es un conocimiento, pero sin embargo: ¿ qué es un conocimiento ?. Lo podríamos definir como una relación entre un sujeto y un objeto, relación que genera a lo que llamamos Juicio. Ante esta definición surge entonces una nueva interrogante que es: ¿ qué es lo que hace un Juicio ?. la manera en que podríamos contestar es la siguiente: Un juicio lo que hace, es hacer que intervengan estructuras inherentes a todas las relaciones de conocimiento que unen sujetos con objetos.

¿ Cuáles son estas relaciones ?, veamos si podemos ponerlas en claro:

Anteriormente se dijo que el sujeto cognoscente, es el que genera la acción de conocer; ya que el conocimiento esta dado por él, la relación contendrá a su interior elementos que pertenecen a dicho sujeto. El conocimiento no es en abstracto es la facultad de sentir, se conoce de algo que se conoce y por algo que se conoce, así pues que el sujeto conoce de las cosas, por lo que existe algo que desea conocer, un objeto. Dicho objeto posee sus propias características, intrínsecas a su ser, y de acuerdo a esto la relación también debe poseer elementos que pertenecen al objeto.

Si el sujeto desea conocer al objeto, debe de actuar sobre de él, este hecho, esta manera de actuar, será la que defina la relación, por lo que ésta tendrá elementos que aportados por el sujeto, pertenecerán a la relación.

Ya una vez establecida la relación es imposible conocer de antemano si las estructuras de conocimiento pertenecen al sujeto, al objeto, o porqué no a ambos, ya sea porque son problemas de la naturaleza general de las relaciones de conocimiento entre el sujeto y el objeto, o problemas que introduce el sujeto en estas relaciones, o problemas que son intrínsecos al ser del objeto, o a la forma de acción del sujeto sobre el objeto.

Los problemas que pertenecen al objeto son los que en particular abarcan la naturaleza de las estructuras, pero desde punto de vista de dos perspectivas diferentes, la del sujeto y la de las características del objeto. El punto de vista del sujeto es respecto a las actividades que él realiza.

Desde este punto de vista, el problema central del conocimiento físico consiste en establecer si este se reduce a un mero registro de datos realizados por el sujeto. En este problema tenemos de nuevo dos perspectivas, las cuales son:

- a.- El conjunto de datos está organizado en un mundo exterior radicado en el objeto, e independiente del sujeto, o
- b.- El sujeto es un elemento que interviene de manera activa, tanto en la organización de los objetos, como en el conocimiento.

Dadas esta dos perspectivas nuestro problema ahora es entender como el conocimiento Físico logra disociar las estructuras del sujeto, las estructuras del objeto, y las acciones entre ambos, o sea disociar los elementos objetivos y subjetivos inherentes a las acciones especializadas, y ésto en busca de construir una realidad que sea independiente del sujeto, aunque el punto de partida siga siendo el sujeto cognoscente y las acciones que realiza sobre la realidad del objeto de conocimiento. Podemos expresar lo anterior en forma cuestionable de la siguiente manera: ¿La Física se instala en el objeto como tal, lo describe, o sólo traduce en símbolos las impresiones que el hombre como sujeto cognoscente recibe del objeto como realidad de conocimiento?

Esto es fundamental, ya que si en la Física sólo se traducen a símbolos las impresiones que del objeto recibe el sujeto desde su perspectiva, tendríamos tantas físicas como sujetos; pero si es realmente un conocimiento del objeto creado por el sujeto, y traducido a símbolos, es un modelo de la realidad y es posible descentrarlo del sujeto.

Según J. Piaget: el avance del conocimiento equivale simultáneamente a eliminar la subjetividad egocéntrica y acrecentar la actividad coordinadora del sujeto. La historia del pensamiento científico, hace evidente que las realidades experimentales y las estructuras lógico matemáticas, se elaboran unas en función de las otras y estas acciones físicas especializadas se adelantan tanto más en lo real, cuanto más activamente estén estructuradas sus coordinaciones lógico matemáticas por el sujeto, logrando desprenderlas de lo concreto, ya que por ser una acción, ésta entraña una lógica que depende del sujeto, y no radica en los objetos a los que se aplica; se estructura en el sujeto. ⁽¹⁾

Desde este punto de vista, el pensamiento físico no es de ninguna forma una simple comprobación de realidades, sino la génesis del conocimiento por medio de la construcción de relaciones contrastadas con la realidad, a partir de la vivencia de la realidad física. Es la creación de un símil de la realidad: no es una identidad con ella. ¿Cómo se logra este símil de la realidad ?

(1) J. Piaget y otros. Epistemología de la Física. Paidós 1979.

En la Naturaleza el hombre es cambiante y es consciente de su cambio y de los cambios de los otros, o sea, es consciente de las variaciones, y son éstas las que físicamente son mensurables, medibles. Pero medir una magnitud física, es medir sus variaciones y consecuencias, es considerarla dinámica. La idea de cambio radica en el hombre, en el sujeto cognoscente, no en el objeto de conocimiento.

La similitud de la física con la realidad, no es la que existe entre la fotografía y el fotografiado. En este caso persona y fotografía son similares y lo son porque existen diferencias entre la persona y su fotografía; la persona tiene tres dimensiones y la fotografía es plana. En este caso el símil, la fotografía, carece de cosas que la realidad tiene, como el volumen y sin embargo son similares.

Como diría Ortega y Gasset: "Un cuadro se parece al retratado, no porque todo el retratado se parezca al retrato, sino porque todo lo que hay en el retrato es idéntico a parte de lo que hay en el retratado".⁽²⁾

Luego: ¿qué sucede si cada vez hay menos del retratado en el retrato?. Es evidente que deja de ser un símil, y esto implica la necesidad de un mínimo de correspondencia, de identidad entre los atributos de la realidad y el modelo, para que la similitud se dé.

Si la similitud, la correspondencia entre la realidad y la Física no se dá de esta forma, ¿Cómo se dá?

Podemos analizando las proposiciones físicas que conforman el marco de la teoría, percatarnos de que éstas no tienen una correspondencia de similitud como en la del retrato con el retratado, ya que no hay nada de la realidad que aparesca en la teoría, y menos aún lo enunciado en la teoría por cada propuesta física, se parece a la realidad. Lo que la Física dice de la realidad, no tiene nada que ver con ésta. La similitud entre la teoría física y la realidad, se dá a través de las predicciones de hechos evidentes que son los experimentos. La correspondencia entre la Física y la realidad se dá por los experimentos.

Según Planck: "Sólo en el caso de que los elementos reales de nuestra imagen del mundo, es decir, de aquellas entidades conceptuales que en tal imagen se suponen que representan a los auténticos entes de la naturaleza, no se mostraran susceptibles de un ulterior mejoramiento, se podrá afirmar que se ha llegado a una representación de la última esencia de lo real. Sin embargo esta eventualidad parece altamente improbable, por lo que el desacuerdo perenne entre el mundo real y la imagen física del mundo, constituye, un elemento inalterable de irracionalidad para la ciencia".⁽³⁾

W. Hiesenberg lo postula de esta forma: "El objeto de la investigación científica no es ya la naturaleza en sí, sino la naturaleza sometida a la investigación del hombre, a su interrogante. Las leyes matemáticas que formulamos en la teoría

(2) J. Ortega y Gasset. La idea del principio en Leibniz. Revista de Occidente pag. 82.

(3) M. Planck. El conocimiento del mundo físico. Barcelona 1969.

Cuántica, no tratan de las partículas elementales en sí, sino de nuestro conocimiento de las partículas elementales. Dicho de otra forma, delante de nosotros no tenemos un objeto, sino siempre una estructura compleja e inseparable de sus dos componentes elementales, observador y objeto. La Física sólo puede ambicionar el darnos la imagen del mundo cuyos datos ⁽⁴⁾ de partida no sean los objetos, sino el drama objeto observador".

K Von Weisrcker lo dice así: "El experimento es un drama entre dos protagonistas: la razón y la naturaleza. En vez de razón, los modernos diríamos simplemente hombre, ya que por un lado, nuestra ciencia no conoce otra razón que la humana, y una razón sobrehumana seguramente no tendría necesidad de experimentar, sino que el hombre debe además utilizar sus manos y sus ojos. El experimento es una especie de experiencia sensible pero no es una simple sensibilidad receptiva. Tampoco es suficiente que a la percepción se agregue sólo uno de los elementos activos, sólo pensar o sólo manipular, ya que lo primero es filosofar y lo segundo simple manipulación. La ciencia moderna es hija del matrimonio entre manipulación y filosofía". ⁽⁵⁾

A. Einstein lo explicitaba de la manera siguiente: " La creencia de un mundo externo independiente del sujeto que lo percibe, es la base de toda ciencia natural. sin embargo, puesto que la percepción sensorial sólo dá información de este mundo externo indirectamente, podemos aprender de éste sólo por medios especulativos. se sigue de ésto que nuestras nociones de la realidad física nunca pueden ser finales". ⁽⁶⁾

Vista así, la Física es fundamentalmente una ciencia experimental que se basa en la medición, en lo mensurable y en la evidente circunstancia de la similitud de analogía entre la realidad y el experimento, y es esta relación la que se puede tomar como fuente Epistemológica básica.

Pero es importante notar, que no es hacer Física una secuencia de simples percepciones por sí sólas. la Física es un conocimiento verdadero ciencia de ciencia, o sea un juicio y este es una percepción a partir de un principio, es una relación de conocimiento entre objeto y sujeto. Esto es cierto aunque las percepciones estén en sí mismas estructuradas lógica y matemáticamente.

La contemplación de la realidad desde la perspectiva del sujeto cognoscente a partir de sus principios, busca la objetividad, entendida ésta, como la asimilación del objeto de conocimiento por el sujeto cognoscente. la simple percepción no busca ésto, sino que es una idea radicada en el sujeto y formada por una mezcla de elementos del objeto de conocimiento, y de estructuras del sujeto cognoscente, que éste intenta separar para integrar al objeto de conocimiento y sus relaciones con otros elementos cognoscibles, a las concepciones del sujeto.

(4) W. Heisenberg. La imagen de la Naturaleza en la Física actual. Ariel, Barcelona 1976, pag.12 y pag. 18.

(5)K. Von Weisrcker. La imagen Física del mundo. BAC 1970.

(6)A. Einstein. Ideas and opinions. Carl Salling Ed. Crown Publishers N.Y. 1954.

K. Von Weisrcker nos dice: "Se debería de decir: Perceptibilidad sensible inmediata de una cosa, es una condición suficiente pero no necesaria de su creencia en su realidad; perceptibilidad sensible inmediata de cualquier objeto relacionado con una cosa es una condición necesaria, pero no suficiente para que la ciencia experimental pueda hacer enunciados sobre esta cosa".⁽⁷⁾

Entonces el aspecto físico se logra cuando a la percepción del objeto de conocimiento por parte del sujeto cognoscente, este agrega elementos lógicos apoyados en sus principios, que le permitan constatar la percepción que del objeto de conocimiento él tiene, con la realidad concreta de ese objeto, y esto sólo se logra en la similitud, en las variaciones, en su percepción del cambio. El sujeto no busca eliminarse de la percepción, sino integrar en un sólo acto la percepción y la operación lógica que sobre el objeto realiza; es decir: *Mide*.

Medir no es por lo anterior la simple comparación de magnitudes, sino que la comparación cobra significado físico al introducirse relaciones y nuevas correspondencias de similitud física, las cuales no radican en el objeto a medir, ni en la característica que se desea medir, sino en el sujeto que mide. La observación que implica físicamente una medida, es el hecho de integrar en una sola acción, y en forma indisoluble, tanto al objeto de conocimiento, como al sujeto cognoscente, por medio del instrumento de medida.

Esto proviene del hecho de que al medir se están haciendo iguales dos cosas, las que comparamos, para notar similitudes y diferencias. Al medir se intenta igualar la abstracción que de la realidad tiene el sujeto, con la realidad misma. Esta abstracción es lo que se llama *Unidad de Medida*.

Una abstracción se dá en referencia al sujeto, abstrae las cosas de su ser para su utilidad, pero al hacer esto, deja a las cosas con nada, ya que las cosas que integran la realidad física no tienen un ser propio. Al abstraerlo, al aislarlo de lo demás, se le ha estirpado su realidad, ya que no existe ni puede existir aislado, porque su contenido mismo depende de los demás constituyentes. Esto nos lleva a la necesidad de concretar la abstracción para establecer la medida y es el *Patrón*.

Según R. Blanche : "Una Física que reposa sobre el conocimiento de las dimensiones exige en forma evidente a los instrumentos de medida".⁽⁸⁾

La utilidad del experimento no es suficiente, así pues no es capaz por sí solo de comparar un valor experimental obtenido con la investigación, y si está naturalmente asociado al método experimental, pero no lo está sin embargo de modo absolutamente indisoluble. "Lo real, es por una parte lo que cae bajo la experiencia inmediata, lo que resistiendo a la fantasía, se impone a la percepción, en una palabra el dato concreto".⁽⁹⁾

(7) K. Von Weisacker BID.

(8) R. Blanche. El método experimental y la filosofía de la Física. Fondo de Cultura Económica 1972.

(9) R. Blanche. BID.

Esta relación forma lo observable, pero de una forma más compleja de lo comunmente pensado, ya que la propiedad a medir, la característica de la realidad que se desea medir, comparar, hacer igual con el modelo, es comparable para el sujeto debido a la forma en que logra separar y reagrupar los factores que se tienen en la relación observador objeto. A este hecho se le llama Control y son estas secuencias de operaciones de control llevadas a cabo por el observador experimental, la que en sí mismas constituyen el marco de la medida. Esto es hacer que un suceso que radica en el sujeto, suceso subjetivo, se haga radicar en el objeto, se convierta en un suceso objetivo. Esta es la estructura básica racional del conocimiento físico.

El control experimental, así como todas las demás operaciones del observador, suponen una manera de pensar propia de éste, que las coordina, las estructura en relaciones de orden (Mayor que, menor que, igual a). el control es una actividad del sujeto experimental, así los aportes de estructura al dato experimental, son acciones del sujeto que tratan de eliminar el yo egocéntrico descentrándolo.

De acuerdo co R. Blanche: "La observación simple, entendida como la verificación de los fenómenos, tales como la naturaleza los presenta ella misma, y el experimento entendido como la producción artificial de los fenómenos que se van a estudiar, responde a dos funciones distintas. Hacer una observación es el punto de partida del método, y la comprobación del hecho que sugiere la idea. Si esta comprobación versa casi siempre sobre los fenómenos tal como se ofrecen por sí mismos a nosotros, nada impide que un experimento pueda ser también su ocasión, o aún más, que esta ocasión sea expresamente instituida para hacer la observación más precisa". (10)

Pero además, medir implica cuantificar, y la forma de cuantificar es el conteo, o sea realizar sobre el continuo del objeto una partición que discretice la forma operatoria del instrumento de medida, el Patrón, y la medición es simplemente el conteo de sus partes, más menos la mitad de una de las partes. Así planteada, la medición se vuelve isomorfa con el número y es por esto que le es posible al sujeto experimental reducir la medida, de una compleja operación, a la simple aplicación del número a una magnitud física.

Con esto podemos resumir la medición de la siguiente forma: La medida implica tres acciones del sujeto que son:

- a.- Una estructura de partición. Esto es por la necesidad del conteo para cuantificar.
- b.- Una estructura de orden.
- c.- Un control por iteración con el objeto a medir. Esto es por la necesidad del sujeto de coordinar las acciones.

"Lo real, aquello lo que existe independientemente del conocimiento que ustedes o yo podamos formar de ello, es aquello sobre lo que todo conocimiento deberá regirse para tener un valor objetivo. Pero, he aquí que tratando de combinarse armónicamente

(10) R. Blanche BID.

lo real con el dato concreto, tienden a hacerse antagónicos; y la separación no hará sino acentuarse. En efecto, se hace más y más manifiesto que la objetividad del conocimiento físico, no se obtiene sino despojando a las cosas de su revestimiento sensible. Lo real para el Físico no puede ser ya lo mismo que para el sentido común. Entre uno y otro la ruptura está consumada".⁽¹¹⁾

Así planteado el problema vemos que el pensamiento de la Física se presenta en diferentes ramas de ella: Mecánica, Termodinámica, Óptica, etc., en lugar de una sola rama de la ciencia que generará un cuerpo, evitando así que cada rama que es la Física, se base en principios teóricos diferentes.

El pensamiento científico es una forma estructurada de ideas, que se puede plantear de la forma siguiente:

a.- Pretende llegar a un conocimiento lo más adecuado de la realidad; yendo más allá de la simple experiencia como elemento testigo.

b.- Pretende con este fin explicar y justificar la misma experiencia mediante el pensar, que es el quehacer del hombre.

Pero recordemos que ante este esquema, lo evidente está en la experiencia, y que la prueba lógica por sí sola, no determina el carácter de verdad que una proposición tiene.

El comienzo profundo que detrás de este esquema existe, es la tendencia del hombre al pensar, de pensar lo inmediato, lo evidente, o sea la experiencia, por una mediación, recurriendo a lo que es más evidente e inmediato, que es la idea, la teoría, y esto no se hace a causa de la existencia de la evidencia, sino a causa de creer que es posible dar razón de la misma, o sea probar que debe de aparecer en la forma en que aparece, es decir un argumento teórico que desde adentro impida el error; de nuevo el experimento.

De lo cual Leibniz opina: "Quienes habiendo aceptado la idea de una Física no demostrativa, parten de alguna hipótesis para deducir de ella fenómenos conocidos, no pueden demostrar con esto que su hipótesis sea verdadera, a menos que observen la condición que propuse, la cual en realidad, no han hecho; y acaso no han querido o podido hacer. Lo único que hay que reconocer es que una hipótesis se hace tanto más probable, cuanto más simple de comprender es y más amplio poder tiene, es decir, que permite explicar el mayor número de fenómenos con el mínimo de presuposiciones, y puede suceder que cierta hipótesis pueda tenerse por físicamente cierta; a saber, cuando satisface plenamente todos los fenómenos que se presentan a manera de una clave para criptogramas. Pero lo que hace, además de su verdad, el mayor mérito de una hipótesis, es cuando permite hacer predicciones aún respecto a fenómenos todavía no experimentados; pues en este caso, una hipótesis tal, puede ser tenida, en la práctica, por la verdad misma".⁽¹²⁾

(11) R. Blanche. *IBD*.

(12) Leibniz. Carta a Conring del 19 de marzo de 1678.

Esto nos lleva a la necesidad de situar la Física en el plano conceptual. En los conceptos físicos, los símbolos corresponden a hechos, los hechos y las relaciones simbólicas de la Física sólo son posibles de integrarse a través de una secuencia de operaciones lógicas que realiza el sujeto cognoscente y que provoca la existencia de una interacción con las propiedades del objeto por parte del sujeto: MIDA. Más aún, tomar al medir precauciones contra el formalismo matemático y contra la tendencia al límite, significa que la determinación de los datos experimentales están lo más libres posibles de estructuras del sujeto muy refinadas, y por lo mismo muy difíciles de caracterizar y eliminar.

En realidad tendremos que aceptar que en el quehacer Físico no se logre una total descentralización, ya que cuando el Físico explica su imagen del mundo, su experiencia personal se ve involucrada en su experimento, y normalmente en forma inconsciente, y por eso son difíciles de encontrar y eliminar, ya que se trata de una dimensión metafísica que permanece siempre con el investigador y después se refleja en su teoría. En el modo de pensar exacto, la fabricación de un concepto es el precisar las partes de una intuición como tal. De esta forma en la formación de un concepto intervienen tres actividades del sujeto que son:

- a.- Sensación - Imaginación.
- b.- Atención - Desatención.
- c.- Comparación.

donde de éstas entender y comparar son acciones que el sujeto realiza sobre lo real, o sea la sensación, ya que la inteligencia

no entiende nada nuevo que no haya sido captado por la sensación, porque ésta es el primer contacto del sujeto sobre la realidad a conocer, lo que llamamos *Objetividad*. De esto es claro que la realidad de un concepto físico no radica en la expresión metaformal que de éste se da, sino en la evidencia experimental observable.

De tal manera que, vemos que la Física es un conocimiento que se construye, y que es profundamente simbólico, ya que no conoce la realidad del objeto de conocimiento, sino que pone este conocimiento en un signo o en un sistema de símbolos, cuya característica es estar en lugar del conocimiento del objeto. Para lograr esto, el símbolo está provisto de uno y sólo un significado. La física genera su lenguaje que es un complejo de signos ó símbolos. Así, el metalenguaje matemático, no juega sólo el papel de un simple cálculo, sino que forma parte constituyente de la teoría, sea porque el sujeto experimental está involucrado en el proceso físico bajo estudio, o porque otros observables externos al proceso se involucran en el experimento.

En estos dos casos la función deductiva de la lógica del metalenguaje, no es sólo el vincular datos medidos, sino en organizarlos de acuerdo a una acción supuesta por el sujeto, lo que no permite el reducir la observación experimental en la simple copia simbólica del dato. Es fundamental notar que el experimento y la metaforma lógico matemática se estructuran por el sujeto unas en función de las otras, ya sea porque a partir de la estructura lógica se elabore una secuencia de realidades experimentales, o que dadas éstas surja la necesidad de establecerlas lógica y

matemáticamente por medio de un metalenguaje, que como ya se dijo, permite sólo un significado a cada expresión.

Agazzi nos dice: "Primeramente una teoría nace formulada en lenguaje común y después se perfectúa mediante la significación de su lenguaje inicial. Ello implica la creación de nuevos términos y eventualmente el englobamiento de otros lenguajes artificiales (puramente técnicos) ya preparados en otras teorías, principalmente el lenguaje matemático. Después puede ocurrir, como ha ocurrido en la Física que la teoría se ramifique, y que su lenguaje sea objeto de ulteriores enriquecimientos y tecnicificaciones, para hablar de los nuevos sectores de su universo de objetos que se han revelado susceptibles de una investigación especializada. Por todo ello el lenguaje de una teoría constituye en la práctica una mezcla de lenguaje artificial y lenguaje común. Sólo en casos excepcionales se realiza la formulación total de la teoría en un lenguaje artificial, para poder elaborar mejor la correspondiente metateoría. Esta última se expresa en el lenguaje común, enriquecido eventualmente con símbolos específicos que hagan más eficaz su función metateórica".⁽¹³⁾

De acuerdo con esto, la teoría es una relación causal o lo que es lo mismo, deducir relaciones a partir de hechos evidentes y observables, por medio de transformaciones que son operadas por el sujeto, de forma tal que correspondan las transformaciones físicas y las transformaciones que intervengan en la deducción. Así vista, la causalidad es sólo una deducción incorporada a la experiencia, por medio de los modelos de la realidad creados por el sujeto experimental.

Es importante hacer notar que entre causa y ley, existe la diferencia de que en la ley el sujeto aplica sus operaciones a los objetos y en la causa, el sujeto las atribuye a los objetos.

J. Piaget dijo: "Sólo en tanto que es válido el principio de causalidad, yo puedo conseguir un fenómeno como efecto de una causa que no aparece y descubrirla; Sólo en tanto que tiene validez la ley de la naturaleza, se dá constancia de los fenómenos y por lo tanto los conceptos significativos de cosas y el entendimiento científico entre los hombres acerca de la naturaleza".⁽¹⁴⁾

La causalidad es una operación más radicada en el sujeto y no en el objeto, y como podría ser de otra forma si ya vimos que la Física es intrateórica, y que todas las operaciones del sujeto sobre el objeto llevan una consecuencia a la teoría.

Agazzi lo expresa de la siguiente manera: "Una teoría se constituye, cuando de algún modo se contempla la posibilidad de tomar en consideración un sistema de objetos provistos de sus correspondientes propiedades y relaciones, mientras que la cuestión del tipo de existencia de tales objetos no tiene que ver directamente con la teoría".⁽¹⁵⁾

(13) E. Agazzi. Temas y problemas de Filosofía. Herder pag. 101.

(14) J. Piaget y otros. BID.

(15) E. Agazzi. BID.

CAPITULO II

EL METODO EXPERIMENTAL

INTRODUCCION

Con el propósito de entender de una manera sencilla y manejable al método científico, podemos definir a la *CIENCIA* como un procedimiento, una forma de actuar para:

- a.- Resolver dudas.
- b.- Resolver problemas.
- c.- Hacer un procedimiento más efectivo por el cual se pueda contestar preguntas y resolver problemas.

Esto a su vez se considera como un conjunto de conocimientos.

Claro esta que no toda duda es científica; existe un gran número de dudas que no son científicas entre las cuales están incluidas las llamadas dudas de *SENTIDO COMUN*. Son de gran importancia las diferencias que existen entre lo que llamamos Ciencia y lo que llamamos Sentido Común. Dichas diferencias serán siempre del tipo de objeto de conocimiento, método de conocimiento o ambos. Se ha planteado que el sentido común está relacionado con problemas más inmediatos y prácticos que los que se presentan en la Ciencia; pero sin embargo actualmente nos es muy claro que la llamada *CIENCIA APLICADA*, trata con problemas inmediatos que tengan una solución práctica. Por otra parte, el pensamiento filosófico, por ejemplo, frecuentemente está orientado hacia problemas que no son inmediatos y prácticos.

Se ha argumentado que el sentido común, está orientado en forma *CUALITATIVA* y que el pensamiento científico está orientado en forma *CUANTITATIVA*; Pero sin embargo existen teorías científicas que no son cuantitativas como la de Darwin, así como preguntas del pensamiento común con una orientación cuantitativa. De tal manera de que existen muchos traslapes entre problemas tratados de una forma científica y en forma no científica.

Es posible también reconocer de una manera generalizada que a través del empleo de la ciencia, es mucho más probable obtener una respuesta correcta a las preguntas y una mejor solución a los problemas. Esto no significa que siempre se obtengan mejores resultados empleando la ciencia, lo que si implica es que existe una mayor probabilidad de obtener resultados mediante su empleo. Este hecho se desprende de que la investigación científica es controlada. Un proceso es controlado en el sentido de que está eficientemente dirigido hacia el logro de los objetivos deseados. Se tiene control de la investigación en varios grados: el control perfecto es un ideal al cual cada vez se aproxima más la ciencia, pero nunca se logrará, cada investigación tiene aspectos controlados y aspectos no controlados, consecuentemente existen muchos grados de investigación, en lugar de la simple dicotomía: Científica y no Científica.

El control por lo tanto, aunque es necesario, no es suficiente para distinguir entre investigación Científica y no Científica. La Ciencia también se caracteriza por las metas de autopropagación y automejoramiento, esto es, la investigación se

diseña de tal forma que informe e instruya en como mejorar la conducta de la misma investigación. En ciencias, cada investigación desarrollada tiene no sólo el propósito de contestar una pregunta, o resolver un problema, sino que también tiene el fin de probar, evaluar y mejorar los procedimientos de investigación empleados.

2.1 EXPERIMENTACION E INVESTIGACION.

En algunas ocasiones la experimentación se considera como un sinónimo de investigación, pero lo cierto es que no toda la investigación científica involucra la experimentación. La experimentación se pensó en el siglo XIX como la manipulación física de objetos, eventos y sus propiedades. La manipulación física se tomó como idéntica al control, pero la realidad es que el control no implica la manipulación física de objetos. Por ejemplo en Astronomía, los Astrónomos no manipulan físicamente sus objetos de estudio, sino que se logra un control por la manipulación conceptual de la representación simbólica de los fenómenos bajo estudio.

Pensando en el hecho de que el control no significa necesariamente manipulación física, hay que distinguir entre investigaciones en las cuales el control se obtiene de esta forma (como el laboratorio) y aquellas en las cuales no. Esto tiende a restringir el uso del término experimentación a la investigación que implica manipulaciones físicas y a emplear el término Investigación para cubrir tanto la experimentación como cualquier otro tipo de pregunta controlada.

Con lo cual surge el Método Científico que es la técnica más segura ideada por el hombre para controlar el flujo de las cosas y establecer ciencias estables. Ahora ¿cuáles son las características fundamentales de este método?

2.2 CARACTERISTICAS DEL METODO CIENTIFICO.

El método de la ciencia trata de ser independiente de lo que impone el deseo y las esperanzas de los hombres sobre el acontecer de las cosas, trata de discernir y aprovechar de manera deliberada e independiente de los deseos humanos la estructura que posee tal acontecer, en este método los hechos son fundamentales.

El método científico busca descubrir cuáles son realmente los hechos y su uso debe de guiarse por los hechos descubiertos. El conocimiento de los hechos no puede identificarse con lo que nos presenta la sensación inmediata, por ejemplo, la sensación inmediata de nuestra piel al entrar en contacto con aceite hirviendo o con aire líquido, son similares y no se puede por este hecho concluir que la temperatura del aceite hirviendo y del aire líquido son iguales.

La experiencia sensorial plantea el problema del conocimiento y justamente porque tal experiencia es inmediata y decisiva, debe de ser moderada por el análisis reflexivo antes de que pueda decirse que hay un conocimiento.

La investigación se origina con la presencia de un problema y esto implica la selección del objeto de estudio. Esta selección necesita de una hipótesis, que guíe la investigación y delimite su ámbito. Toda investigación es específica en el sentido de que debe de resolver un problema definido. No tiene sentido reunir hechos sino existe un problema con el cual se supone que los hechos se relacionan. Los hechos que la investigación científica busca, son proposiciones sobre cuya verdad existan pruebas suficientes y es la propia investigación la que debe de determinar cuáles son los hechos y si estos son posibles de determinarse con anterioridad. La consideración de un hecho depende del estado de nuestro conocimiento y por lo tanto no existe una clara división entre estos y las hipótesis. El estatus de una proposición puede variar a hipótesis o a la inversa. El elemento de juicio por el cual se afirma un presunto hecho, puede por lo tanto ser puesto en duda, aunque esta dubitación no esté formulada.

2.3 LAS HIPOTESIS.

El método científico existe por el hecho de poder sugerir hipótesis como soluciones, las cuales, descubren su pleno significado en sus implicaciones. Las hipótesis le son sugeridas al investigador, ya sea por las observaciones o por sus conocimientos previos. No es posible establecer reglas para obtener hipótesis, pero las leyes generales de toda ciencia funcionan como hipótesis que guían la investigación en todas sus fases. Las hipótesis pueden considerarse como sugerencias relativas a las posibles conexiones entre hechos reales. La característica necesaria de una hipótesis es la posibilidad de enunciarla en una forma que permita descubrir sus implicaciones por medios lógicos.

La cantidad de hipótesis puede ser muy grande y por lo tanto se requiere de una técnica para elegir entre ideas alternativas y asegurarnos de que son teorías diferentes. Esta técnica es la inferencia formal. La tarea de la matemática, es la de dar y explorar hipótesis alternativas, es un lenguaje. La matemática recibe de la ciencia las hipótesis a estudiar y la ciencia le debe por su parte el tipo de orden que les corresponde.

La creación deductiva de la hipótesis no es la función única del método científico, ya que pueden existir una gran cantidad de hipótesis posibles, así que se debe de determinar cuáles de las explicaciones o soluciones posibles de un problema van de acuerdo con los hechos. Las simples consideraciones formales, no son suficientes para establecer la verdad material de una teoría. Ninguna hipótesis que enuncie una proposición general, puede ser demostrada como absolutamente verdadera. Toda investigación relacionada con cuestiones prácticas utiliza la inferencia probable, cuya tarea consiste en situarse en la hipótesis más probable sobre la base de los elementos fácticos de juicio. Se deben de encontrar otros elementos de juicio fácticos que aumenten o disminuyan la probabilidad de la teoría.

2.4 LOS ELEMENTOS DE JUICIO.

El camino que sigue el método científico es el de la duda sistemática. Este no consiste en dudar de todo, pero si en dudar de aquellas cosas que carecen del apoyo de elementos de juicio. La ciencia exige y busca fundamentos lógicos apropiados para sus proposiciones. Es importante notar que ninguna proposición aislada en relación a hechos está más allá de toda duda significativa; ninguno cuenta con elementos de juicio tan bien sustentados, que otros elementos de juicio no puedan aumentar o disminuir su probabilidad. Aunque toda proposición aislada es dubitable, el corpus teórico que la soporta está mejor fundamentado que otra posibilidad de nueva teoría. El abandono de un corpus teórico sólo se debe de dar, cuando los hechos lo exijan realmente. El método científico es una mezcla de posibilidad de cambio estructural del corpus teórico ante hechos evidentemente de facto incompatibles con él y la necesidad de mantener la teoría.

La verificación experimental de una teoría sólo es aproximada; sólo se puede mostrar que dentro del error experimental, el experimento es compatible con la hipótesis. Se puede demostrar que la teoría no funciona, si está fuera del intervalo experimental.

2.5 LA SISTEMATIZACION.

Las proposiciones aisladas no constituyen un corpus teórico en el caso de la ciencia, estas sólo nos permiten hallar su conexión lógica con otras proposiciones del corpus. El sentido común se forma con una variada colección de proposiciones y esto permite la vaguedad de sus conclusiones, el ámbito de su aplicación y su incompatibilidad. La construcción de un sistema, permite la introducción de una exactitud en las afirmaciones, al definir los límites dentro de los cuales las afirmaciones son verdaderas. El sistema no permite las contradicciones entre proposiciones, ya que estas al constituir parte del sistema deben de apoyarse o corregirse mutuamente. El sistema permite de esta forma aumentar la amplitud y exactitud de nuestra información; en estas dos características radica la diferencia entre el método científico y otros métodos.

Los cambios en el corpus teórico nos indican formalmente la corrección de observaciones o razonamientos anteriores, lo que indica que se tienen hechos más confiables. Formar un sistema es hacer que las proposiciones cuya verdad se afirma se vinculen entre si, sin la introducción de otras que no tengan los mismos elementos de juicio. El número de proposiciones inconexas y el de proposiciones no sustentadas por elementos de juicio deben de ser mínimas en un corpus teórico. La sistematización exige probar todo aquello que deba de ser probado.

Los elementos de juicio a favor de una proposición pueden provenir de sus propios casos verificadores o de casos verificadores de proposiciones vinculadas con la primera, dentro de un sistema. Este carácter sistemático de las teorías científicas es lo que les dá la tan elevada probabilidad a las diversas proposiciones individuales de una ciencia.

2.6 LA NATURALEZA AUTOCORRECTIVA.

En la ciencia las proposiciones deben tener el apoyo de elementos de juicio lógicamente aceptables, puestos a prueba por inferencia necesaria y por inferencia probable. En virtud de este método, la ciencia es un proceso autocorregible que se basa en las técnicas apropiadas para desarrollar y poner a prueba hipótesis con el fin de lograr conclusiones seguras. Gracias a la aplicación continua del método, éste permite la observación y corrección de errores.

Sólo con la técnica de muestreo repetido se pueden establecer proposiciones generales. Las proposiciones que la ciencia presenta para su estudio se confirman en todos los experimentos posibles o se modifican acorde a los elementos de juicio. Esta naturaleza autocorrectiva del método científico nos permite cuestionar las proposiciones, pero también nos asegura que las teorías aceptadas en su corpus teórico son las más probables. Al no buscar mayor certeza que la que le dan sus elementos de juicio, el método científico logrará mayor certeza lógica que cualquier otro método.

En el proceso de reunión de elementos de juicio, se apela continuamente a los hechos, al corpus teórico o a los principios y de los principios a los hechos. No se cuenta con primeros principios absolutos en el sentido de principios evidentes por sí mismos. El método científico es en esencia circular. Se obtienen elementos de juicio a favor de ciertos principios con base en el material empírico, los hechos; pero se selecciona y analiza el material empírico en base a ciertos principios y en virtud de esto todo lo dudoso se somete a un examen cuidadoso en uno o en otro momento.

2.7 LA NATURALEZA ABSTRACTA DE LA TEORIA CIENTIFICA.

En la Naturaleza no existe una teoría que afirme todo lo que puede afirmarse de un fenómeno; escoge ciertos aspectos de él y excluye otros. Toda teoría supone por necesidad un proceso de abstracción de los hechos concretos. No es posible dar reglas de que es lo que la teoría debe abstraer de los hechos, pero siendo su finalidad lograr una interconexión sistemática de los fenómenos, en lo general se abstraen aquellos aspectos que permitan la sistematización. Es necesario encontrar en el fenómeno bajo estudio elementos comunes con el corpus teórico para poder introducirlo en el sistema y poner de manifiesto su estructura.

La ciencia distingue el carácter único del carácter general de las cosas de, aquí que el intento de la ciencia sea el de describir los caracteres invariantes. al interesarse la ciencia en estas relaciones invariantes, tiene que hacer a un lado muchas propiedades de las cosas, realizar abstracciones. La explicación científica consiste en subsumir los hechos particulares que se quieren explicar bajo alguna ley que exprese un carácter invariante de un conjunto de hechos. Las leyes pueden explicarse mostrándolas como consecuencias de teorías más amplias. Esto revela la interconexión de muchas proposiciones en apariencia aisladas.

Sin embargo es evidente que este proceso de explicación no es ad infinitum, debe de tener un fin. Con respecto a algunas teorías es imposible mostrar que son consecuencia de otra más amplia, estas deben quedar sin explicación y ser explicadas como parte del hecho irreductible de la existencia. Esto se debe de hacer por lo menos a dos niveles: Existe contingencia en el nivel sensorial, o sea, que en la percepción se dá justamente ésto y no aquello. (Postulado de Bohr); o hay contingencia en el nivel de la explicación, o sea, que se tiene un sistema definido, aunque éste no sea el único desde la perspectiva lógica formal.

2.8 TIPOS DE TEORIAS CIENTIFICAS.

Existen dos tipos de teorías científicas:

- Unas apelan a un mecanismo oculto fácil de imaginar y que explica los fenómenos observables.
- Otras suprimen toda referencia a tales mecanismos ocultos y emplean relaciones abstraídas de los fenómenos realmente observables.

Las primeras reciben el nombre de Teorías Físicas y las segundas de Teorías Matemáticas o abstractivas.

Rankine lo explicaba de la siguiente forma: "Hay dos métodos para construir una teoría. En una teoría matemática se define una clase de fenómenos describiendo el conjunto de propiedades común a todos los fenómenos que componen la clase, tales como las que perciben los sentidos, sin introducir nada hipotético. En una teoría física, en cambio, se define una clase de objetos como constituidos de una manera que no es evidente para los sentidos y por la modificación de alguna otra clase de fenómenos cuyas leyes ya se conocen." (1)

En el segundo tipo de teoría, se construyen de un modelo visualisable el esquema de un mecanismo oculto para los sentidos. Por ejemplo se tiene la teoría Cinética en la termodinámica. En el tipo Matemático de teoría se reduce al mínimo la apelación a mecanismos ocultos.

2.9 TIPOS DE PREGUNTAS Y RESPUESTAS.

Los tipos de preguntas que se puede hacer la ciencia y el tipo de respuesta que puede dar, se pueden clasificar de diferentes formas. Daremos una que permita una discusión metodológica.

Las respuestas a preguntas son declaraciones cuyas partes son expresiones. Es útil clasificar las declaraciones en términos de su forma, cobertura y de la forma de la expresión que contiene.

Este esquema es el siguiente:

(1) W. J. M. Rankine, Miscellaneous Scientific Papers 1881, pag 20.

- a-) Las formas de declaración son: Clasificativa, comparativa y funcional.
- b-) Las formas de expresión son: Cualitativas y Cuantitativas.
- c-) La cobertura de la declaración es: Particular o General.

Una declaración se puede representar en forma abstracta de la manera siguiente:

$$F(X_1, X_2, \dots, X_n)$$

donde X_1, X_2, \dots, X_n representan a los sujetos o substantivos de la declaración y F representa la afinidad de lo que la declaración afirma. Los sujetos son argumentos, F es un predicado y n es el grado del predicado. Para $n=1$, se tiene una declaración del tipo Sujeto-Predicado, por ejemplo la declaración: Juan es un hombre, tiene la forma $F(X)$, donde X denota al sujeto Juan y F denota el predicado (monádico), es un hombre. Para $n > 1$ se tiene una sentencia relacional, por ejemplo: San Angel está al sur de la Capital; la cual tiene la forma $F(X_1, X_2)$, donde X_1 y X_2 denotan San Angel y la Capital y F denota el predicado al sur de. Un ejemplo de un predicado triádico sería: La ciudad Universitaria está entre San Angel y Tlalpan. Esta tiene la forma: $F(X_1, X_2, X_3)$.

Podemos notar que la declaración Juan y Pedro son hombres, se puede ver como una abreviación de: Juan es un hombre y Pedro es un hombre, la cual tiene la forma: $F(X_1)$ y $F(X_2)$, en lugar de $F(X_1, X_2)$.

2.10 CLASIFICACION.

Como se dijo el tipo de declaración sujeto-Predicado, tiene la forma: $F(X)$, Juan es un hombre; luego una declaración atribuye una propiedad a un objeto, evento o estado. Una declaración de predicado compuesto, combina dos o más declaraciones simples. Por ejemplo: Juan es un hombre, $F_1(X_1)$ y Juan es un adulto $F_2(X_2)$, se pueden combinar en la declaración: Juan es un hombre adulto.

La declaración Juan y Pedro son hombres adultos, se puede representar por $F_1(X_1)$, $F_1(X_2)$, $F_2(X_1)$ y $F_2(X_2)$. Este simbolismo hace explícito el hecho de que la confirmación de la declaración, necesita de cuatro atributos.

Para confirmar una declaración de predicado simple se necesita identificar tanto al sujeto, como al predicado, o sea, definir la propiedad que se le atribuye al sujeto. La identificación involucra una declaración de predicado compuesto: $[F_1(X), F_2(X), \dots, F_n(X)]$, donde F_1, \dots, F_n son suficientes para identificar a X .

Se puede notar que la declaración: Juan es un hombre, equivale a la declaración: Juan es un elemento del conjunto de los hombres. Esto es: Toda declaración predicativa, clasifica sus sujetos, por lo que correspondiendo a cada predicado monádico, F_1 definido sobre un conjunto S , existe un subconjunto de S que se forma por todos aquellos elementos de S que tengan el predicado F . Un simple predicado aplicado a un conjunto crea dos clases, si existen m predicados se pueden construir 2^m clases.

2.11 RELACIONES.

Una declaración con un predicado mayor a uno, se denomina declaración relacional. En $F(X_1, X_2)$ se le atribuye una propiedad a X_1 y X_2 colectivamente. Por ejemplo en la declaración: Carlos es hermano de Juan, el predicado, es hermano de, no se puede atribuir a cada sujeto por separado, como en ser hombre si se puede. Se ve que en esta declaración se debe de revisar el orden de los sujetos Carlos (X_1) y Juan (X_2); ésto es: $F(X_1, X_2)$ implica $F(X_2, X_1)$, donde esta condición es válida para todo par de sujetos. Cuando ésto pasa, se dice que el predicado es una relación simétrica. Este tipo de relación no ordena los sujetos, pero una relación asimétrica puede hacerlo, por ejemplo: Juan es más joven que Carlos. En esta relación, $F(X_1, X_2)$ no implica $F(X_2, X_1)$ y así se dice que Juan y Carlos son una pareja ordenada.

Una relación que establezca un orden entre más de dos sujetos, es transitiva en lugar de simétrica. Se dice que una diada (predicado) es transitiva si y sólo si para cualquier triplete de argumentos X, Y, Z $F(X, Y)$ y $F(Y, Z)$ juntas impliquen $F(X, Z)$. Una declaración comparativa, es cualquier declaración en la cual, el predicado principal es una relación de orden. Por ejemplo: El predicado "Es menor que" definido sobre los números reales nos los ordena.

Las relaciones de orden pueden ser de dos tipos: cuasi y estricta, dependiendo de si la relación es reflexiva o irreflexiva. Se dice que una relación diádica F definida sobre un conjunto S es reflexiva, si y sólo si $F(X, X)$ es cierta para toda X en S y se dice que es irreflexiva si es falsa para toda X en S .

Ejemplo de relaciones cuasiordenadas es menor o igual a y ejemplo de relaciones estrictamente ordenadas es: es menor que.

2.12 FUNCIONES.

Una clase particularmente importante de declaraciones funcionales consiste en aquellas que involucran una relación funcional. Si una declaración de la forma $F(X_1, X_2, \dots, X_n)$ donde $n > 1$, cuando F y todas las X menos una, están especificadas, el valor de la X restante está completamente determinado, luego F es una relación funcional fuerte. Por ejemplo considerese la declaración: Rosa es esposa de Alejandro, la que se puede representar como $F(X_1, X_2)$. F se especifica como: Es la esposa de y X_1 y X_2 se especifican como: Rosa y Alejandro, luego el valor de la otra está completamente determinado. Esta declaración se puede escribir como: $X_1 = f_1(X_2)$ o $X_2 = f_2(X_1)$, que es la notación funcional usual.

Consideremos el predicado triádico F , definido sobre los números reales de forma tal que $F(X_1, X_2, X_3)$ sea: " X_1 es la suma de X_2 y X_3 ". Luego un predicado nos dá una función de todos sus argumentos y podemos escribir:

$$\begin{aligned}X_1 &= f_1(X_2, X_3) \\X_2 &= f_2(X_1, X_3) \\X_3 &= f_3(X_1, X_2)\end{aligned}$$

En este caso:

$$f_1(X_2, X_3) = (X_2 + X_3)$$

$$f_2(X_1, X_3) = (X_1 + X_3)$$

$$f_3(X_1, X_2) = (X_1 + X_2)$$

Notesé la importante propiedad de las declaraciones que involucran relaciones funcionales fuertes: Si el valor de cualquier argumento independiente cambia dentro del paréntesis de la relación funcional, el valor del argumento dependiente del lado derecho de la ecuación, debe de cambiar.

Si ahora consideramos una relación funcional débil del tipo: "Es el padre de", $F(X_1, X_2)$ significa " X_1 es el padre de X_2 ". Para cualquier valor de X_2 existe un sólo valor de X_1 , tal que $F(X_1, X_2)$ es cierto. En este caso especificar X_1 no es determinar X_2 , ya que X_1 puede ser padre de varias personas. En lo general un predicado es una relación funcional débil para su k -ésimo argumento, si y sólo si, cuando el valor de todos los argumentos excepto uno, el k -ésimo son fijos, un cambio en X diferente de X_k , no necesita un cambio de X_k .

En el ejemplo "es padre de", X_2 es suficiente para determinar a X_1 , pero X_1 no es suficiente para determinar a X_2 . Por lo tanto, X_1 es suficiente para determinar una clase de subconjuntos, cualquiera de los cuales sustituido por X_2 hace la declaración cierta; así que X_1 acota el valor de X_2 .

Las declaraciones de la Investigación Científica, toman la forma:

$$X_1 = f(X_2, X_3, \dots)$$

es cuando se observan tres tipos diferentes que se caracterizan por la propiedad de la función. Consideremos la ecuación de la caída libre de un cuerpo:

$$s = \frac{1}{2} gt^2$$

Se ve que para S , g y t mayores de cero se tiene:

$$S = f_1(g, t) \text{ donde } f_1(g, t) = 1/2 gt^2$$

$$g = f_2(S, t) \text{ donde } f_2(S, t) = 2S/t^2$$

$$t = f_3(S, g) \text{ donde } f_3(S, t) = (2S/g)^{1/2}$$

La relación funcional es claramente fuerte, ya que el valor de cada argumento está completamente determinado por los otros dos.

Consideremos ahora una declaración de la forma:

$$X_1 = f(X_2, X_3, \dots, X_n)$$

donde X_2, X_3, \dots, X_n es un subconjunto de un conjunto de argumentos que es suficiente para determinar completamente el valor de X_1 . El subconjunto sólo determina parcialmente el valor de X_1 . Por ejemplo, sea $X_1 = X_2 + X_3$ y X_2 y X_3 son independientes y X_1 sólo puede tomar tres valores: -1, 0, 1. Supongamos que no sabemos nada

de X_3 y que no sabemos que los valores de X_1 dependen de los valores de X_2 . Luego por observación podemos determinar que siempre:

$$a.- X_1 = X_2 - 1$$

$$b.- X_1 = X_2$$

$$c.- X_1 = X_2 + 1$$

Supongamos que las probabilidades de observar cada uno fueran: $p(a) = 0.25$, $p(b) = 0.25$ y $p(c) = 0.5$. Si calculamos el valor esperado de X_1 :

$$E(X_1) = 0.25(X_2-1) + 0.25(X_2) + 0.5(X_2+1) = X_2 + 0.25.$$

El valor esperado de X_1 , $E(X_1)$ está completamente determinado, pero no así el de X_1 . Sabemos que un cambio en X_2 no es suficiente para resultar en un cambio en X_1 , si un cambio en X_3 lo compensa. Sabemos que es necesario conocer el valor de X_2 para determinar el valor de X_1 . Luego resulta que X_2 no es una causa determinista de X_1 , pero es una causa probabilística de X_1 .

Supongamos que no sabemos cuando los valores de X_1 dependen de los valores de X_2 ; esto es, no conocemos una conexión necesaria entre X_1 y X_2 , pero hemos observado que X_1 se incrementa conforme X_2 lo hace. De nuevo podemos expresar a X_1 como una función de X_2 , pero esta es una pseudo función, ya que no es suficiente para determinar el valor de X_1 . No se puede decir que X_2 sea siempre la causa de X_1 , pero si se puede afirmar que están correlacionadas.

Se han planteado tres tipos de funciones:

- Causalidad determinista.
- Causalidad probabilística.
- Correlación.

Desafortunadamente causa y efecto se ha tratado de una forma ambigua en la ciencia y nunca se distinguen la causalidad determinista de la causalidad probabilística. Cuando un fenómeno X se dice que es causa de otro se puede plantear en muchos significados:

- 1.- X es necesaria y suficiente para Y .
- 2.- X es necesaria pero no suficiente para Y .
- 3.- X no se conoce si es necesaria o suficiente para Y , pero tiende a estar presente o ausente junto con Y .

La primera de éstas es una causalidad determinista, la segunda es causalidad probabilística o no determinista y la tercera es la correlación y puede no involucrar la causalidad.

Daremos el significado de esto a tres tipos de funciones más precisamente. Sean E_1 y E_2 representativas del medio de X y Y respectivamente. Pueden ser o no los mismos. Sea el significado del símbolo (\rightarrow) es siempre seguido por " X en E_1 " y " Y en E_2 " representan a X y Y en sus respectivos medios.

Supongamos que un fenómeno del tipo X en un ambiente del tipo E_1 es siempre seguido por un fenómeno del tipo Y en un medio del tipo E_2 , éste es:

$X \text{ en } E_1 \longrightarrow Y \text{ en } E_2$

Luego X en E_1 es suficiente para Y en E_2 ; cuando X ocurre en E_1 , Y después ocurre en E_2 . Considérese el papel de X , dado este medio. Sea X^- y Y^- la no ocurrencia de un fenómeno del tipo X y Y . Si ambos:

$X \text{ en } E_1 \longrightarrow Y \text{ en } E_2$

Y

$X^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

son ciertos, luego dado E_1 , X es necesario y suficiente para Y , o sea que Y ocurre si y sólo si X ocurre y Y siempre ocurre si X ocurre. En el medio E_1 , X determina completamente la ocurrencia de Y en E_2 y se puede decir que es la causa determinista de Y .

Ahora supongamos que dos fenómenos X_1 y X_2 son necesarios y suficientes en E_1 para la ocurrencia subsecuente de Y en E_2 , ésto es:

$X_1 \text{ y } X_2 \text{ en } E_1 \longrightarrow Y \text{ en } E_2$

$X_1^- \text{ y } X_2^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

$X_1 \text{ y } X_2^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

Fenómenos del tipo X_1 son necesarios pero no suficientes para la ocurrencia de Y . Si X_1 ocurre, Y puede ocurrir o no. Luego la probabilidad de que Y ocurra dado X_1 en E_1 , depende de la probabilidad de que X_2 ocurra en E_1 . Consecuentemente X_1 y X_2 son causas no deterministas de Y . En suma a estas tres condiciones anteriores valen las siguientes:

$X_1 \text{ y } X_2 \text{ en } E_1^- \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

$X_1^- \text{ y } X_2^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

Así que el medio E_1 es también necesario pero no suficiente para Y .

En general, cualquier cosa que es necesaria pero no suficiente para la subsecuente ocurrencia de otra cosa, es el productor de la segunda.

Ahora supongamos que valen las siguientes condiciones:

$X_1 \text{ y } X_2^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y \text{ en } E_2$

$X_1 \text{ y } X_2 \text{ en } E_1 \longrightarrow Y \text{ en } E_2$

$X_1^- \text{ y } X_2^- \text{ en } E_1 \longrightarrow Y^- \text{ en } E_2$

Luego dados E_1 , X_1 , X_2 son separadamente suficientes para Y , pero nunca serán necesarios. Nunca se podrá decir que X_1 y X_2 sean causa de Y , ya que para que una causa sea determinista o probabilística, debe de ser necesaria por este efecto.

Finalmente hay una situación en la cual X en E_1 puede algunas veces ser seguida por Y y otras veces no. Por lo tanto X^- en E_1 puede algunas veces ser seguida por Y y otras veces no. Pero supongamos que Y es más probable que ocurra cuando X lo precede. Luego se dice que la ocurrencia de X y Y están positivamente

correlacionados.

2.13 CUALIFICACION Y CUANTIFICACION.

Comparemos las dos siguientes declaraciones:

- Juan es pesado
- y
- Juan pesa 90 Kg

Ambas parecen ser declaraciones de la forma $F(X_1)$, donde X_1 es "pesado" en la primera y "pesa 90 Kg" en la segunda. La clara diferencia entre estas dos declaraciones es que la segunda contiene un número que no tiene la primera. Lo que no es obvio es que la segunda declaración debe de ser representada de la forma $F(X_1, X_2)$ donde F denota "es igual a" y X_1 denota el "peso de Juan" y X_2 denota "90 Kg". Esta es una función débil, si la especificación de F y X_1 determina completamente a X_2 pero F y X_2 no determinan a X_1 .

Así se puede transformar en : El peso de Juan es igual a 90 Kg y ésta no puede ser transformada en "Juan es pesado." Esta última se puede transformar en: "El peso de Juan es mayor que x Kg" o en : "El peso de Juan es mayor que X_1 Kg y menor que X_2 Kg." Por lo tanto no es razonable transformar la declaración "Juan es pesado" en otra que contenga una relación de igualdad estricta.

Los números se pueden emplear en las declaraciones para una variedad de propósitos, a saber:

a.- Para identificar o nombrar los sujetos; por ejemplo:

Este taxi es el número 109036.

b.- Par identificar la clase en la cual está colocado el sujeto; por ejemplo:

Es el estudiante con número de cuenta 8135183-7 en la U.N.A.M.

c.- Para identificar el número de sujetos en una clase; por ejemplo:

Hay inscritos 5500 estudiantes en la facultad de ciencias de la U.N.A.M.

d.- Para indicar el orden de un sujeto en una clase; por ejemplo:

La escuela es la 2ª más grande del país.

e.- Para identificar el número de unidades en cada escala que corresponde a una propiedad del sujeto; por ejemplo:

Juan pesa 90 Kg.

Es importante observar que una declaración cualitativa puede involucrar cuantificación y que una propiedad que pueda ser cuantificada, también puede ser tratada cualitativamente. También es cierto que cualquier propiedad cualitativa es potencialmente

posible de ser cuantificada en términos de un intervalo a lo largo de una escala. No siempre es posible el poder trasladar todas las declaraciones cualitativas en expresiones cuantitativas equivalentes. El desarrollo de nuevas medidas por la ciencia, ha requerido de nuevas clases de juicios cualitativos.

2.14 LO PARTICULAR Y LO GENERAL.

Se puede afirmar que una declaración es más general que otra, si está implicada o no por la otra; esto es, si la verdad de la segunda se sigue necesariamente de la verdad de la primera y no inversamente. Las declaraciones científicas son acerca de cosas bajo ciertas condiciones. Así por ejemplo la declaración:

Todas las X- tienen la propiedad Y bajo las condiciones

(C_1, C_2, \dots, C_n) .

es más general que la declaración:

Esta X tiene la propiedad Y bajo las condiciones

(C_1, C_2, \dots, C_n) .

Los hechos y las leyes representan intervalos a lo largo de la escala de generalidad, pero no existe un punto bien definido de separación entre estos intervalos.

Las declaraciones generales son de dos tipos: el primer tipo se refiere a una clase de eventos o condiciones que se han observado y el segundo tipo se refiere a la clase de cosas y/o condiciones, algunas de las cuales no han sido observadas y todas éstas nunca podrán ser observadas. El término ley, está restringido a declaraciones inferenciales de carácter general del segundo tipo y que además sean relaciones causales, tanto deterministas como probabilísticas.

Una teoría es una generalización mucho más distante. Quizá la relación de afinidad entre teoría, ley y hecho, se puede asir mejor en el contexto de un sistema deductivo. En un sistema deductivo existen:

- a.- Un conjunto de conceptos definidos e indefinidos.
- b.- Un conjunto de consideraciones (axiomas y postulados).
- c.- Un conjunto de teoremas deducidos y
- d.- Ejemplos de los teoremas.

Las consideraciones constituyen la teoría, los teoremas constituyen las leyes y los ejemplos de los teoremas son los hechos. En la construcción de las teorías científicas, lo que se pretende es justamente construir un sistema deductivo.

2.15 LAS FASES DE LA INVESTIGACION.

Las fases de la investigación son:

- a.- Observación.
- b.- Generalización.
- c.- Experimentación.

Estas fases del proceso de investigación son desarrolladas por los científicos dedicados a la investigación pura, pero desde el punto de vista de la investigación aplicada, se necesitan pasos más finos y se pueden formular de la siguiente forma:

- a.- Formulación del problema.
- b.- Construcción del modelo.
- c.- Prueba del modelo.
- d.- Derivación de una solución del modelo.
- e.- Prueba y control de la solución.
- f.- Implantación de la solución.

La metodología se puede considerar como una forma de resolver problemas, en la cual, los problemas a resolver son problemas de invención.

Cualquier situación problema se puede representar por la siguiente ecuación:

$$V = f(X_1, Y_1)$$

donde:

V es la medida de las características que se desean maximizar o minimizar, X_1 son los aspectos de la situación que se pueden controlar. La elección de las variables de control y Y_1 son los aspectos de la situación (ambiente del problema) sobre los cuales no puede haber control.

La solución del problema consiste en encontrar aquellos valores de la variable de decisión que optimicen a V.

CAPITULO III

TEORIA DE LA MEDIDA

INTRODUCCION

En la vida diaria existen una gran variedad de hechos que son dependientes de la capacidad para distinguir cualidades o características claramente delimitadas unas de otras. Si tenemos frío nos arropamos, y si tenemos calor nos quitamos ropa. Si está la luz del semáforo verde, caminamos en el automóvil; si está la luz roja nos detenemos. Existen alimentos que pueden ser dulces o amargos, como por ejemplo las frutas, y las elegimos de acuerdo a nuestro gusto.

Pero también nos es claro que en la vida cotidiana, con cierta frecuencia nos es necesario establecer juicios acerca de cualidades que no están tan claramente diferenciadas, por ejemplo: Inscríbete con el profesor X que es un barco; los peseros son más rápidos que los camiones; compre crema dental marca X, es más efectiva que las otras. Nos es claro al leer estas declaraciones, que nos han sido significativas aunque no estén bien diferenciadas. Lo que es cierto es que frases como "ser barco", "ser más rápido", "ser más eficiente", no son claramente diferenciables. La ciencia emplea este tipo de declaraciones que afirman diferencias cualitativas, por ejemplo: El fierro se dilata cuando se calienta, y los planetas se mueven alrededor de una estrella fija que es el Sol.

Así, tanto en la vida cotidiana, pero principalmente en la ciencia, se tiene la necesidad de sustituir declaraciones que afirman o niegan diferencias de tipo cualitativo, por otras que indiquen de una forma más precisa, las diferencias de tipo cualitativo. Esto se hace para obtener una exactitud en la formulación, y para descubrir principios generales en términos de los cuales se puedan concebir y relacionar sistemáticamente los modelos estudiados. En la ciencia se desea saber cuanto se dilata el fierro a una cierta temperatura, esta información facilita el control sobre el objeto de conocimiento, y además permite la formulación de principios que puedan ser claramente afirmados o refutados.

La medida se utiliza para designar el procedimiento por el cual, obtenemos símbolos que se pueden usar para representar el concepto a ser definido. La definición científica de un concepto, nos dice bajo que condiciones se debe de realizar la observación. La medida se involucra en aquellas partes de la definición relativas a la observación que se debe de hacer y tratar de que el objeto definido se pueda representar por medio de símbolos con ciertas propiedades. La medida por lo tanto, es parte esencial de la definición científica, pero no es toda.

La representación del concepto definido por medio de símbolos, no es necesariamente una medida. La propiedad del símbolo es necesaria pero no es suficiente, para ser una medida. Para que el símbolo represente una medida, es necesario que contenga un número.

El término aritmetización es aplicado a cualquier procedimiento de asignación de números a objetos, eventos o propiedades. En el uso común la medición se limita a procesos que involucren el uso de una unidad constante de medida. En la ciencia se aplica el término medición, a los procesos que involucren la asignación de numerales a objetos o eventos, de acuerdo a ciertas reglas.

Esta idea de medida es claramente incompleta, ya que se pueden establecer las reglas para asignar a objetos números al azar. La objeción evidente a este procedimiento, es que su aplicación sucesiva no asignaría el mismo número a las mismas cosas.

El propósito de la medida, es el de representar el contenido de una observación por medio de símbolos que están relacionados con otros, en la misma forma que los objetos observados. Los números son los símbolos generalmente usados, ya que algunas de las relaciones entre ellos se comparten con la medida.

El producto de una medida son símbolos, de forma tal que que el conocimiento de ellos es equivalente a conocer las propiedades que representa. La medida nos permite comparar las mismas propiedades de cosas diferentes y las mismas propiedades de las mismas cosas en tiempos diferentes y describir como las propiedades de las mismas cosas o de cosas diferentes se relacionan con otras. Así que en términos generales, la medición puede ser definida en términos de esta función: Es una manera de obtener símbolos para representar las propiedades de objetos, eventos o estados; donde los símbolos tienen la misma relación relevante, como las tienen las cosas que representan.

3.1 ESCALAS NOMINALES.

La clasificación de entidades y la numeración, involucran lo que llamamos nominal en una escala. El tipo de esquema de clasificación que se emplea en las ciencias, involucra un conjunto de clases exclusivas que eliminan las posibilidades relativas a las propiedades usadas como base de la clasificación. Esto se puede explicitar de la siguiente forma:

Sea P_j ($1 \leq j \leq m$) la representación de la propiedad con respecto a la cual se quiere realizar la clasificación. N_j representará el número de categorías dentro de las cuales, la j -ésima propiedad se divide. Luego el número total de clases posibles que se pueden construir es el producto: $(N_1), (N_2), \dots, (N_m)$. Las clases obtenidas por formar combinaciones de esta manera serán exclusivas y exhaustivas, si las categorías de cada propiedad son exclusivas y exhaustivas.

Los elementos que caen dentro de la misma clase, se consideran como que son los mismos, similares o iguales para el propósito de la investigación tendiendo a la clasificación. Para poder clasificar efectivamente, las propiedades involucradas se deben de definir operacionalmente, lo mismo que las categorías.

Los números se pueden usar para representar clases. Esto se puede hacer de dos maneras: Una, tenemos una clasificación completa y podemos numerar cada clase, la otra, se numeran las propiedades fuera de las clases que están construidas. Luego el número de la clase consistirá en una combinación de números de las propiedades que las definen. El mismo número se puede emplear para diferentes propiedades o categorías, dando consistentemente una localización particular en la clase de números, para el número que representa una propiedad particular.

3.2 EL CONTEO.

Contar consiste en asociar enteros positivos consecutivos a los elementos de una clase. El mayor de los números empleados, es el número de elementos de esa clase. En algunos casos los elementos se pueden dividir en partes, y en estos casos contar es un poco más elaborado; en este caso se asocian fracciones apropiadas a las partes de los elementos y las unidades a los totales de las partes y se suman los números asignados. Determinar la fracción asignada puede involucrar el hecho de medir.

La acción del conteo no se lleva a cabo por sí, sino por el hecho de que se suponen relaciones significativas entre los conjuntos que contamos. El conteo se basa en hipótesis que transfieren el problema y su relevancia, para que desempeñe el papel de control en cada etapa de la investigación. Es también importante hacer notar, que no se pueden comparar conjuntos por el conteo de sus miembros sino se diferencian claramente unos de otros. Este hecho marca una limitación, ya que para contar es necesario un conjunto discreto, o que pueda ser manipulado de forma tal, que simule un conjunto discreto. La importancia fundamental del conteo, deriva del hecho de que el número de individuos de ese grupo, representa una propiedad invariante en él.

Como se ve, contar es un concepto relativamente simple, pero que puede involucrar operaciones complicadas. La complejidad se puede derivar de dos fuentes primordiales: La definición de los elementos, y la asociación entre números y elementos.

La operación de contar, es similar a la de numerar, en cuanto que los números se asocian a los elementos, pero en el conteo esto no se hace en el orden de signar a los elementos. El objetivo del conteo, es el de obtener un número que represente una propiedad de la clase de objetos. El número que se obtiene de la operación de contar, es un invariante de esa colección; ya que no depende de quien cuente, ni del orden en el cual se cuenten los elementos. Las reglas aritméticas son un conjunto de reglas mediante las cuales se puede hallar más fácilmente este invariante.

Muchos de los problemas que se presentan al medir, derivan de la dificultad de diferenciar que es lo que se cuenta.

3.3 TIPOS DE RELACIONES.

Las cuatro propiedades críticas de las relaciones que son

significativas desde el punto de vista de la medida son: Reflexibilidad, Simetría, Transitividad, y Conectividad.

Se dice que una relación es reflexiva, si ésta es válida entre una cosa y si misma. Por ejemplo la relación de igualdad entre números. Una relación es simétrica, si cuando ésta relaciona una cosa con una segunda, ésta de forma similar, relaciona la segunda con la primera. Por ejemplo: "Ser hermano". Una relación es transitiva, si cuando ésta es válida entre una cosa y otra segunda cosa, y entre la segunda y la tercera, ésta también es válida entre la tercera y la primera. Por ejemplo el signo ">" entre enteros. Finalmente, una relación se conecta sobre un conjunto de elementos, si ésta se aplica a cada pareja de estos elementos, tomados en un cierto orden o otro. En forma más clara:

R es reflexiva en S, si y sólo si para toda X, XR_x .

R es irreflexiva en S, si y sólo si, para toda X, XR_x' .

R es no reflexiva en S, si y sólo si existe una X tal que, XR_x y existe otra X tal que XR_x' .

R es simétrica en S si y sólo si para toda X y Y (no necesariamente distintas), $XR_y \leftrightarrow YR_x$. El símbolo " \leftrightarrow ", significa implica. Esto es: Si P y Q son declaraciones, $P \leftrightarrow Q$ significa: " Si P es verdadera, luego Q es verdadera".

R es asimétrica en S, si y sólo si para toda X y Y (no necesariamente distintas), tales que XR_y y YR_x ; y existe una pareja X y Y (no necesariamente distinta), tales que XR_y y YR_x' .

En el estudio de cualquier conjunto de objetos, una consideración importante es el criterio de identidad. esto es: se deben de determinar las condiciones bajo las cuales se puede afirmar que X y Y son el mismo objeto. Se emplea el signo "I" para denotar la relación de identidad. luego XI_y significa que X es idéntico a Y, y XI_y' , significa que X es distinto de Y.

R es antisimétrica en S, si y sólo si par toda X y Y (no necesariamente distintas), $[XR_y \text{ y } YR_x] \rightarrow XI_y$

R es transitiva, si y sólo si para toda X,Y,Z (no necesariamente distintas), $[XR_y \text{ y } YR_z] \rightarrow XR_z'$.

R es intransitiva en S, si y sólo si para toda X,Y,Z (no necesariamente distintas), $[XR_y \text{ y } YR_z] \rightarrow XR_z'$.

R no es transitiva si y sólo si existe un triplete X,Y,Z (no necesariamente distintos), tales que: XR_y y YR_z y XR_z ; y exista un triplete X,Y,Z (no necesariamente distintos), tales que XR_y y YR_z y XR_z' . Ejemplo de este tipo de relación es: "Es diferente de", en cualquier conjunto.

R es cuasitransitiva si y sólo si, para todo triplete X,Y,Z (no necesariamente distintos), $[XR_y \text{ y } YR_z \text{ y } XI_z'] \rightarrow XR_z$.

No son lógicamente consistentes todas las combinaciones posibles de estas propiedades; esto es, algunas involucran contradicciones. por ejemplo: Una relación que es asimétrica y transitiva, no puede ser reflexiva. Una relación que es simétrica

e intransitiva, no puede ser irreflexiva. Una relación que es transitiva e irreflexiva, es asimétrica. Una relación no puede ser asimétrica y reflexiva.

La reflexibilidad es una propiedad de una relación, que se emplea primeramente para establecer similitudes, cuando la irreflexibilidad establece diferencias. La asimetría nos permite distinguir o individualizar elementos. Ejemplos de esto es: "Es de diferente tamaño que". La transitividad nos permite juntar casos en una cadena, o en una serie ordenada.

R está conectada, si y sólo si, para toda X y Y, $XIy' \rightarrow [XRy \text{ y/o } YR_x]$.

R está no conectada, si y sólo si existe un X y Y (XIy'), tales que $XRy \text{ y/o } YR_x$, y existen unas X y Y y (XIy'), tales que, $XRy \text{ y } YR_x'$.

Si una relación está conectada, junta todos los elementos de una población.

3.4 TIPOS DE ORDENAMIENTOS.

Cualquier tipo de ordenamiento es la habilidad de diferenciar entre elementos, estableciendo diferencias unidireccionales. Luego, el ordenamiento requiere de una relación que no es simétrica. El ordenamiento es fuerte, si la relación es válida entre todo par de elementos diferentes del conjunto; esto es, si la relación está conectada.

Un ordenamiento parcial se forma por una relación que puede ser: Reflexiva, antisimétrica, transitiva, o no conectada.

3.5 ESCALAS DE INTERVALOS.

Las escalas de intervalo corresponden en forma más cercana que las escalas nominales y ordinales, cuando se habla de la medida. Siempre que numerar, contar, no clasificar, explícitamente involucra una unidad de medida constante.

Las características esenciales de una escala de intervalo, se entienden mejor tomando en cuenta una propiedad de las escalas ordinales. Sean tres personas: A, B, C, de forma tal, que se ha determinado que A es más alta que B y B es más alta que C. Luego las podemos clasificar como 1, 2 y 3. En el procedimiento de clasificación común no sabemos que tanto es A más alta que B, ni B que C; esto es, no sabemos la relación entre la altura de A menos la altura de B, y de la altura de A, menos la altura de C. Las medidas obtenidas de una escala de intervalos nos facilita el hacer afirmaciones acerca de, y obtener inferencias de las magnitudes de las diferencias entre las propiedades medidas de los diferentes eventos u objetos.

Estos valores tienen la importante propiedad de ser los únicos de realizarse bajo una transformación lineal. Supongase que obtenemos las medidas de un conjunto de elementos (X). Estos se

pueden transformar en otros valores (X_1') por medio de la ecuación lineal:

$$X_1' = aX_1 + b$$

Los valores relativos en magnitud, son los mismos que los originales.

Estas escalas no tienen un punto cero natural, es usualmente arbitrario. Por ejemplo, la escala de temperatura en $^{\circ}C$. Si $X_2 = 2X_1$ y $b = 0$, se tiene:

$$aX_2 + b = 2(aX_1 + b)$$

si

$$a(2X_1) + b = 2(aX_1 + b)$$

$$2aX_1 + b = 2aX_1 + 2b$$

Estas serán sólo iguales en el caso particular donde $b = 0$. Por otro lado, se pueden expresar las diferencias (intervalos) entre los valores de la escala de intervalos como múltiplos unos de otros. Esto se puede ver comparando los intervalos entre tres puntos X_1 , X_2 , y X_3 . La razón del intervalo ($X_1 - X_2$) al intervalo ($X_2 - X_3$) es:

$$(X_1 - X_2) / (X_2 - X_3)$$

Si transformamos los valores de X_1, X_2 y X_3 , los valores de la relación serán:

$$\frac{(aX_1 + b) - (aX_2 + b)}{(aX_2 + b) - (aX_3 + b)} = \frac{aX_1 - aX_2}{aX_2 - aX_3} = \frac{X_1 - X_2}{X_2 - X_3}$$

Las propiedades medidas en una escala de intervalo, se pueden mapear dentro de los números reales. Dado esto, en estos números ciertas operaciones no se pueden realizar sin explicaciones especiales. Muchas operaciones aritméticas se pueden realizar con las diferencias (intervalos), entre todas las parejas de estos números.

El tipo de intervalo que hemos considerado es lineal, pero puede ser del tipo: $X' = kX^n$.

3.6 CLASIFICACION DE LAS ESCALAS DE MEDIDA.

La escala nominal nos sirve para determinar igualdades con una estructura matemática de grupo del tipo:

$$X' = f(x)$$

donde $f(x)$ significa una sustitución uno a uno. Ejemplos de esto es numerar objetos.

La escala ordinal, nos sirve para determinar mayores o menores con una estructura matemática de grupo isotónico del tipo:

$$X' = f(x)$$

donde $f(x)$ significa una función monotonamente creciente. Ejemplo de esto es por ejemplo la escala de la dureza de los minerales.

La escala de intervalos nos sirve para determinar la igualdad

de intervalos o diferencias, bajo la estructura matemática de un grupo lineal o afin del tipo:

$$X' = ax + b \quad a > 0$$

Ejemplo de estas escalas es la escala de temperatura.

La escala de razones nos sirve para determinar la igualdad entre razones, bajo la estructura matemática de un grupo de similitud del tipo:

$$X' = cx \quad \text{con } c > 0$$

Un ejemplo de estas escalas es la del trabajo mecánico.

3.7 LA MEDICION.

Los números pueden tener por lo menos tres usos distintos:

- a.- Como rótulos o marcas de identificación.
- b.- Como signos que indican las relaciones cuantitativas entre cualidades.
- c.- Como signos que indican la posición de un grado de una cualidad en una serie de grados.

Existen casos en los cuales desempeñan las tres funciones simultáneamente.

Al primer caso pertenece por ejemplo, las marcas de identificación en los instrumentos de los automóviles. Al segundo grupo pertenecen las escalas de relación, y al tercer grupo pertenecen por ejemplo, las escala de Mohr de la dureza de los minerales.

A menudo se comete el error de creer que se pueden asignar números a diferentes grados de una cualidad, y que estos grados guardan siempre entre sí, la misma proporción que los números asignados. Este error surge del hecho de suponer que la medición es solamente la asignación de números. Así no se puede decir que el agua a 20°C, está a la mitad de temperatura del agua a 40°C.

En términos del procedimiento seguido al ordenar los objetos en una escala, la afirmación de que el valor 50 es el doble del valor 25 de la cualidad del objeto, no tiene ningún significado, porque las únicas relaciones que se han definido al ordenar los objetos en la escala, son las de transitividad y asimetría. Dicha afirmación sugiere erróneamente que un objeto que ocupa un lugar más alto que otro en la escala, contiene más de la cualidad que otro y que por el hecho de contener una mayor medida contiene determinada unidad de ella, un cierto número de veces. La temperatura, la dureza, la densidad, etc, son cualidades no aditivas que con frecuencia se denominan *Intensionales*. Se les puede medir, pero en el sentido de que es posible ordenar los diferentes grados de una cualidad en una serie; pero carecen de significado respecto de ellas preguntas como: ¿Cuánto?.

Es sólo en el segundo modo de emplear los números, en el que es posible contestar en función de ellos preguntas como: ¿Cuánto?.

Estos son los métodos empleados para medir pesos, longitudes, tiempos, Etc. Estas propiedades son aditivas, pues siempre es posible encontrar un procedimiento tal que, combinando dos objetos con cierta propiedad, obtengamos un objeto con un mayor grado de esa propiedad. A las propiedades aditivas se les denomina *Extensionales*, y su medición se llama *Fundamental*.

3.8 CONDICIONES FORMALES DE LA MEDICION.

Formalicemos las condiciones para la medición; las dos primeras nos dan los requisitos mínimos para el empleo de números, con el fin de medir diferencias cualitativas.

Daconjunto de n cuerpos: B_1, B_2, \dots, B_n , debe de ser posible ordenarlos en una serie, con respecto a cierta cualidad, de modo que entre dos cuerpos cualesquiera, exista una y sólo una de las siguientes relaciones:

- a.- $B_i > B_j$
- b.- $B_i < B_j$
- c.- $B_i = B_j$

El símbolo $>$ y su converso $<$, simbolizan la relación sobre cuya base es posible distinguir diferencias en los cuerpos respecto a la cualidad estudiada. La relación $>$ debe ser asimétrica.

2.) Si $B_i > B_j$ y $B_j > B_k$, entonces: $B_i > B_k$. Esta es la transitividad de la relación.

Estas relaciones son suficientes para medir cualidades intensionales, pero son necesarias, no suficientes, para medir cualidades extensionales, que además exigen un procedimiento físico de adición, simbolizado por $(+)$, del cual debe probarse por experimentación que posee las siguientes cualidades y propiedades formales:

3.) Si $B_r + B_s = B_t$, entonces: $B_r + B_s = B_t$.

4.) Si $B_i = B_i'$, entonces $B_i + B_j > B_i'$.

5.) Si $B_i = B_i'$, y $B_j = B_j'$, entonces $B_i + B_j = B_i' + B_j'$.

6.) $(B_i + B_j) + B_k = B_i + (B_j + B_k)$.

La medición en sentido estricto sólo es posible si se satisfacen las relaciones anteriores.

CAPITULO IV

MEDICIONES

INTRODUCCION

A medida que se realiza un experimento, generalmente los resultados obtenidos son entidades cuantificables; es decir, que el resultado obtenido es una propiedad natural a la que de acuerdo a las condiciones de la medición formal, es posible de asignar un número. Es esta la forma mediante la cual, las observaciones realizadas a través del Método Experimental, son mediciones que representan propiedades de los sistemas Físicos.

4.1 MEDICIONES.

Cuando se realiza una *MEDICION*, lo que se está haciendo es una comparación, operación que nos permite hacer distinciones ordenadas en las cualidades de los sistemas bajo estudio. Es importante el hacer notar que el resultado de un experimento es en general la consecuencia de un número finito de mediciones, que el Método Experimental requiera.

Al comparar, dijimos, lo que hacemos es establecer como iguales los elementos de comparación, para diferenciar las semejanzas y diferencias entre ellos. ¿Pero cuáles son esos elementos que nos permiten la comparación?, veamos. Hemos planteado que la medida es una acción del sujeto y éste para poder medir, necesita elementos que puedan ser observados. Estos elementos son los que llamamos elementos de medida o unidades de medida. Si analizamos a fondo lo que son estas unidades de medida, nos percataremos de que las unidades fundamentales como el espacio y el tiempo, son imposibles de ser definidas. ¿Qué es el espacio?, ¿Qué es el tiempo?.

Dar una definición de longitud como de tiempo no es fácil, ya que son conceptos que percibimos, que sabemos que son, pero que no podemos definirlos y decir: Tiempo es... Los sentimientos como las sensaciones de placer y dolor corporal, o los estados de ánimo, como la alegría, la tristeza, etc, carecen de verdadera referencia objetiva. No es que prescindan de toda relación con las cosas,, pero ese algo, será más bien la causa que el objeto de afecto; y si este dá relación a su causa, lo será de modo extrínseco y accidental, no de modo intrínseco y esencial.

Los sentimientos, como a los que pertenece el valor, tratan de una sensación que no consiste tanto en un estar como en un percibir. Cuando sentimos la belleza de una muchacha, la relación de nuestros sentimientos respecto a lo sentido es objetiva y no afectiva, esencial y no causal, inmediata y no mediata al pensamiento reflexivo. Si puedo sentirme triste sin saber porqué, puedo sentir la belleza de una muchacha sin que mis sentidos tengan a la vista la muchacha. Si no puedo ver sin luz, no se puede concebir el sentir (Percepción) sin la correlativa presencia del valor.

De esta forma tenemos sentimientos de sentir algo y otros de sentir por algo. Así pensar, sentir o querer son realidades dadas y no hechos o actos, ya que en ellos no existe nada de producido o ejecutado. Así si desearamos definir el tiempo tendríamos como San Agustín que decir: ¿Qué es el tiempo?, si nadie me lo pregunta lo sé; pero si he de contestarle a quien me lo preguntase, no lo sé.

Por lo tanto, medir no es el hecho directo de comparar; las cosas no son iguales sino en cuanto el sujeto las pone en relación. Parece ser que el ser iguales depende del sujeto y que sin su acción no lo son. Pero también es cierto que la igualdad entre hechos objetivos no depende del sujeto, es por otro lado ajena e independiente de él, no es el sujeto igual, sino los objetos. La Ontología es para la conciencia del sujeto, no para la de las cosas y es en este plano como se dá la igualdad, así la mensura es obra y acto de la mente y la mente es el sujeto.

Desde este punto de vista, la medida radica en el sujeto y no en la cosa que se va a medir. La idea objetiva de la medida como posibilidad comparativa, radica en el sujeto perceptor, es él el que mide. La percepción del valor del fenómeno radica en el sujeto y sólo en él. Por ejemplo, el aspecto relativo del elemento de conciencia del sujeto en la percepción, puede aclararnos esta concepción. Para el observador, perceptor, ¿Es el mismo tiempo el que transcurre en una hora de clase de matemáticas a las tres de la tarde, que la hora de una divertida película?. Es evidente que no. La conciencia del fenómeno es la unión de dos cosas distintas: El acto de referencia a y aquello a lo que el acto se refiere. Así cuanto más refiera al tiempo la atención, el observador es más conciente de él y cuanto menos, menos. En la aburrida clase de matemáticas a las tres de la tarde, la atención del sujeto está en el tiempo y no en la clase, sin embargo en la divertida película, la atención está en la película y no en el tiempo. No existe conciencia de él. Todo fenómeno, es decir lo que es inmediato a la percepción, tiene tanto de objetivo como de subjetivo. La medida, como todo el mundo físico es construida, es obra de abstracción.

Pero, ¿qué es lo que abstrae el sujeto de la medida? Veamos: Las cosas son siempre percibidas en la duración; toda construcción coherente del mundo se realiza dentro del tiempo, por ejemplo la Mecánica. Pero ya se dijo que el tiempo no es propio de la cosa, sino que es propio de la conciencia del sujeto, es decir, de la relación de significados entre lo real percibido y el sujeto que lo percibe. Luego esa conciencia del tiempo es una relación construida, una abstracción. Nuestra idea de tiempo, así como nuestra idea de espacio, son abstracciones realizadas de la realidad que le dan significado.

Esta abstracción es relativa a la conciencia del sujeto y por lo tanto son necesarias dos cosas para establecer la comparación en la medida: Una descentrar la percepción de la conciencia del sujeto y la otra, concretar la abstracción en un objeto. Este papel lo realiza el *PATRON*, el instrumento de medida. Así para el reloj la hora de la aburrida clase de matemáticas es la misma que la hora de la divertida película.

Las cosas no son verdaderas ni falsas, lo que puede ser verdadero o falso es la conciencia de ellos. Así mi concepción de la duración no es falsa ni verdadera, lo que es diferente es mi

forma de conciencia de ella. De esta forma la comparación entre las cosas y el patrón ya no es para mi conciencia de las cosas, sino para el acto mismo de la medición al involucrar al patrón de la medida. Pero otra de las características de la medición es la cuantificación y ésta implica al conteo y por lo mismo la discretización. Así que vamos a comparar la realidad continua de las cosas percibidas, con elementos discretos contables del instrumento de medición, algo así como comparar manzanas con perros. Este hecho nos presenta un grave problema Ontológico: no podemos comparar elementos discretos contra elementos continuos.

Una forma de dar solución al problema, es simulando un continuo con los elementos discretos de conteo en el patrón. ¿cómo hacer esto?. Para esto emplearemos lo que llamamos la incertidumbre. Pensemos que tenemos la escala de un instrumento de medida.

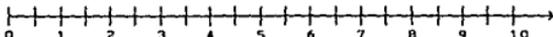


FIG. (4.1).

Si deseamos medir la lectura tomada, corresponderá al conteo de las líneas de discretización de la escala. Pero si asociamos a la lectura la incertidumbre tomada como la mitad de la mínima división de la escala y la asociamos a una lectura X como $X \pm \Delta X$, donde ΔX es la incertidumbre, al contar los elementos discretos y asociar la incertidumbre, el dato 2 ya no es dos, es 2 ± 0.5 , o sea que va desde 1.5 hasta 2.5, pero el tres va de 2.5 a 3.5 y el uno va de 0.5 hasta 1.5, hemos simulado un continuo al traslapar las medidas.

El tamaño de la incertidumbre nos marca el valor del intervalo de la medida. Este intervalo nos da la capacidad de resolución del conteo del instrumento. A esta capacidad de resolución del instrumento de medida se le llama *PRECISION*.

Con las unidades establecidas a nivel patrón, es posible generar una escala ordenada, que es matemáticamente representable como una línea infinita, sobre la cual las unidades y sus divisiones se suceden indefinidamente, es decir que establecemos una relación con la recta de los números reales. Es esto lo que nos permite que a partir de la isomorfia de la medida con los números se puedan establecer relaciones matemáticas entre las diferentes propiedades de los sistemas Físicos. Una vez establecida la unidad y la escala (patrón e isomorfia numérica) se puede determinar la cuantificación que representa la magnitud medida. Es por esto que al medir también se establece una función que relaciona un conjunto ordenado de números, con un conjunto de propiedades que nos permite crear conceptos.

Al realizar una medición, decimos que ésta es confiable, cuanto más cumple con dos características: precisión y exactitud. La exactitud es una imposibilidad física que tiene el sujeto en la realización de una medición. Esta sólo es posible cuando contamos y así decir que en un lugar hay veinte personas, es exacto. En el caso de la realización de una medida, también asociamos a una propiedad un valor numérico, pero con la diferencia respecto al conteo que el valor no se puede asociar biunivocamente; los

factores que intervienen en la medición son variables, como puede ser el instrumento de medida, los errores de la medición, los errores estocásticos, etc. Estos factores imposibilitan físicamente la medida exacta y no se pueden considerar como equivocaciones en la realización de la medida, sino que son factores controlables o no por el sujeto, pero que hacen que el resultado varíe y en la mayoría de los casos se desconoce como afecta la medida. Estos errores de medición se clasifican en errores sistemáticos y errores estocásticos.

Los errores estocásticos son variaciones que de forma azarosa se introducen en el proceso de la medida y que de forma no predecible alteran el resultado. Este tipo de errores no son fáciles de eliminar y nunca se logra por completo, por lo que se incorporan a la incertidumbre de la medida. Estas variaciones introducidas por errores estocásticos, para introducirse en la incertidumbre, deben de ser pequeños, si no lo son, es necesario revisar el procedimiento de la medición y mejorar su control.

Los errores sistemáticos son aquellos que afectan siempre en una cantidad constante las mediciones realizadas en un experimento; por ejemplo, la escala de una regla desviada en la primera división, un cronómetro que se adelante o atrase, un instrumento de medida mal calibrado, etc. En estos casos todas las medidas realizadas están afectadas por un error constante. Estos errores una vez detectados son en su mayoría fáciles de eliminar, sea porque se cambien o corrijan los instrumentos de medida, o sea porque se opera numéricamente sobre los resultados obtenidos; por ejemplo, si se mide una longitud con una regla graduada en milímetros y se obtiene por resultado $X = 3.2$ cm y se detecta que la escala de la regla está desviada en la primera división 1 mm, el resultado correcto será:

$$X_c = X - 0.1 = 3.2 - 0.1 = 3.1 \text{ cm.}$$

No todos los errores sistemáticos son tan sencillos de detectar, dependen del dispositivo y equipo empleado en la medición, por lo que pueden existir errores de esta naturaleza que no se lleguen a conocer y si se observa que son pequeños se pueden tratar como errores estocásticos.

Cuando se realiza una medición repetidas veces y el valor obtenido es siempre el mismo, la incertidumbre está asociada únicamente con el instrumento de medición y por lo tanto la magnitud del intervalo asociado será la mitad de la mínima división de la escala. Este tipo de medidas reciben el nombre de **REPETIBLES**. Así si deseamos en el caso de una masa pesarla en una balanza con precisión de 0.1 gr y se obtiene la lectura $m = 56.2$ gr., como es una medida repetible, cuantas veces la repitamos medirá lo mismo, así que le asociaremos como incertidumbre la mitad de la mínima división de la escala, que en nuestro caso será de 0.05 gr. Al representar el valor obtenido de la medición, se reporta la incertidumbre asociada al valor de la medida como:

$$M = m \pm \Delta m = (56.2 \pm 0.05) \text{ gr.}$$

donde \pm indica explícitamente el intervalo.

Cuando se realiza una medida repetidas veces y los valores correspondientes difieren debido a la presencia de errores estocásticos, no se debe de asociar como incertidumbre el intervalo anterior, que es el del instrumento de medida. Dado que los resultados obtenidos varían en cada lectura, es necesario dar una representación que nos muestre la forma en que los valores se dispersan. La tabla de datos no nos permite percatarnos de la forma de la dispersión, así que una forma de lograr esto es la representación en forma gráfica. Esta representación se conoce como Histograma y nos representa los valores obtenidos en las mediciones y el número de veces que se repiten. Como ejemplo consideremos el caso hipotético del conjunto de valores de tiempo invertidos por un balón en un riel de canal en recorrer la distancia de 20 cm. Estos datos de tiempo son:

$t = (15, 13, 14, 18, 13, 15, 15, 16, 17, 14, 16, 19, 14, 15, 17)$

La frecuencia o número de veces que cada medida se repite es:

t	n
13	2
14	3
15	4
16	2
17	2
18	1
19	1

Para estos datos el histograma es el de la figura (4.2).

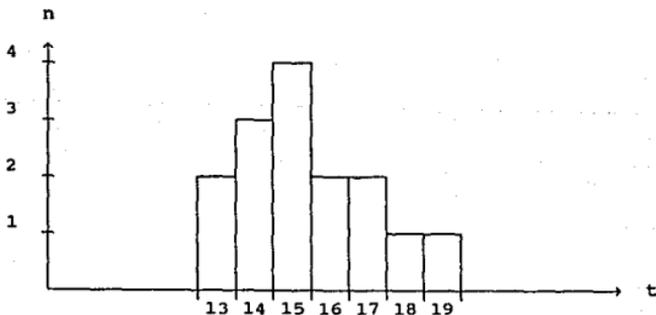


FIG. (4.2).

Si tenemos una gran cantidad de mediciones, podemos aproximar el histograma a una gráfica continua de distribución. Esto lo que nos permite, es realizar un adecuado análisis estadístico.

Una de las formas de distribución que comúnmente se obtiene es la llamada *DISTRIBUCION DE GAUSS* o *DISTRIBUCION NORMAL*. En esta distribución los valores se dispersan simétricamente del punto de mayor frecuencia.

La gráfica se muestra en la figura (4.3).

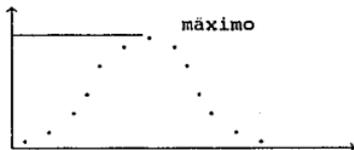


FIG. (4.3).

Debe de poder obtenerse un valor único que represente la medida realizada y que por lo mismo sea la más confiable. Este valor es el promedio estadístico de los datos obtenidos. Para un cierto número n de mediciones, el promedio se obtiene con la ecuación:

$$\bar{X} = \sum_{i=1}^n = \bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}$$

En el caso de tener una distribución normal, el valor promedio corresponde con el valor de mayor frecuencia que es el más probable.

Considerar el valor promedio como el valor más representativo, no nos asegura la absoluta confiabilidad del dato. Como siempre es necesario asociar una incertidumbre que represente la precisión experimental. Para esto si analizamos los datos de nuestro ejemplo, se puede ver que el valor promedio sería:

$$\bar{t} = \sum_{i=1}^n \frac{t_i}{15} = \frac{231}{15} = 15.4$$

El dato mayor del conjunto de datos es: 19

El dato menor del conjunto de datos es: 13

Para obtener el valor de la incertidumbre del promedio se realizan las siguientes operaciones:

$$X_{\max} - \bar{X} = a$$

$$\bar{X} - X_{\min} = b$$

$$\Delta\bar{X} = \max (a, b)$$

Así que para nuestro ejemplo : $X_{\max} = 19$, $X_{\min} = 13$ y $\bar{X} = 15.4$

$$19 - 15.4 = 3.6$$

$$15.4 - 13 = 2.4$$

El $\max (3.6, 2.4) = 3.6$, por lo que $\Delta\bar{X} = 3.6$ y así escribimos:

$$\bar{X} \pm \Delta\bar{X} = 15.4 \pm 3.6$$

El criterio presentado toma en consideración todas las medidas realizadas y su incertidumbre es la desviación máxima de los valores alrededor del promedio.

Cuando se tiene un número muy grande de medidas, el criterio anterior es un criterio muy grueso, debido a la probabilidad de que se repitan las lecturas muy alejadas del valor promedio, es muy baja. Existe un concepto estadístico que representa bastante bien esta incertidumbre y es la *DESVIACION STANDAR*, la que para un número finito de datos se define como:

$$S_x = \left[\sum \frac{(X_i - \bar{X})^2}{n - 1} \right]^{1/2}$$

Por lo que la incertidumbre del promedio será:

$$\delta \bar{X} = S_x$$

Estadísticamente la desviación standar lo que mide es la dispersión de las lecturas alrededor del promedio.

Otra forma de presentar la incertidumbre es la llamada *INCERTIDUMBRE RELATIVA*, la cual se define como:

$$I_r = \frac{\Delta X}{X_0}$$

donde ΔX es la incertidumbre asociada y X_0 es el valor medido.

Otra forma de indicar la incertidumbre es la llamada *INCERTIDUMBRE PORCENTUAL*, que se define de la forma:

$$I_x = (I_r \times 100)\%$$

4.2 PROPAGACION DE INCERTIDUMBRES.

Cuando las mediciones son el resultado de una acción Física directa, es decir que sólo esta presente la comparación directa del patrón contra la realidad Física, se les llama *MEDIDAS DIRECTAS*. Como por ejemplo: medir con un flexómetro una mesa, pesar unas monedas con una balanza, medir cuanto tiempo tarda un eclipse total de sol con un cronómetro.

Con esto se tiene que una medida directa es aquella en la cual no se involucran otro tipo de medidas. En las mediciones que son del tipo repetibles, es decir aquellas en las que se toman n lecturas de medida, la medición se establece por medio del promedio de las lecturas y sus incertidumbres asociadas.

En la naturaleza experimental existen una variedad de magnitudes Físicas que no se pueden obtener en forma directa, si no que son el resultado de operaciones matemáticas sobre magnitudes medidas directamente; como algunos ejemplos son: la densidad, la velocidad, la aceleración. O sea, la velocidad se determina midiendo la distancia recorrida y el tiempo empleado en recorrerla, por medio del cociente $\delta x / \delta t$.

Cuando se esta aplicando medidas directas para determinar

otra magnitud por medio de una operación matemática, se dice que estas son *MEDIDAS INDIRECTAS*.

Todas las medidas directas tienen asociada su incertidumbre y en el caso de una medida indirecta, ¿cuál es la incertidumbre asociada?. Las medidas directas son operadas matemáticamente junto con sus incertidumbres y dichas incertidumbres serán el resultado de una algebra involucrada en la operación realizada. A este resultado se le llama :*LA PROPAGACION DE LA INCERTIDUMBRE*.

La propagación de la incertidumbre bajo las operaciones fundamentales de adición, sustracción, producto y cociente son las siguientes:

Sean dos mediciones (directas claro):

$$x \pm \delta x \quad y \pm \delta y$$

$$\text{y sea } z \pm \delta z$$

Si $z = x + y$ entonces:

$$z \pm \delta z = (x \pm \delta x) + (y \pm \delta y) = (x + y) \pm (\delta x + \delta y)$$

Aplicando la adición, las cantidades se suman y la incertidumbre es la suma de las incertidumbres.

$$\text{Si } z = x - y$$

$$z \pm \delta z = (x \pm \delta x) - (y \pm \delta y) = (x - y) \pm (\delta x + \delta y)$$

Nuevamente las incertidumbres se suman, ya que si se tomase la diferencia de las incertidumbres sería cero si $\delta x = \delta y$, con esto el resultado de la incertidumbre bajo la sustracción es cero y esto violaría la ontología de la medida.

Si ahora $z = x \cdot y$ se tendrá:

$$z \pm \delta z = (x \pm \delta x)(y \pm \delta y) = (x \cdot y) \pm (x\delta y + y\delta x + \delta x\delta y)$$

Dado que δx y δy son muy pequeñas comparadas con x y y , el producto $\delta x\delta y$ es un término de segundo orden muy pequeño, por lo que su significado es despreciable con respecto a otras cantidades; y con esto se obtiene:

$$z \pm \delta z = (x \cdot y) \pm (x\delta y + y\delta x) .$$

Luego, si se tiene $z = x / y$ entonces:

$$\begin{aligned} z \pm \delta z &= (x \pm \delta x) / (y \pm \delta y) = (x \pm \delta x)(y \pm \delta y)^{-1} \\ &= (x \pm \delta x)(1 \pm \delta y/y \pm (dy/y)^2 \pm \dots) \end{aligned}$$

Aplicando el teorema del binomio se tiene que:

$$(1 \pm \delta y/y)^{-1} = (1 \pm \delta y/y \pm (dy/y)^2 \pm \dots)$$

y despreciando los términos de orden superior se tiene:

$$z \pm \delta z = (x \pm \delta x)(1 \pm \delta y/y)^{-1} = x/y \pm (x\delta y + y\delta x)/y^2 + dy/y^2$$

Despreciando términos de segundo orden:

$$z \pm \partial z = (x \pm \partial x)/(y \pm \partial y) = x/y \pm (x\partial y + y\partial x)/y^2$$

que es el modelo que sirve para encontrar la incertidumbre asociada en el caso de la velocidad.

$$v \pm \partial v = (d \pm \partial d)/(t \pm \partial t) = d/t \pm (d\partial t + t\partial d)/t^2$$

Existen otras medidas indirectas que no se pueden obtener bajo las operaciones fundamentales, sino que involucran funciones matemáticas como: *sen*, *cosa*, e^x , $\ln x$, etc. Para este caso trabajar con las incertidumbres resulta muy elaborado. Así se utilizará otro método para tratar con este tipo de incertidumbres que es el de diferenciación. Este método se justifica por el hecho de que las incertidumbres en lo general son muy pequeñas en comparación con la magnitud medida, la cual no deja de ser una aproximación.

En el caso de que la función es de una sola variable, es decir $y = f(x)$ donde x es la variable independiente, la expresión para la incertidumbre asociada es:

$$y = \left[\frac{d}{dx} f(x) \right] dx$$

donde x es la incertidumbre de x . De aquí que:

$$y \pm \partial y = f(x) \pm \left[\frac{d}{dx} f(x) \right] dx$$

Utilicemos este método en funciones conocidas de uso general:

a).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = kx$ entonces:

$$y = \left[\frac{d}{dx} kx \right] dx = kdx$$

por lo tanto: $y \pm \partial y = kx \pm kdx$.

b).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = ax^n$ entonces:

$$\partial y = \left[\frac{d}{dx} ax^n \right] dx = anx^{n-1}dx$$

por lo tanto: $y \pm \partial y = ax^n \pm anx^{n-1}dx$.

c).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = a^x$ entonces:

$$\partial y = \left[\frac{d}{dx} a^x \right] dx = (a^x \ln a) dx$$

por lo tanto: $y \pm \delta y = a^x \pm (a^x \ln a) dx$.

En el caso de $f(x) = e^x$ se tiene: $y \pm \delta y = e^x \pm (e^x dx)$.

d).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = \log_a x$ entonces:

$$dy = \left[\frac{d}{dx} \log_a x \right] dx = \frac{dx}{x \ln a}$$

pero: $\log_a x = \ln x / \ln a$

y en el caso de del logaritmo natural se tiene:

$$dy = \left[\frac{d}{dx} \ln x \right] dx = \frac{dx}{x}$$

e).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = \text{sen} x$ entonces:

$$y = \left[\frac{d}{dx} \text{sen} x \right] dx = \text{cos} x dx$$

por lo tanto: $y \pm \delta y = \text{sen} x \pm \text{cos} x dx$.

f).-Sea $y = f(x)$, donde $f(x) = \text{tang} x$ entonces:

$$\delta y = \left[\frac{d}{dx} \text{tang} x \right] dx = (\text{sec}^2 x) dx$$

por lo tanto: $y \pm \delta y = \text{tang} x \pm (\text{sec}^2 x) dx$.

Para funciones trigonométricas es importante señalar que se deben emplear los radianes como unidad, ya que de lo contrario el resultado sería equivocado.

Si ahora tenemos una función de dos variables ($z = f(x, y)$), o sea una medida indirecta resultado de otras dos medidas directas, entonces la expresión diferencial correspondiente es:

$$z = \left[\frac{d}{dx} f(x, y) \right] dx + \left[\frac{d}{dy} f(x, y) \right] dy.$$

Ahora apliquemos la propagación de incertidumbres bajo las operaciones fundamentales:

a).-Sea $z = f(x, y) = x + y$ entonces:

$$z = \left[\frac{d}{dx} (x + y) \right] dx + \left[\frac{d}{dy} (x + y) \right] dy = dx + dy.$$

b).-Sea $z = f(x, y) = x - y$ entonces:

$$\delta z = \left[\frac{\delta}{\delta x} (x - y) \right] \delta x + \left[\frac{\delta}{\delta y} (x - y) \right] \delta y = \delta x + \delta y.$$

c). -Sea $z = f(x + y) = x \cdot y$ entonces:

$$\delta z = \left[\frac{\delta}{\delta x} (x \cdot y) \right] \delta x + \left[\frac{\delta}{\delta y} (x \cdot y) \right] \delta y = x\delta y + y\delta x$$

d). -Sea $z = f(x, y) = x / y$ entonces:

$$\delta z = \left[\frac{\delta}{\delta x} (x / y) \right] \delta x + \left[\frac{\delta}{\delta y} (x / y) \right] \delta y = \frac{x\delta y + y\delta x}{y^2}$$

Formalizando, se ha dicho que en una medida indirecta se evalua la incertidumbre en la variable a partir de la incertidumbre medida directamente. Consideremos el siguiente caso en el que la variable y es una función de la variable x : ($y = f(x)$) en la cual x se puede medir directamente, y determinar su incertidumbre δx . Se dice que y se mide directamente cuando al sustituir en la función los valores de x , es posible calcular un valor de y .

$$y = f(x)$$

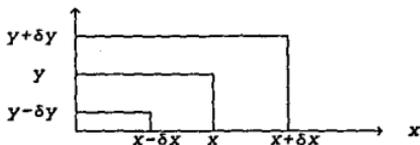


FIG. (4.4).

El procedimiento es correcto, pero esto implica calcular el valor de y tantas veces como se midió x . Es mejor calcular el valor promedio de y con el valor promedio de x ; y la incertidumbre δy con la incertidumbre δx . Esto es válido si en el intervalo ($x - \delta x$, $x + \delta x$) se puede aproximar x por una línea recta, esto equivale a un cambio lineal de escala, lo que no modifica la distribución de los puntos. Esto es cierto ya que por lo regular $\delta x \ll x$, y en un intervalo pequeño de la curvatura se puede aproximar a un segmento de recta. Por último si $y = f(x)$ y $\delta y = m\delta x$ donde m es la pendiente de la recta, entonces:

$$m = \frac{\delta y}{\delta x} = \text{tang } \alpha$$

Pero también hay que tomar en cuenta que valores aproximados ($\delta x \ll x$), y dado esto la definición siempre es válida.

CAPITULO V

ANALISIS DE DATOS

INTRODUCCION

Cuando se grafica un conjunto de datos experimentales se obtiene una variedad de curvas debidas al experimento. Dentro de esta variedad de representaciones graficas, se encuentran tres tipos que son las comunes. Dichas representaciones son:

Representaciones lineales.

Representaciones potenciales.

Representaciones exponenciales.

Con los siguientes modelos matemáticos que describen de manera genérica estas representaciones:

Modelos Lineales: $y = mx + b$

Modelos Potenciales: $y = ax^2$

Modelos Exponenciales: $y = ae^{nx}$

En la figura (5.1) se muestran las gráficas de las representaciones.



FIG. (5.1).

A continuación veremos algunos métodos empleados para linealizar las diferentes representaciones que nos encontramos más comunmente, en las cuales se requiere hacer un análisis para el tipo de curva que nos presentan los resultados obtenidos.

5.1 MODELOS LINEALES.

La mejor representación para facilitar el análisis es la lineal, debido a que los parámetros que describen este comportamiento son fáciles de obtener. Dichos parámetros son la ordenada al origen (b) y la pendiente de la recta (m), que corresponden al primer modelo matemático. El valor de b es el punto donde se intercepta la recta con el eje vertical de la gráfica y el valor del parámetro m se obtiene eligiendo dos puntos (x_1, y_1) y (x_2, y_2) , que están en la recta haciendo la siguiente relación:

$$m = \frac{(y_2 - y_1)}{(x_2 - x_1)}$$

Dandonos así la ecuación de la recta: $y = mx + b$ $\forall x$.

Hagamos el análisis de un experimento en el cual, sobre un riel de canal se fijan las distancias, y se miden los tiempos empleados en recorrerlas por un balín. Los datos obtenidos son los siguientes, (después de haber realizado un promedio en los tiempos):

d (cm)	t(1/100s)
10±0.05	22±2
20±0.05	44±2
30±0.05	65±3
40±0.05	84±2
50±0.05	102±5
60±0.05	120±2
70±0.05	145±1
80±0.05	162±3
90±0.05	184±2
100±0.05	201±4

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.2).

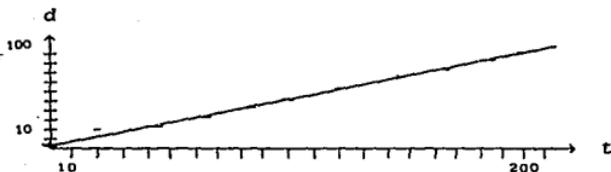


FIG. (5.2).

En la gráfica fácilmente se puede trazar una línea recta que toque a todos los puntos, también se observa que la ordenada al origen es de 1.5. Luego eligiendo dos puntos sobre la recta trazada, se tiene (en este caso el primero y el último):

$$(x_1, y_1) = (20, 10)$$

$$(x_2, y_2) = (201, 100)$$

El valor de la pendiente será:

$$m = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} = \frac{100 - 10}{201 - 20} = \frac{90}{181} = 0.49$$

Así la ecuación de la recta que describe a la gráfica es:

$$y = mx + b$$

$$d = vt + d_0$$

$$d = 0.49t + 1.5$$

Lo mejor que podría suceder por la facilidad con la que se obtiene la información, que todos los experimentos fueran

lineales, pero desafortunadamente esto sólo sucede en algunos casos; ya que la gran mayoría de las relaciones de la Física no son lineales.

No es difícil darse cuenta que si bien la recta trazada en la figura (5.2), es la que se adapta mejor a ojo, por los puntos experimentales graficados con sus incertidumbres, de hecho pueden pasar un número infinito de rectas. Esto debido a que caen dentro de las incertidumbres de los puntos experimentales y que pueden ser una representación válida. Dichos puntos experimentales definen una banda y toda recta que pase dentro de ella, se dice que es representativa del experimento.

Lo que nos lleva a pensar en el hecho de que si los puntos experimentales tienen una incertidumbre, la relación que entre ellos se obtenga, no puede ser absoluta, de aquí que surja una incertidumbre debido a la pendiente, de forma tal que permita garantizar un intervalo de confianza en donde nuestra recta este incluida.

Para esto existe un método gráfico sencillo para hacer esta estimación de la incertidumbre de la pendiente, al cual llamamos **RECTAS AUXILIARES**. El cual consiste en:

I.- En los extremos de las incertidumbres de los puntos experimentales se trazan dos rectas auxiliares, una por arriba y otra por debajo. Estas líneas nos definen la banda por la cual pueden pasar todas las rectas posibles.

Si las incertidumbres de los puntos experimentales son todas de la misma magnitud, las rectas auxiliares se trazan paralelamente a la recta ajustada visualmente. En el caso de que esto no suceda, las rectas auxiliares seguirán la forma creciente o decreciente de la incertidumbres.

II.- Cuando ya se trazaron las rectas auxiliares, se trazan de los puntos experimentales extremos, tomando como referencia a las rectas auxiliares, una recta de máxima pendiente y otra de mínima pendiente. De tal manera que la recta de máxima pendiente garantiza que dentro de los datos experimentales con su incertidumbre, no se puede trazar una recta de mayor pendiente, análogamente esto se aplica para la de mínima pendiente.

III.- Con las rectas de máxima y mínima pendiente trazadas, se procede a obtener los valores de las pendientes de las rectas. Una vez obtenido el valor para las pendientes, se calcula el valor para la incertidumbre de la pendiente óptima, operándolas de la siguiente manera:

Sean m_{max} la pendiente máxima, m_{min} la pendiente mínima y m_v la pendiente de la recta ajustada; entonces:

$$m_{max} - m_v = a$$

$$m_v - m_{min} = b$$

y se elige el valor máximo entre a y b, o sea:

$$\delta m = \max \langle a, b \rangle$$

En dado caso de que estos resultados difieran demasiado es mejor manejarlos por separado.

IV.- Para encontrar la incertidumbre de la ordenada al origen, se localizan las tres ordenadas de las rectas y se hace el procedimiento análogo de la pendientes, esto es:

$$\begin{aligned} b_{\max} - b_v &= d \\ b_v - b_{\min} &= e \end{aligned}$$

de igual manera se toma el valor máximo entr d y e , o sea:

$$\delta b = \max \langle d, e \rangle$$

Así la ecuación estará representada por:

$$y \pm \delta y = (m \pm \delta m)x + (b \pm \delta b)$$

La gráfica de las rectas auxiliares se muestra en la figura (5.3).

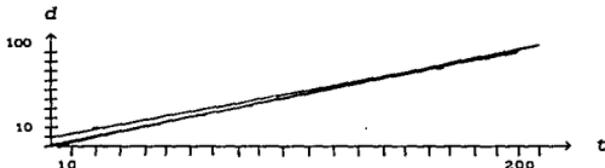


FIG. (5.3).

La gráfica de las pendientes máximas y mínimas se muestran en la figura (5.4).

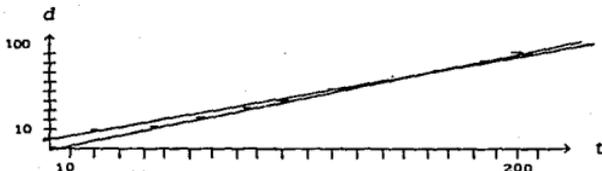


FIG. (5.4).

Aplicaremos el método a nuestro ejemplo:

La pendiente de la recta ajustada visualmente, ya se había calculado, a lo igual que la ordenada al origen y son: $m = 0.49$ y $b = 1.5$.

Para la recta de menor pendiente se calculará apartir de los puntos (205, 100) y el otro punto será el de la ordenada al origen de esta recta (0, 10), así la pendiente valdrá:

$$m = \frac{100 - 10}{205 - 0} = \frac{90}{205} = 0.44$$

Para la recta de mayor pendiente se calculará apartir de los puntos (197, 100) y el otro punto será el de la ordenada al origen de esta recta (0, -5), así la pendiente valdrá:

$$m = \frac{100 - (-5)}{197 - 0} = \frac{105}{197} = 0.53$$

Por lo tanto el valor de la incertidumbre de la pendiente será:

$$\begin{aligned} m_{\max} - m_v &= 0.53 - 0.49 = 0.04 \\ m_v - m_{\min} &= 0.49 - 0.44 = 0.05 \\ \delta m &= \max (0.04, 0.05) \end{aligned}$$

Luego para las ordenadas al origen, se tiene:

$$\begin{aligned} b_{\max} - b_v &= 10 - 1.5 = 8.5 \\ b_v - b_{\min} &= 1.5 - (-5) = 6.5 \\ \delta b &= \max <8.5, 6.5> \end{aligned}$$

Con lo que el modelo matemático será:

$$y \pm \delta y = (m \pm \delta m)x + (b \pm \delta b)$$

Las ordenadas son las distancias y las coordenadas son los tiempos, la ordenada al origen es una distancia y la pendiente es:

$$m = \frac{\delta y}{\delta x} = \frac{\delta d}{\delta t} = v \quad \dots \text{VELOCIDAD.}$$

Por lo que se puede escribir:

$$d \pm \delta d = (v \pm \delta v)t + (d_0 \pm \delta d_0)$$

de aquí que: $d \pm \delta d = (0.49 \pm 0.05)t + (1.5 \pm 8.5)$

Este es el modelo matemático de máxima incertidumbre para el experimento. Dicho modelo es pesimista pero nos permite hacer una verificación rápida de los resultados.

5.2 METODO DE MINIMOS CUADRADOS.

El método visto en el punto 5.3, es un criterio útil pero simplista para ajustar una recta a través de un conjunto de datos experimentales con sus incertidumbres. Este es un ajuste pesimista que sólo toma en cuenta las máximas desviaciones de los datos.

Veamos un método más eficaz de ajuste de rectas por medio de datos experimentales que se conoce con el nombre de **MINIMOS CUADRADOS**.

Consideremos el siguiente experimento hipotético, al observar las calificaciones de un alumno, se tiene que:

No. de materia	Calificación
1	10
2	8
3	4
4	10
5	7

En el caso de lecturas no reproducibles, se ha establecido que el valor más representativo del conjunto de datos es el valor promedio \bar{x} definido como:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}$$

Para las calificaciones de nuestro alumno el valor promedio de sus calificaciones será:

$$\bar{x} = \frac{10 + 8 + 4 + 10 + 7}{5} = \frac{39}{5} = 7.8$$

Hagamos una gráfica "secuencial" con los datos obtenidos, trazando la recta que mejor distribuye a los puntos, dicha gráfica se muestra en la figura (5.5).

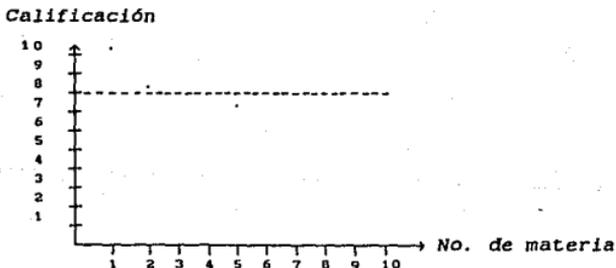


FIG. (5.5).

Si obtenemos el valor de la ordenada de la recta, se obtiene en forma aproximada el valor promedio.

Se puede medir las diferencias entre el valor de la recta, y el valor de cada calificación como se ilustra en la figura (5.6).

Calificación

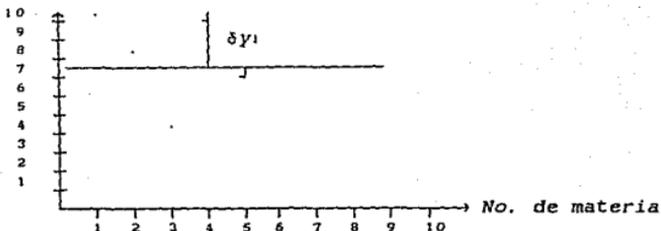


FIG. (5.6).

Se define la desviación δy_i de un punto de ordenada y_i respecto de la recta, como la diferencia que existe entre la ordenada del punto y_i y la ordenada de la recta, o sea:

$$\delta y_i = y_i - y$$

El valor de la ordenada de la recta lo desconocemos, luego aplicando la expresión anterior:

$$\delta y_1 = 10 - y$$

$$\delta y_2 = 8 - y$$

$$\delta y_3 = 4 - y$$

$$\delta y_4 = 10 - y$$

$$\delta y_5 = 7 - y$$

Lo que buscamos es el valor óptimo para y . Para encontrarlo impondremos la condición de que la recta óptima sea aquella para la cual la suma de los cuadrados de las desviaciones tenga un valor mínimo, o sea:

$$\sum_{i=1}^n (\delta y_i)^2 = \text{mínimo.}$$

En nuestro caso tenemos:

$$(10 - y)^2 + (8 - y)^2 + (4 - y)^2 + (10 - y)^2 + (7 - y)^2 = \text{mínimo.}$$

La condición para el mínimo será:

$$\sum_{i=1}^n (\delta y_i) = \text{mínimo, cuando } y \text{ tome un valor } y_0 \text{ tal que:}$$

$$\frac{d}{dy} \sum_{i=1}^n (\delta y_i)^2 = 0$$

Derivando:

$$\frac{d}{dy} [(10-y)^2 + (8-y)^2 + (4-y)^2 + (10-y)^2 + (7-y)^2] = 0$$

$$= -2(10-y) - 2(8-y) - 2(4-y) - 2(10-y) - 2(7-y) = 0$$

$$= 10 - y + 8 - y + 4 - y + 10 - y + 7 - y = 0$$

$$-5y + 39 = 0, \quad 5y = 39, \quad y = 39/5, \quad y = 7.8$$

que es valor obtenido con anterioridad para el promedio.

Lo que nos conduce a que el valor promedio es el valor cuadrático mínimo de un conjunto de datos, en otras palabras: la suma de los cuadrados de las desviaciones de una serie de datos, tiene un mínimo cuando se calculan respecto del valor cuadrático mínimo, que es el promedio.

Si obtener el valor cuadrático mínimo es obtener el valor promedio, se puede generalizar el método para obtener la recta promedio de todas las rectas que pueden pasar por un conjunto de datos experimentales.

Para hacer esto pensemos en una recta trazada por un conjunto de datos experimentales como lo muestra la figura (5.7).

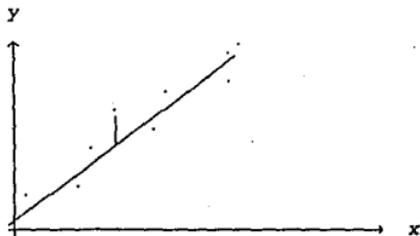


FIG. (5.7).

Por la definición que se dió para δy_i : $\delta y_i = y_i - y_0$ pero y_i corresponde la ordenada al punto experimental, y y_0 a la ordenada de la recta óptima en ese punto, así se puede escribir:

$$y_0 = mx_i + b$$

con m la pendiente y b la ordenada al origen de la recta óptima, y x_i el valor experimental correspondiente, por lo que:

$$\delta y_i = (y_i - (mx_i + b))$$

entonces:

$$\delta y_i^2 = [y_i - (mx_i + b)]^2$$

Aplicando la condición de mínimos cuadrados:

$$\sum_{i=1}^n (\delta y_i)^2 = \sum_{i=1}^n [y_i - (mx_i + b)]^2$$

Como esta es una función de m y de b , la condición para el mínimo será:

$$\frac{\delta}{\delta m} = F(m, b) = 0; \quad \frac{\delta}{\delta b} = F(m, b) = 0$$

por lo anterior se tiene:

$$\frac{\delta}{\delta m} F(m, b) = 2m \sum_{i=1}^n x_i^2 + 2b \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0 \quad (a)$$

$$\frac{\delta}{\delta b} F(m, b) = 2b + 2m \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n y_i = 0 \quad (b)$$

La solución al sistema de ecuaciones es:
de la ecuación (b):

$$2b = -2m \sum_{i=1}^n x_i + 2 \sum_{i=1}^n y_i$$

de aquí que:

$$b = -m \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i$$

Sustituyendo en la ecuación (a):

$$2m \sum_{i=1}^n x_i^2 + 2(-m \sum_{i=1}^n x_i + \sum_{i=1}^n y_i) \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0$$

$$2m \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2m \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i + 2 \sum_{i=1}^n y_i \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i = 0$$

$$2m \left[\sum_{i=1}^n x_i^2 - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n x_i \right] = 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i - 2 \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i = 0$$

por lo tanto:

$$m_{op} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i y_i - \sum_{i=1}^n x_i \sum_{i=1}^n y_i}{\sum_{i=1}^n x_i^2 - \left[\sum_{i=1}^n x_i \right]^2}$$

Dividiendo el denominador y el numerador por n^2 se obtiene la ecuación para la m_{op} en términos de los promedios:

$$m_{op} = \frac{(\overline{xy}) - \bar{x} \bar{y}}{x^2 - (\bar{x})^2}$$

Esta ecuación nos da la pendiente óptima de la recta.

Para obtener la ordenada al origen óptima se tiene que si la ecuación de la recta es: $y = mx + b$, de aquí que $b = y - mx$, y por lo tanto: $b_{op} = y - m_{op}x$.

Es importante hacer notar que estas expresiones son estadísticas y por lo tanto llevan asociadas una desviación que representará su incertidumbre, y que son:

$$\delta m = \left[\frac{1}{n[\overline{x^2} - (\bar{x})^2]} \right]^{1/2} \delta y$$

$$\delta b = \left[\frac{1}{n(\bar{x}^2 - (\bar{x})^2)} \right]^{1/2} \delta y$$

donde:

$$\delta y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2}{n - 2} \right]^{1/2}$$

Aplicaremos este método al ejemplo de la densidad del hierro.

Los datos experimentales serán:

V (cm ³) ± 0.5	m (gr) ± 0.05
1.0	11.0
2.0	15.0
3.0	23.0
4.0	27.0
5.0	36.0
6.0	43.0
7.0	54.0
8.0	60.0
9.0	65.0
10.0	71.0

Para trabajar con mínimos cuadrados, se arreglan los datos de la siguiente manera, las x son los volúmenes, y las y son las masas, con lo cual necesitamos x, y, (xy), y x y, por lo que:

	V	M	MV	V ²
1	11	11	11	1
2	15	30	45	4
3	23	69	138	9
4	27	108	216	16
5	36	180	360	25
6	43	258	516	36
7	54	378	756	49
8	60	480	960	64
9	65	585	1102.5	81
10	71	710	1331	100
Σ	55	405	2809	385
V _p	5.5	40.5	280.9	38.5

Aplicando las ecuaciones para la pendiente y la ordenada al origen óptimas, se tiene:

$$m_{op} = \frac{(\overline{xy}) - \bar{x} \bar{y}}{\bar{x}^2 - (\bar{x})^2} = \frac{280.9 - (40.5)(5.5)}{38.5 - (5.5)^2} = \frac{280.9 - 222.75}{38.5 - 30.25} = \frac{58.15}{8.25} =$$

$$= 7.05$$

y el valor de la ordenada al origen será:

$$b_{op} = \bar{y} - m_{op}\bar{x} = 40.5 - (7.05)(5.5) = 1.72$$

Por lo tanto la ecuación de la recta óptima es:

$$M = (7.05)V + 1.75$$

Para graficar la recta se tiene el punto (0, 1.72) que es la ordenada al origen, y calcularemos el punto para $V = 10$.

$$M = (7.05)10 + 1.72 = 70.5 + 1.72 = 72.22$$

La gráfica de la recta óptima se muestra en la figura (5.8).

Ahora los valores de y_o para la recta óptima son:

M_{op}	V_{op}
8.775	1
15.825	2
22.875	3
29.925	4
36.975	5
44.025	6
51.075	7
58.125	8
65.175	9
72.225	10

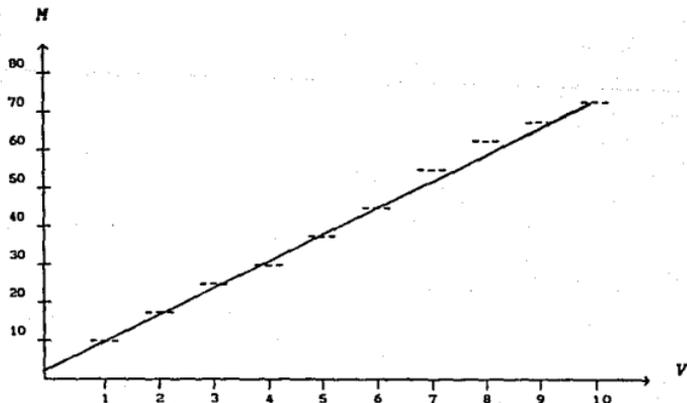


FIG. (5.8).

Así que:

$$\delta y = \left[\frac{29.003}{8} \right]^{1/2} = 1.93$$

$$\delta m = \left[\frac{1}{(38.5 - 30.25)10} \right]^{1/2} (1.93) = 0.21$$

$$\delta b = \left[\frac{38.5}{10(8.25)10} \right] (1.93) = 1.31$$

por lo que se tiene:

$$m_{op} = \frac{M}{V} = \rho_{op} = (7.05 \pm 0.21)$$

de aquí se obtiene el modelo matemático óptimo:

$$M \pm \delta M = (7.05 \pm 0.21)V + (1.72 \pm 1.31)$$

5.3 MODELOS POTENCIALES.

De la figura (5.1), se observa que no es fácil decidir cuales son los parámetros para una curva de cualquiera de estas formas que se obtienen experimentalmente. En el modelo del tipo potencial, cuando se conoce el parámetro del exponente en el modelo: $y = ax^n$ se puede transformar en una representación lineal por medio de un cambio de variable. Si se conoce el exponente n , se propone el cambio siguiente: $\beta = x^n$. Por lo que la ecuación para sería: $y = a\beta$, donde se reconoce la ecuación de una recta de pendiente a , y ordenada al origen igual a cero.

Veámoslo en el siguiente ejemplo: se hace rodar un balín por un riel de canal en plano inclinado. Para distancias fijas se miden los tiempos empleados en recorrerlas, obteniéndose los siguientes datos:

d (cm)	t (1/100 seg)
10.0±0.05	3.1 ± 0.1
20.0±0.05	4.5 ± 0.1
30.0±0.05	5.4 ± 0.1
40.0±0.05	6.3 ± 0.1
50.0±0.05	7.1 ± 0.1

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.9).

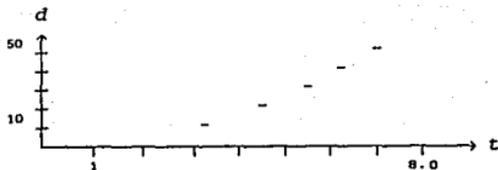


FIG. (5.9).

Considerando que la relación es del tipo cuadrática, se hace el cambio de variable de la forma siguiente: $\beta = t^2$, por lo que los nuevos datos serán:

d (cm)	t^2 (seg)
10	9.6
20	21.2
30	29.9
40	39.9
50	50.4

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.10).

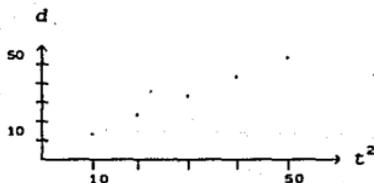


FIG. (5.10).

Con lo cual el modelo para nuestro experimento será, y dado que $m = 1$:

$$d = t^2$$

No es siempre posible adaptar una recta a un conjunto de datos experimentales. Ahora consideremos por ejemplo, que las gráficas de las figuras (5.11a) y (5.11b) representan dos conjuntos de datos con incertidumbres de dos experimentos.

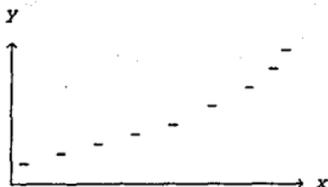


FIG. (5.11a).

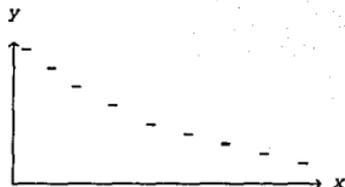


FIG. (5.11b).

Es posible pensar que las curvas más simples que puedan adaptarse a este conjunto de datos experimentales de acuerdo con los criterios establecidos con anterioridad sean funciones del tipo: $y = ax^n$, denominadas potenciales, entre las cuales se encuentran la parábola y la hipérbola.

Todas las curvas de este tipo, con $n > 0$, hacen que $y \rightarrow 0$ cuando $x \rightarrow 0$, y $y \rightarrow \infty$ cuando $x \rightarrow \infty$. Para estas mismas curvas si $n < 0$, $y \rightarrow 0$, si $x \rightarrow \infty$, y $y \rightarrow \infty$ si $x \rightarrow 0$.

Si en el conjunto de datos experimentales se pueden adaptar curvas del tipo potencial, es difícil decidir los valores de a y de n . No necesariamente la curva toca todos los puntos experimentales, y además la apariencia de estas depende de las escalas elegidas para representarlas en la gráfica.

Consideremos el siguiente experimento: se tomaron un conjunto de láminas de hierro, con forma de cuadrado, se pesaron para conocer su masa, y se midieron sus lados. Luego se desea encontrar la relación entre la masa y el lado. Los datos obtenidos son los siguientes:

M (gr) ± 0.05	L (cm) ± 0.05
3.0	1.0
12.0	2.0
30.0	3.0
50.0	4.0
82.0	5.0
120.0	6.0
160.0	7.0
205.0	8.0
260.0	9.0
310.0	10.0

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.12).

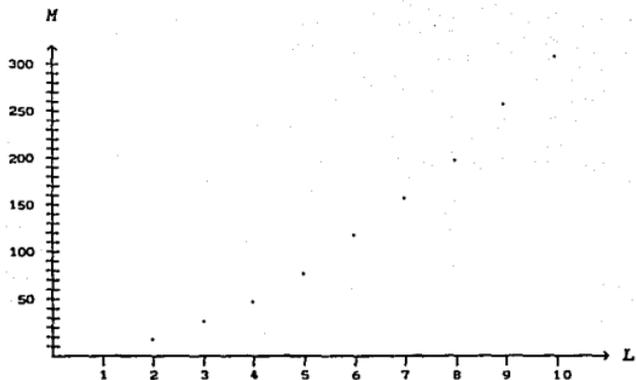


FIG. (5.12).

Obteniendo los logaritmos de los datos, se tiene:

$\ln M$	$\ln L$
1.10	0.00
2.48	0.69
3.40	1.10
3.91	1.39
4.41	1.61
4.79	1.79
5.08	1.95
5.32	2.08
5.56	2.20
5.74	2.30

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.13).

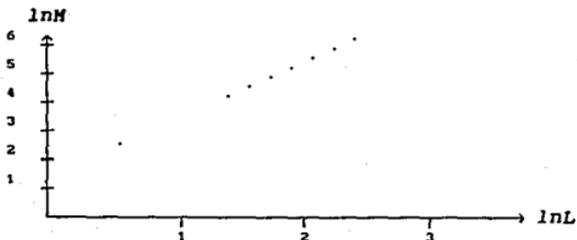


FIG. (5.13).

Se utilizan (2.2, 5.6) y (0, 1.31) para obtener el valor de la pendiente, entonces:

$$m = \frac{5.6 - 1.31}{2.2 - 0} = 1.95$$

La ordenada al origen es de 1.31 y su $\ln^{-1}(1.31) = 3.71$, así $n = 1.95$ y $a = 3.71$, por lo que el modelo matemático será:

$$M = 3.71 L^{(1.95)}$$

Este modelo no es nada óptimo, pero ya que se linealizó, se puede optimizar por mínimos cuadrados. Si aplicamos lo visto en el punto 5.3, tendremos el siguiente cuadro de datos:

	$\ln M$	$\ln L$	$(\ln M)(\ln L)$	$\ln L^2$
	1.10	0.00	0.00	0.00
	2.48	0.69	1.72	0.48
	3.40	1.10	3.74	1.21
	3.91	1.39	5.43	1.93
	4.41	1.61	7.10	2.59
	4.79	1.79	8.57	3.20
	5.08	1.95	9.91	3.80
	5.32	2.08	11.07	4.33
	5.56	2.20	12.23	4.84
	5.74	2.30	13.20	5.29
Σ	41.79	15.11	72.97	27.67
V_p	4.179	1.511	7.297	2.767

Aplicando la ecuación para la pendiente óptima:

$$m_{op} = \frac{\overline{\ln M \cdot \ln L} - \overline{\ln M} \cdot \overline{\ln L}}{\overline{\ln L^2} - (\overline{\ln L})^2} = \frac{7.297 - (4.179)(1.511)}{2.767 - (1.511)^2} = \frac{7.297 - 6.314}{2.767 - 2.283} = \frac{0.983}{0.484} = 2.03$$

La ordenada al origen óptima será:

$$\bar{y} = m_{op} \bar{x} + b_{op}$$

para nuestro caso:

$$b_{op} = \ln M - (2.03)\ln L = 4.179 - (2.03)(1.511) = 1.111$$

El antilogaritmo de $b_{op} = a = \ln^{-1}(1.111) = 3.03$

de aquí que el modelo matemático óptimo será:

$$M = (3.03)L^{2.03} = 79.5$$

calculando el logaritmo:

$$\ln 79.5 = 4.37$$

Calcularemos las incertidumbres para la pendiente y la ordenada al origen:

$$\delta y = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - y_0)^2}{n - 2} \right]^{1/2}$$

Así que el valor de acuerdo al modelo óptimo de las $s y_0$ será:

$$s y_0 = \left[\frac{0.0124}{8} \right]^{1/2} = 0.039$$

De tal manera que:

$$\delta m = \left[\frac{1}{10(0.484)} \right]^{1/2} = 0.039(0.206)^{1/2} = 0.039(0.455) = 0.02$$

y la de b:

$$\delta b = \left[\frac{2.767}{10(0.484)} \right]^{1/2} = 0.039(0.572)^{1/2} = 0.039(0.756) = 0.03$$

Con lo cual el modelo matemático con incertidumbre será:

$$M \pm \delta M = (3.03 \pm 0.03)L^{(2.03 \pm 0.017)}$$

5.4 MODELOS EXPONENCIALES.

Hay casos en los cuales no se presentan ningún indicio de los parámetros de la curva que aparece en el gráfico. Ahora bien supongamos una relación potencial del tipo: $y = ax^n$, desconociendo los parámetros a y n . ¿Cómo los podemos encontrar?.

Una manera sería reduciendo nuestro modelo a una relación lineal. Aplicando logaritmos a la función se tiene:

$$\ln y = \ln(ax^n)$$

$$\ln y = \ln a + \ln x^n = \ln a + n \ln x$$

Esta ecuación tiene la forma de la ecuación de la recta, con ordenada $b = \ln a$ y pendiente $m = n$. Si en lugar de graficar los valores de los datos experimentales, graficamos los logaritmos de los datos se tendrá una recta de pendiente:

$$m = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{\ln x_2 - \ln x_1}$$

Si regresamos al modelo original, se ve que la pendiente será el exponente n , y el \ln^{-1} será el coeficiente a .

Para los datos de nuestro ejemplo tenemos:

Ind	Int
2.3	1.13
2.99	1.5
3.4	1.7
3.7	1.84
3.9	1.96

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.14).

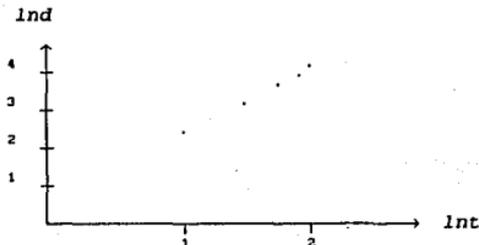


FIG. (5.14).

La pendiente tendría el valor de:

$$m = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{\ln x_2 - \ln x_1} = \frac{3.9 - 3.4}{1.96 - 1.7} = 1.973 \approx 2$$

La ordenada al origen es cero, así que el coeficiente será $\ln^{-1} = 1$, por lo que el modelo matemático es: $d = t^2$, que es el que anteriormente se obtuvo.

Si nos encontramos en un experimento con una gráfica cuya ecuación sea del tipo exponencial, es decir: $y = ae^{nx}$, para linealizar esta ecuación aplicamos nuevamente logaritmos:

$$y = ae^{nx}$$

$$\ln y = \ln(ae^{nx}) = \ln a + \ln e^{nx} = \ln a + nx \ln e$$

$$\ln y = \ln a + nx$$

que representa la ecuación de una recta, con ordenada $b = \ln a$ y pendiente $m = n$. El valor para la pendiente será:

$$m = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{x_2 - x_1}$$

Para este caso se graficarán los logaritmos de la variable medida y , contra los valores medidos x . El valor de la pendiente es el valor del coeficiente del exponente, que es n , y $\ln^{-1} = a$.

Consideremos el siguiente experimento. Se analiza la descarga

de un capacitor a través de un resistor, se midieron los tiempos correspondientes a ciertos valores predeterminados de la corriente. Los resultados fueron los siguientes:

I (μA)	t (seg)
25 ± 0.5	3.5 ± 0.5
20 ± 0.5	7.0 ± 0.5
15 ± 0.5	12.0 ± 0.5
10 ± 0.5	19.0 ± 0.5
5 ± 0.5	31.5 ± 0.5

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.15).

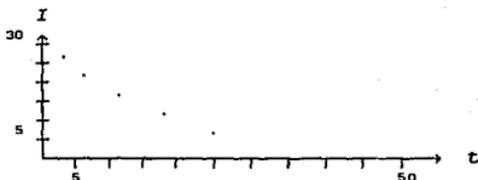


FIG. (5.15).

Para linealizar el modelo se tienen que obtener los logaritmos de las corrientes $I(\mu A)$, y graficarlos contra los tiempos. Con lo cual los nuevos datos serán:

$\ln I$	t
3.22	3.5
3.0	7.0
2.71	12.0
2.3	19.0
1.61	31.5

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.16).

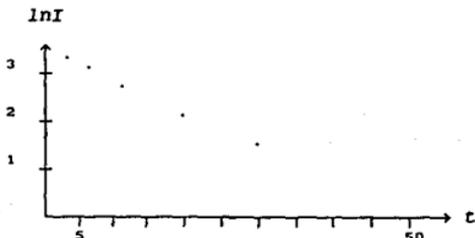


FIG. (5.16).

El valor de la ordenada al origen es 3.4, por lo que el valor

del coeficiente será: $a = \ln^{-1}b = \ln^{-1}(3.4) = 30$.

El valor de la pendiente será:

$$m = \frac{\ln I_2 - \ln I_1}{x_2 - x_1} = \frac{1.61 - 3.22}{31.5 - 3.5} = 0.057.$$

Así el modelo matemático será: $I = 30e^{-0.057t}$.

Por medio de las técnicas de cambio de variable aplicando las escalas logarítmicas y semilogarítmicas, nos permite linealizar una gran cantidad de resultados experimentales.

Existen muchos fenómenos naturales en los que la variación de una magnitud en un intervalo de tiempo dado, es proporcional al valor de dicha magnitud al principio del intervalo. Consideremos el siguiente ejemplo: en un cierto momento ($t = 0$), existen en cultivo 10^3 células. Transcurridos 5 minutos la población aumenta a 2.10^3 células. Cada intervalo de 5 minutos el número de células se duplica. Si P es la población y t es el número de intervalos de 5 minutos, tendremos los siguientes datos:

P	t
1	0
2	1
4	2
8	3
16	4
32	5
64	6
128	7
256	8
512	9

La gráfica de estos datos se muestran en la figura (5.17).

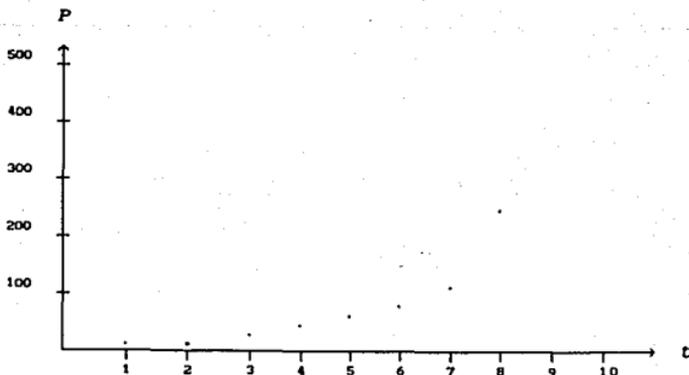


FIG. (5.17).

De acuerdo a lo visto anteriormente, la relación no es

lineal, ni del tipo potencial. Si esperamos una relación exponencial, la gráfica del $\ln P$ contra el número 0 de intervalo de tiempo, debe de ser una recta. La nueva lista de datos será:

$\ln P$	t
0.000	0
0.693	1
1.386	2
2.079	3
2.772	4
3.465	5
4.158	6
4.852	7
5.545	8
6.238	9

La gráfica de estos datos se muestra en la figura (5.18).

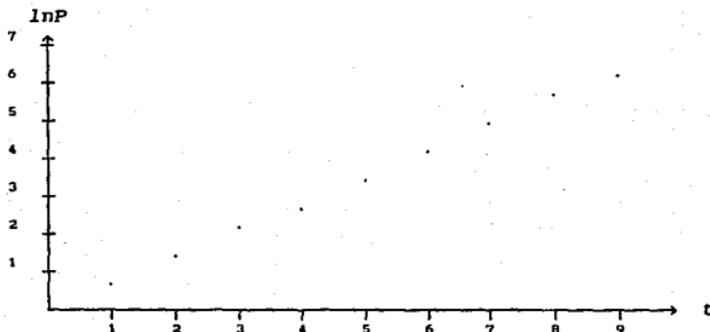


FIG. (5.18).

Con lo cual el modelo corresponde a un modelo exponencial, la pendiente de la recta será el coeficiente del exponente y el antilogaritmo de la ordenada al origen será el coeficiente de la relación: $y = ae^{bx}$, con lo que la pendiente será:

$$m = \frac{\ln y_2 - \ln y_1}{x_2 - x_1} = \frac{6.238 - 0.6693}{9 - 1} = 0.693$$

La ordenada al origen es cero y el antilogaritmo de cero es uno, por lo que el modelo matemático se escribe de la forma:

$$P = e^{0.693t}$$

Aunque para estos datos obtendremos el mismo resultado, vamos a obtener el modelo óptimo por mínimos cuadrados, para los siguientes datos:

P	t	lnPt	t ²	lnP
1	0	0.000	0	0.000
2	1	0.693	1	0.693
4	2	2.772	4	1.386
8	3	6.237	9	2.079
16	4	11.088	16	2.772
32	5	17.325	25	3.465
64	6	24.948	36	4.158
128	7	33.964	49	4.852
256	8	44.360	64	5.545
512	9	56.142	81	6.238
Σ	45	197.529	285	31.19
v _p	4.5	19.752	28.5	3.119

Con estos datos el valor de la pendiente será:

$$m_{op} = \frac{\overline{\ln Pt} - \overline{\ln P} \bar{t}}{\bar{t}^2 - (\bar{t})^2} = \frac{19.753 - (4.5)(3.119)}{28.5 - (4.5)^2} = \frac{19.753 - 14.036}{28.5 - 20.25} =$$

$$= 0.693$$

La ordenada al origen es: $y - m_{op}x = b_{op}$, por lo que:

$$b_{op} = 3.119 - 0.693(4.5) = 0$$

Luego el $\ln^{-1}(1) = 0$, así que el modelo matemático óptimo será:

$$P = e^{0.693t}$$

que es el mismo obtenido anteriormente.

CAPITULO VI

DESCRIPCION DEL SISTEMA

INTRODUCCION

Los instrumentos en su gran mayoría, tienen el propósito común de dar información de la conducta de una cantidad variable, la cual se denomina con el nombre de parámetro, que va a ser medida. Esta información normalmente se obtiene por una respuesta del instrumento de medición, que puede ser de varios tipos: la deflexión de una aguja en un medidor, la lectura de números en una pantalla digital, la gráfica de una señal en el papel de un graficador o de un monitor, etc. En forma general podemos decir que los instrumentos, son sistemas que realizan la función de medir, ya sea por medio de una indicación, como en el caso de los lectores de aguja o digitales, o por medio de una grabación, como en el caso de una graficadora.

Otra de las funciones que los sistemas de medida pueden realizar, es la de ayudar a los sistemas de control, tanto a nivel de la gran industria, como de la investigación científica.

De esta forma podemos clasificar a los instrumentos de medida en tres grandes grupos:

a.- Los instrumentos de medición, cuya única función del sistema es la de indicar una lectura.

b.- Los instrumentos que además de indicar una lectura pueden grabarla.

c.- Los instrumentos que además de indicar una medida y grabarla, pueden controlar sistemas.

Hemos dicho que un instrumento de medida lo podemos ver como un sistema que realiza una determinada función. ¿ Pero de qué vamos hablar cuando hablemos de un sistema ?

Vamos a definir un sistema de la siguiente manera:

Un sistema es un conjunto de partes relacionadas entre sí, para desarrollar una función determinada. De esta manera podemos ver que cosas tan simples como puede ser un encendedor, es un sistema. El encendedor es un conjunto de partes: el tanque de gas, la piedra, el raspador de la piedra, la válvula de escape del gas, etc. Todas estas partes están relacionadas entre sí, por ejemplo la piedra, el raspador, la válvula del gas, etc., se colocan en relación tal que permiten con el tanque de almacenamiento y el gas, realizar la función determinada de encender una flama. Así que nuestro encendedor cumple con la definición de un sistema, es un sistema.

Considerando lo anterior vemos que un instrumento de medida es un sistema, ya que consiste en un conjunto de partes relacionadas entre sí para realizar determinada función, que es la de medir.

Todo sistema se puede ver como una caja negra que tiene entradas y salidas. La forma esquemática de representar un sistema se muestra en la figura (6.1).

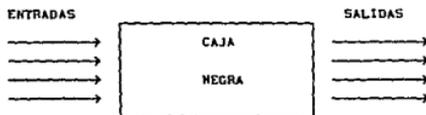


FIG. (6.1)

Ahora vamos a definir los elementos de un sistema:

Entrada.- Es el estímulo aplicado a un sistema por una fuente de energía externa, usualmente para producir una respuesta específica del sistema. En el ejemplo del encendedor, la entrada al sistema es la fricción del raspador contra la piedra.

Salida .- Es la respuesta obtenida de un sistema. Esta puede o no ser igual a la respuesta específica implicada por la entrada. En ejemplo del encendedor, la respuesta puede ser que encienda o no la flama.

Los sistemas se pueden clasificar de acuerdo a su configuración en dos tipos:

Gasa abierta.- son aquellos en los cuales la acción del sistema es independiente de su respuesta.

Gasa cerrada.- son aquellos en los cuales la acción del sistema depende de alguna forma de la salida. Estos sistemas se conocen también como sistemas retroalimentados.

Retroalimentación.- es la propiedad de un sistema de gasa cerrada, que permite que la salida o cualquier otra variable del sistema sea comparada contra la entrada de éste, de tal manera que la acción del sistema se pueda establecer como una función de la entrada y la salida. En forma general diremos que en un sistema existe retroalimentación, cuando hay una secuencia cerrada de causas y efectos entre las variables del sistema.

La retroalimentación lo que le dá a un sistema es lo siguiente:

a.- Aumenta la precisión.

- b.- Reduce la sensibilidad de la relación de entrada salida a las variaciones de las características del sistema.
- c.- Reduce los efectos no lineales. Ruido.
- d.- Incrementa el ancho de banda. Su capacidad de respuesta en frecuencia.
- e.- Tiende a oscilar.

Podemos considerar otros tipos de sistemas empleados en instrumentación como son:

Sistemas reguladores automáticos.- estos son sistemas de retroalimentación en los cuales, la entrada de referencia o la salida deseada es siempre constante o varían lentamente con el tiempo y en los cuales la acción fundamental es mantener la salida en un valor dado, aún en presencia de disturbios.

Sistemas adaptivos.- cuando los efectos de pequeños cambios en las características dinámicas se atenúan en un sistema retroalimentado, si los cambios de los parámetros de un sistema son significativos, para que el sistema sea satisfactorio, ha de tener la capacidad de adaptación. Esto implica que el sistema posee la habilidad de un autoajuste de acuerdo con los cambios no predecibles en las condiciones de ambiente o de estructura.

Estos sistemas tienen que identificar en todo tiempo las características dinámicas, de tal manera que los parámetros se puedan ajustar para obtener características óptimas.

Sistemas que aprenden.- son sistemas que tienen la capacidad de aprender. Estos sistemas con el empleo de las computadoras se usan en sistemas de control para medida de experimentos y procesos industriales.

Sistemas autoorganizados.- se les llama así a aquellos sistemas en los cuales, la reducción de las incertidumbres del control del proceso, se acompañan de información acumulada de las medidas de las entradas y las salidas del sistema.

Se han reportado en la literatura sistemas con mayores grados de sofisticación, sobre todo en los robots industriales y máquinas inteligentes, por medio de la inteligencia artificial. Estos sistemas implantados por las modernas computadoras digitales, estrategia para realizar las funciones delicadas de un sistema. Los procesos biomédicos y biónicos con sus modelos incompletos y muy complejos de sistemas biológicos, son aplicaciones de la instrumentación de medida y control de nuestro tiempo.

De esta manera, el último grupo de nuestra clasificación de instrumentos que incluye la posibilidad de control, forman la base de los sistemas automáticos, en los cuales los procesos se controlan automáticamente por medio de la retroalimentación de la información de los instrumentos de medida.

6.1 DESCRIPCION DEL SISTEMA.

Este sistema de laboratorio por computadora se diseñó para que funcionara en una microcomputadora APPLE II-C, aunque puede funcionar en cualquier microcomputadora que tenga un puerto en paralelo o un puerto de juegos en el cual se pueda conectar el sistema, además de programar el Software para el sistema en el lenguaje que se desee y un simple arreglo en el Hardware del sistema.

Nuestro sistema consta de un unidad central tipo Base Instrumentation Nuclear (BIN) Canberra en el cual se encuentran las fuentes de poder para el sistema, la conexión principal al puerto de la computadora y los conectores para los módulos de instrumentación del tipo Nuclear Instrumentation Modul (NIM) Canberra del laboratorio por computadora.

Como anteriormente se explicó, nuestro sistema puede verse como una caja negra en la cual existen entradas y salidas. Es decir, existe un estímulo aplicado por una fuente de energía externa al sistema (la medición de alguna conducta por ejemplo), el cual será codificado dentro de nuestro sistema y se enviará a la computadora por medio de un PIA (Parallel Interface Adapter), o sea un puerto en paralelo, la computadora lo recibe de acuerdo al paquete del Software empleado para el sistema y esta lo presenta en el monitor o lo graba en disco, según se desee.

En la figura (6.2) se muestra la forma esquemática de nuestro sistema.

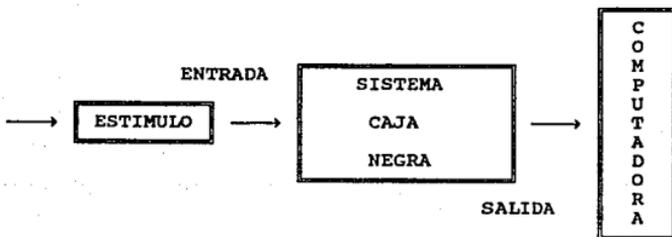


FIGURA (6.2).

Así pues nuestro sistema está clasificado dentro de los cuales la acción del sistema es independiente de su respuesta, o sea, es un sistema de Gasa Abierta.

Si en nuestro sistema quisieramos generar control, de tal manera de que la acción del sistema depende de alguna forma de la salida, nuestro sistema se clasificaría como un sistema de Gasa Cerrada.

En dado caso de que el sistema fuera clasificado como un sistema de Gasa Cerrada, entonces el sistema:

- a.- Aumenta la precisión.
- b.- Reduce la sencibilidad de la relación de entrada salida a las variaciones de las características del sistema.
- c.- Reduce los efectos no lineales. Ruido.
- d.- Incrementa el ancho de banda. Su capacidad de respuesta en frecuencia.
- e.- Tiende a oscilar.

El sistema de Laboratorio por Computadora, consiste de los siguientes módulos de instrumentación:

- a.- Un multímetro digital de tres cifras significativas con las siguientes funciones:

Voltímetro de corriente directa en tres intervalos de lectura: 0-2V, 0-20V, 0-200V (volts).

Voltímetro de corriente alterna RMS verdadero en tres intervalos de lectura: 0-2V, 0-20V, 0-200V (volts).

Ohmetro en los siguientes intervalos de lectura: 0-1K Ω , 0-10K Ω , 0-100K Ω , 0-1M Ω (ohms).

Amperímetro de corriente directa en tres escalas: 0-200mA, 0-20mA, 0-2A (ampers).

Amperímetro de corriente alterna en tres escalas: 0-200mA μ , 0-20 mA, 0-2A (ampers).

- b.- Un frecuencímetro digital de tres cifras significativas con las siguientes escalas: 10KHz, 100KHz, 1MHz (hertz).
- c.- Un pHmetro digital a 1/10 de pH de precisión, con lectura simultánea de mV, y ajuste por temperatura.
- d.- Un cronómetro digital de 1/100 de seg de precisión, con posibilidad de operación manual o automático.
- e.- Un fotómetro con medidas relativas de intensidad luminosa con precisión de 1/100 de %.
- f.- Un termómetro con precisión de 1/10 de C y con intervalo de lectura de -50 C a 150 C
- g.- Un fotolorímetro con medidas relativas de intensidad luminosa con precisión de 1/100 de %.
- h.- Un conductímetro con precisión de 1/100 de mho.

Además de:

- i.- Un paquete de Software para la operación de todos los sistemas.
- j.- Un graficador, con velocidad máxima de 10 Hz.
- k.- Un graficador sumador, con velocidad máxima de 10Hz.
- l.- Un graficador múltiple, con velocidad máxima de 10Hz.

Cada módulo de instrumentación queda clasificado como:

Instrumentos que son capaces de medir alguna conducta y presentar la lectura en el monitor de la computadora, para que después pueda retenerlos en la memoria de la computadora y si se quisiera, grabarlos en disco para algún análisis posterior. En general toda la instrumentación se clasifica como sistemas de Gasa Abierta.

6.2 EMPLEO Y SERVICIO DEL SISTEMA.

Esta sección contiene la información requerida para instalar: paquete de Software, módulos de instrumentación, operar y conectar el sistema de Laboratorio por Computadora. Además de las especificaciones de las componentes eléctricas y materiales, para poder hacer alguna reparación sencilla.

El sistema como anteriormente se dijo consiste de una unidad central principal llamado BIN y de una serie de instrumentos llamados NIM los cuales se conectan al BIN.

El voltaje requerido para el sistema BIN es de 110, 130 Volts \pm 10 %, dentro de un intervalo de frecuencia de 60 Hertz \pm 20 %, con una potencia disipada de 12 Watts aproximadamente.

Lleva un fusible de 1 Amp. - 12 V. Es preferible conectarlo en un supresor de picos debido a la variación de voltaje existente en la Ciudad de México. El sistema es conectado por medio de un cable del tipo estándar a una toma energía.

Precaución: si llegase a fundir el fusible, remplazarse con las mismas especificaciones que anteriormente han sido mencionadas.

La temperatura en la cual puede trabaja el sistema es del orden de -10 a 200°C, la cual no altera el funcionamiento de los módulos de instrumentación; por otro lado la densidad de humedad relativa es muy poco variante.

Nota: el intervalo de temperatura en los que opera cada módulo de instrumentación esta dado por las especificaciones de los integrados que utilizan.

La unidad central mide 25 cm de altura por 21 cm de ancho por 32 cm de largo aproximadamente.

La unidad central lleva dos transformadores para la alimentación de los módulos de instrumentación, con primario para 127 Volts y con salida de doble devanado uno de 4.5 Volts con tap central a 600 mA y el otro de 15 Volts con tap a 1 Amper.

La unidad central tiene acceso a cuatro módulos de instrumentación. Todos los módulos de instrumentación están alimentados por la unidad central, ya que en está, están las fuentes de alimentación y los conectores tipo peine de 18 peines para los módulos.

El procedimiento para la instalación y algunas recomendaciones se darán a continuación:

La unidad central se conecta a la computadora vía un cable en un PIA o un puerto de jefos. El conector del PIA es del tipo D de 9 pins hembra. El conector de nuestro sistema es del tipo D de nueve pins hembra. El cable conector lleva dos conectores del tipo D de 9 pins machos en los extremos. Dicho cable lleva dos señales, un voltaje de +5 Volts y una Tierra.

Precaución: conectar este cable cuando la computadora y nuestra unidad central estén apagados.

Conectar los módulos de instrumentación NIM que se quieren usar dentro de la unidad central BIN.

Para conectar la microcomputadora se requiere leer las especificaciones de la misma. Nota: leer el manual de la computadora.

Es recomendable una breve explicación del sistema completo, por alguna persona que tenga conocimientos del mismo, antes de ponerlo en funcionamiento.

Se introduce el disco flexible del Software para que funcione el Laboratorio por Computadora dentro de la microcomputadora. Luego se encienden ambos (sistema y micro). Dentro de este Software vienen las demás instrucciones que se van llevando a cabo según se este trabajando, entre las cuales existen: que instrumento se desea utilizar y en que puerto se desea utilizarlo, si se desea cambiar de instrumento, en algunos casos que intervalo se desea, si se desea abandonar la medición, si se desea salir del sistema de Laboratorio por Computadora, dar algún dato, etc. Todo esto se mostrará en el capítulo sobre el Software.

Una vez corrido el Software hay que encender los módulos de instrumentación que van a ser utilizados.

Con esto podemos empezar a capturar datos de alguna experimentación que se realice dentro de un laboratorio de Física, Química o Biología, con nuestro Laboratorio por Computadora.

El despliegue de nuestras mediciones estarán en el monitor de la microcomputadora.

La explicación de este proceso se puede ejemplificar de una manera más clara en el diagrama de la figura (6.3).

Precaución: si se desea cambiar algún módulo por otro se requiere que la unidad central se encuentre apagado, a lo igual que los módulos de instrumentación.

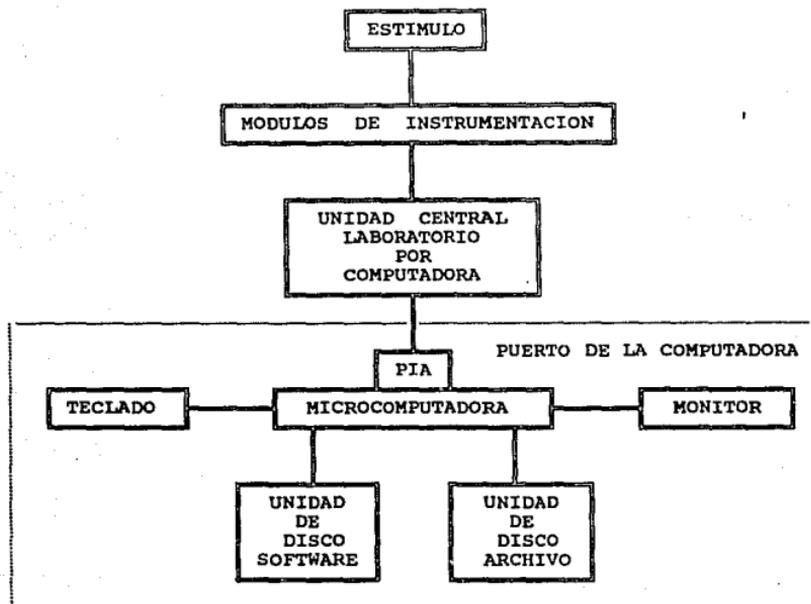


FIGURA (6.3).

Es recomendable que mientras no estén en uso los demás módulos de instrumentación, estos se conserven guardados y cubiertos en un lugar seguro.

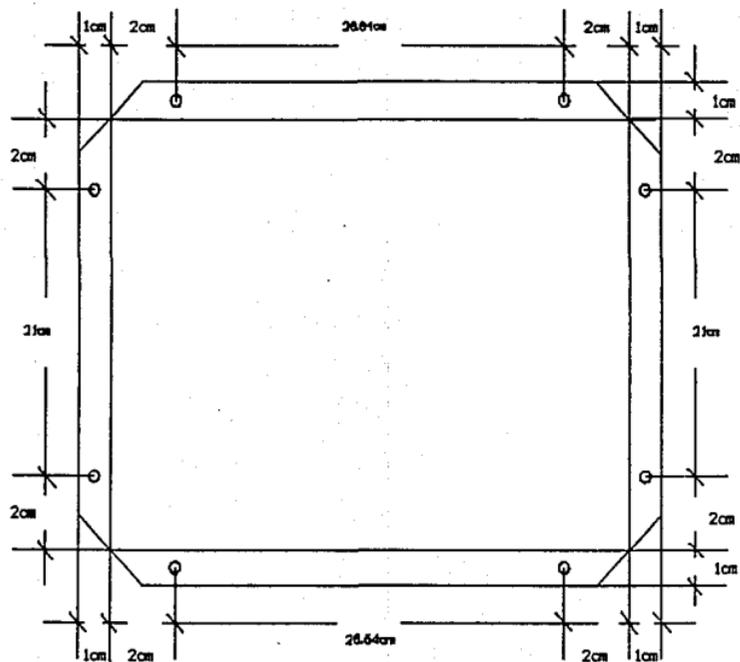
Para poder reparar algún desperfecto dentro de la unidad central, es necesario tener conocimiento de la partes que componen al sistema, tanto componentes eléctricas como materiales. Ya que al remplazar alguna componente eléctrica o material, tiene que ser de la misma especificación que la que se encontraba en el sistema.

Esto se podrá ver dentro de la lista de componentes eléctricas, lista de materiales o bien en los planos del sistema.

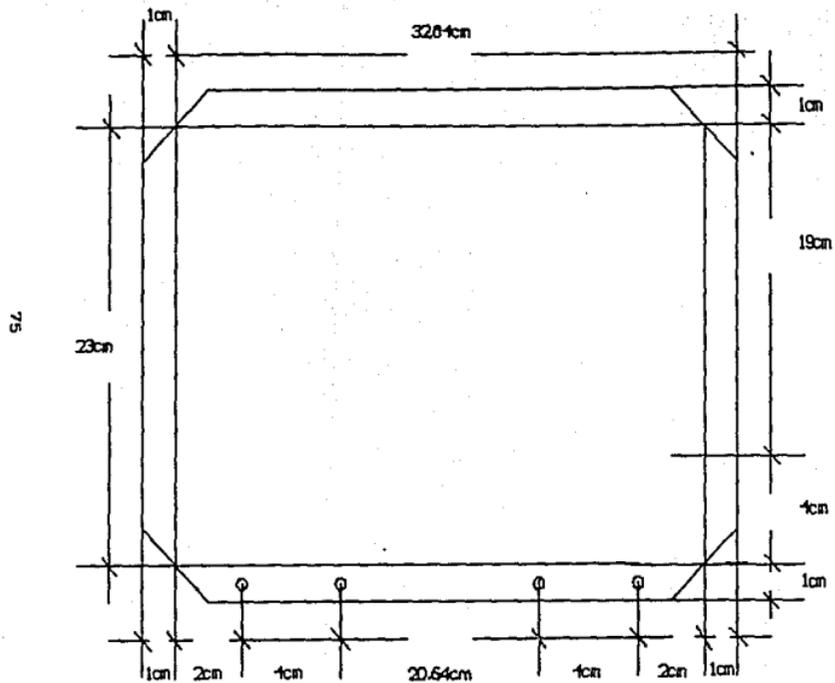
Nota: para prevenir daños al sistema de cualquier especie hay que evitar que se hagan reparaciones impropias, para lo cual es siempre recomendable leer las referencias de las partes a reemplazar.

Precaución: para poder abrir la unidad central y hacer alguna reparación, se deberán encontrar todos los switches apagados y desconectar la unidad central de la microcomputadora y de toda fuente de energía.

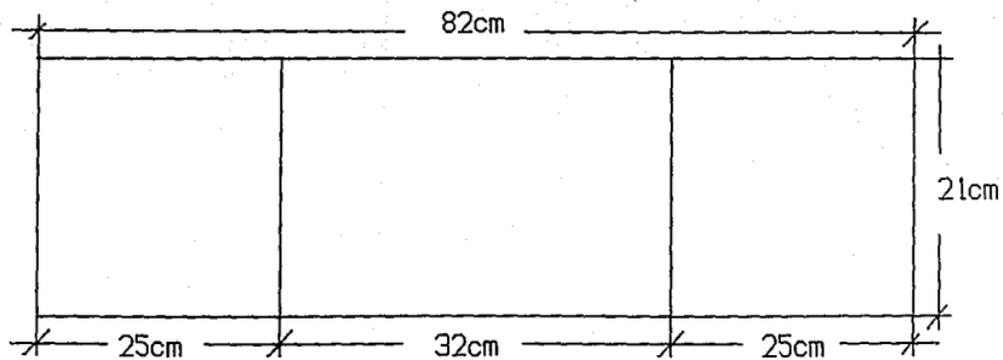
A continuación presentaremos los planos de la unidad central, el diagrama esquemático y el impreso de las fuentes de alimentación y por último la lista de componentes eléctricas y materiales.



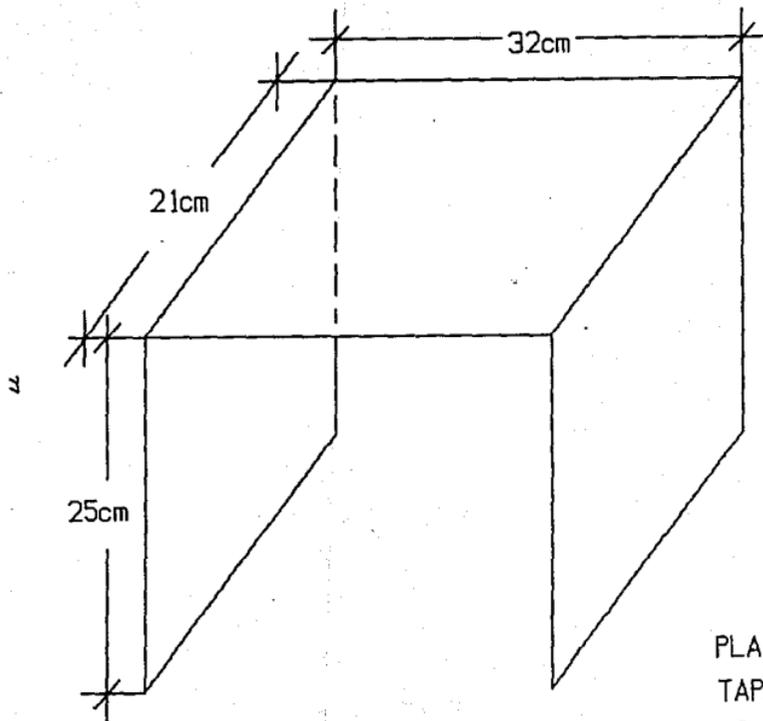
PLANO 6.1
CHAROLA INTERIOR BIN.
C.I. U.N.A.M.
NO ESTA A ESCALA



PLANO 6.2
 TAPA POSTERIOR BIN.
 C.I. UNAM.
 NO ESTA A ESCALA

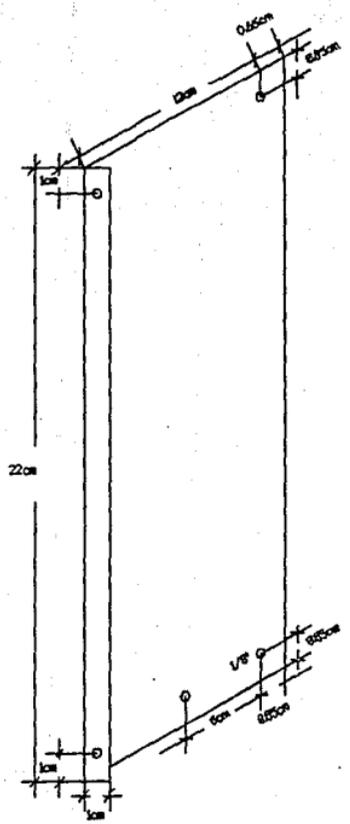


PLANO 6.3.1
TAPA BIN.
C.I. UNAM.
NO ESTA A ESCALA.

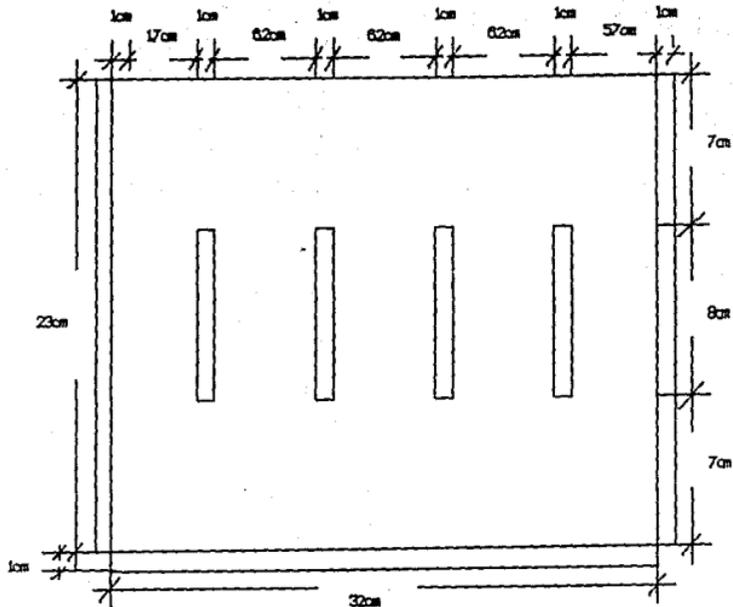


PLANO 6.3.2
TAPA BIN
C.I. U.N.A.M.
NO ESTÁ A ESCALA.

78

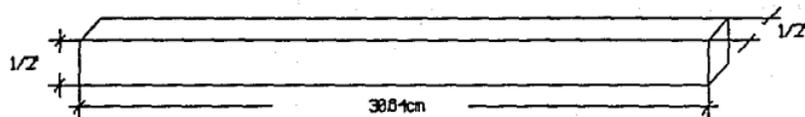


PLANO 6.4
TAPA LATERAL BIN
C.I. UNAM
NO ESTA A ESCALA

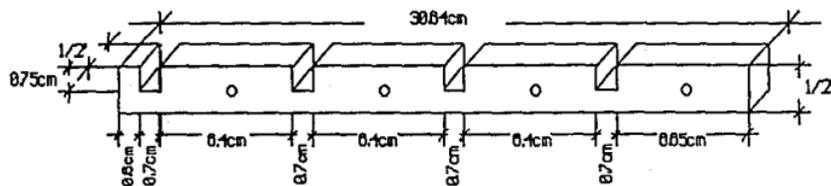


PLANO 6.5
TAPA CONECTORES DEL BIN
C.I. U.N.A.M.
NO ESTA A ESCALA.

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



08

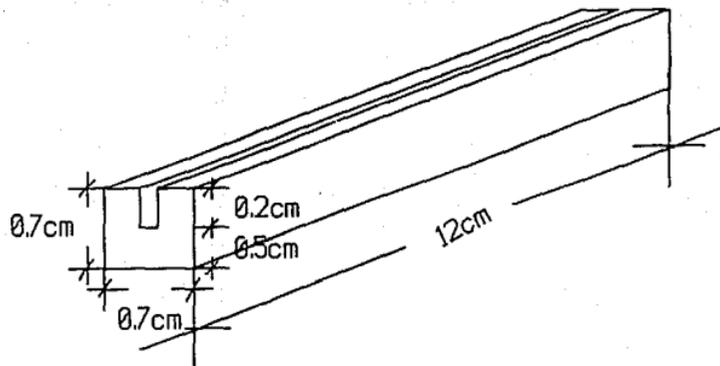


PLANO 6.6

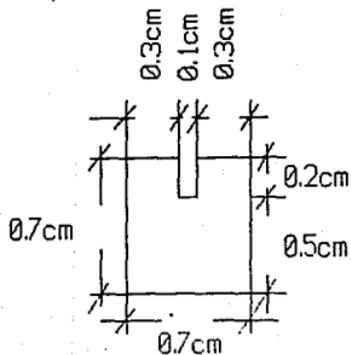
BARRA DE ALUMINIO 1/2" X 1/2"

C.I. U.N.A.M.

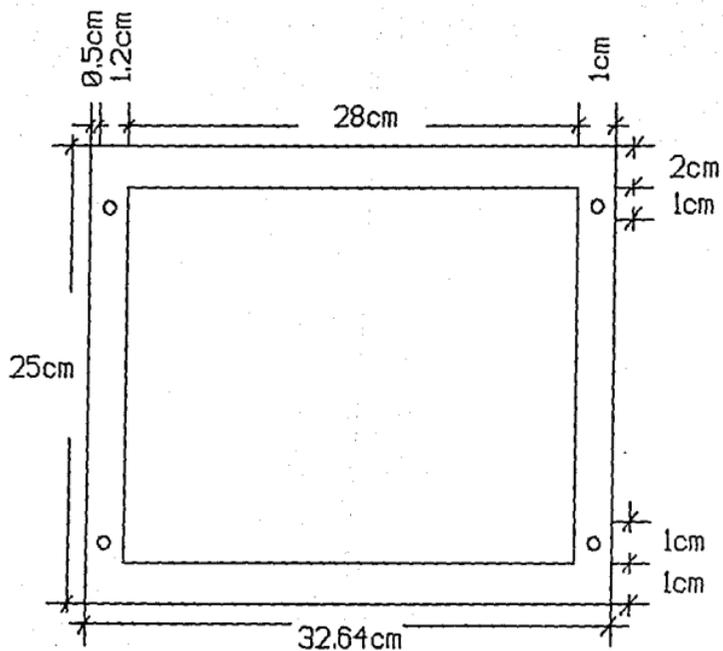
NO ESTA A ESCALA.



18



PLANO 6.7
 GUIAS DE LOS NIM
 ACRILICO 0.7cm X 0.7cm
 C.I. UNAM.
 NO ESTA A ESCALA.



PLANO 6.8

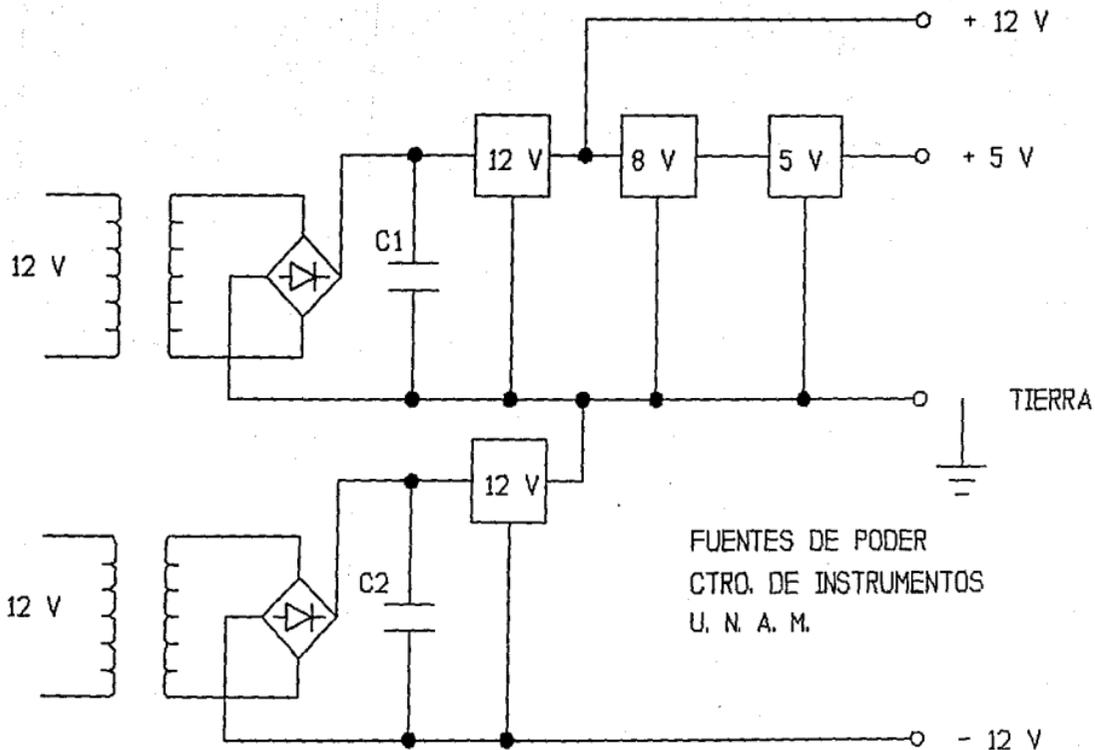
FRONTAL DEL BIN

ACRILICO

C.I. UNAM.

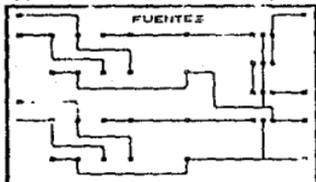
NO ESTA A ESCALA.

CB



FUENTES DE PODER
CTRO. DE INSTRUMENTOS
U. N. A. M.

1X checkplot 9 Jan 92 12:01:22
L.fuentes.pcb
v1.4 r1 holes: 40 component side
approximate size: 2.75 by 1.70 inches



2X checkplot 9 Jan 92 12:05:02
D:fuentes.pcb
v1.4 r1 holes: 45 component side
approximate size: 2.75 by 1.70 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DE LA UNIDAD CENTRAL BIN.

- 8 Diodos de silicio de 1 amper.
- 1 Diodo emisor de luz color rojo.
- 2 Capacitores electrolíticos de 2200 μ F - 25 volts.
- 2 Transistores
- 1 Transistor
- 1 Transistor
- 1 Conector tipo D de 9 pins. Hembra.
- 2 Conector tipo D de 9 pins. Macho.
- 4 Conectores tipo peine para 18 pins. Hembra.
- 1 Interruptor miniatura de dos polos dos tiros.
- 1 Porta fusible de bayoneta.
- 1 Fusible de 1 Amp. - 125 V.
- 1 Porta led.
- 1 Cable de línea estándar de un metro.
- 2 Metro de cable plano de 4 hilos.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 1 Resistencia de carbón deespositado de 470 ohms con tolerancia del 5%.
- 2 Transformadores con primario para 127 Volts y con salida de doble devanado uno de 4.5 Volts con tap central a 600 Amper y el otro de 15 Volts con tap a 1 Amper.

LISTA DE MATERIALES DE LA UNIDAD CENTRAL.

- 1 Pieza de lámina de 23 x 34.6 cm.
- 1 Pieza de lámina de 26 x 34.6 cm.
- 1 Pieza de lámina de 21 x 82 cm.
- 1 Pieza de lámina de 13 x 22 cm.
- 1 Pieza de lámina de 24 x 34.6 cm.
- 6 Barras de aluminio de 1/2" x 1/2".
- 8 Guías de acrílico de 0.7 x 0.7 cm.
- 1 Marco de 25 x 32.6 cm, con impresión a dos tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 22 Pijas de 1/8" de ϕ .
- 14 Tornillos de cabeza plana de 1/8" de ϕ x 1/2" de largo.
- 14 Tuercas para tornillo de 1/8" de ϕ .
- 4 Tornillos de 1/4" de ϕ .
- 1 Circuito impreso de 1.7" x 2.75".
- 1/2 Metro de soldadura.

6.3 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO.

El principio de funcionamiento para la instrumentación esta basado en la operación de un convertidor Voltaje-Frecuencia el cual se explicará en está sección.

Un diagrama simplificado del convertidor es el que se muestra en la figura (6.4), y consiste de una fuente de corriente interrumpible, un comparador de entrada, y un reloj shot.

La operación de este bloque se puede entender mejor si nos remitimos a los principios de operación de los convertidores Voltaje-Frecuencia. El Comparador de voltaje compara un voltaje de entrada positivo, con un voltaje V_x . Si V_i es mayor, el comparador dispara en reloj shot. La salida del reloj encenderá tanto al transistor de salida de frecuencia, así como a la fuente interrumpible de corriente por un periodo de $t = 1.1R_c C_t$. Durante este periodo, la corriente i fluirá fuera de la fuente de corriente interrumpible y dará un cantidad fija de carga, $Q = it$, dentro del capacitor C_t . Este estará normalmente cargado con un voltaje V_x de un nivel mayor que V_i . Al final del periodo de tiempo, la fuente de corriente se apaga, y el reloj se restaura a si mismo.

PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO
(Convertidor Voltaje - Frecuencia)

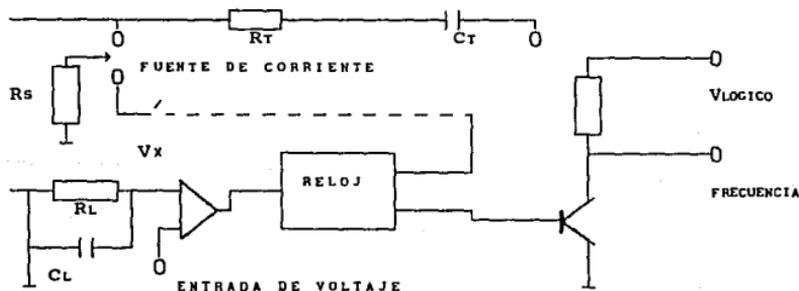


FIG. (6.4).

Ahora no hay corriente fluyendo por el circuito y el capacitor C_t se descargará por la resistencia R_L , hasta que V_x baje del nivel de V_i , luego el comparador disparará el reloj y empezará otro ciclo.

La corriente fluyendo dentro de C_t es exactamente:

$$I_{AVE} = i(1.1R_c C_t) f$$

y la corriente fluyendo dentro de C_t es exactamente:

$$V_x \backslash R_L = V_i \backslash R_L$$

Si V_{IN} se duplica, la frecuencia se duplicará para mantener el balance. Siempre un convertidor voltaje-frecuencia simple, nos puede dar una frecuencia precisamente proporcional al voltaje de entrada, sobre un amplio intervalo de frecuencias.

El diagrama de bloques nos muestra la existencia de una referencia de banda ancha, que nos da un voltaje estable de 1.9V. Este voltaje está bien regulado sobre el intervalo de 3.9 a 40V.

También tiene un coeficiente de temperatura muy bajo, y en forma típica cambia menos del 0.5% en un cambio de 100°C de temperatura.

La bomba de corriente forza a que el voltaje en el pin 2 sea de 1.9 volts, y provoca un flujo de corriente de:

$$i = 1.90V/R_s$$

Para $R_s = 14K$, $i = 135\mu A$. El reflector de corriente de precisión, da una corriente igual a i al interruptor de corriente. Este interruptor, interrumpe la corriente al pin 1, o a la tierra, dependiendo del estado del flip-flop R_s .

La función del temporalizador consiste de un flip-flop R_s , y un comparador de tiempo conectado a los componentes externos de la red RfCt. Cuando el comparador de entrada detecta un voltaje en el pin 7, mayor que el del pin 6, este pone al flip-flop R_s encendido, el cual encenderá a su vez a la fuente de corriente, y al transistor de salida. Cuando el voltaje en el pin 5 pasa a 2.3v, el comparador de tiempo provoca que el flip-flop R_s se resetee, el transistor de reset, se enciende y la fuente de corriente se apaga.

Por lo tanto, si el comparador de entrada detecta que el pin 7 está más alto que el pin 6, cuando el pin 5 cruza por el valor de $2/3$ de V_{cc} , el flip-flop no se resetea, y la corriente en el pin 1 continuará fluyendo, hasta que el voltaje en el pin 6 sea mayor que el del pin 7. Esta condición usualmente se aplica en condiciones de arranque, o en el caso de sobre voltaje en la entrada de señal. Se notará que en el caso de sobre voltaje, la frecuencia de salida será cero, hasta que la señal se recobre en el intervalo de operación.

El transistor de salida actúa para saturar el pin 3 con un resistencia de encendido del orden de 500 Ω . En el caso de sobre voltaje, la corriente de salida se limita activamente a una intensidad de menos de 50 mA.

El voltaje en el pin 2, está regulado a 1.90 volts, para todos los valores de i entre 10 μA a 500 μA . Esta se puede usar como referencia de voltaje para otros componentes, pero es mejor no hacerlo para no disminuir la precisión del convertidor.

El resistor R_{IN} de 100 k Ω , se ha sumado al pin 7, de forma tal que la corriente de polarización en ese pin sea de 80 nA, de forma tal que cancele el efecto de la corriente de polarización en la pata 6, ayudando a tener el mínimo corrimiento de frecuencia.

La resistencia R_s en la pata 2, se puso de más de 12 k Ω .

La resistencia R_e en la pata 2, se puso de más de 12 K Ω .

El capacitor sumado a la pata 7 y conectado a tierra, actúa como un filtro para el voltaje de entrada. El resistor en serie con el capacitor C_u , se emplea para generar un histéresis que ayude al comparador de entrada a tener una linealidad de 0.03%.

En este caso los módulos tienen un convertidor voltaje-frecuencia XR-4151 de Exar Integrated Systems, Inc. figura (6.5).

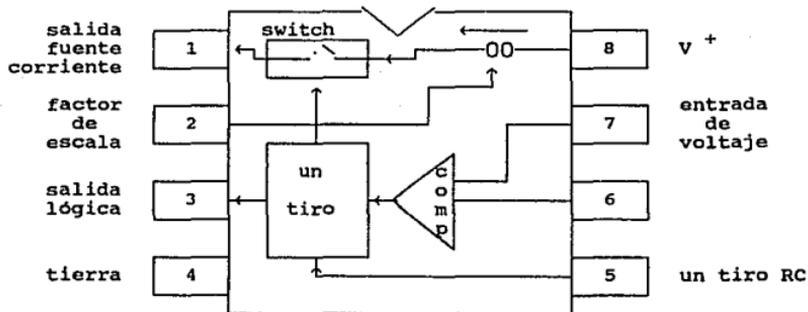


FIG. (6.5).

Cuyas características son las siguientes:

Temperatura de buen funcionamiento: ($\pm 100\text{ppm}/^\circ\text{C}$).

Alta reducción de ruido.

Bajo costo.

Puede ser remplazado por: RC/RV/RM - 4151.

Las características eléctricas se verán en la figura (6.6).

Nota: Este principio de funcionamiento es aplicado a casi todos los módulos de instrumentación, excepto por el cronómetro y el frecuencímetro.

CAPITULO VII

DESCRIPCION DE INSTRUMENTOS

INTRODUCCION

Para poder evitar que la instrumentación sufra algún daño es necesario conocer el mantenimiento preventivo. El mantenimiento preventivo consiste en prevenir las principales causas por las cuales un instrumento deje de funcionar adecuadamente. Para poder hacer ésto con eficiencia, es necesario conocer como funciona cada uno de los instrumentos a nuestro cuidado.

En este capítulo describiremos la forma de operación de los módulos de instrumentación, especificaciones, planos de los NIM, diagrama esquemático, diagrama del circuito impreso, la lista de componentes eléctricas y la lista de materiales para cada uno de los módulos de instrumentación.

Los módulos de instrumentación que describiremos son:

- Voltímetro.
- Amperímetro.
- Ohmetro.
- Frecuencímetro.
- Phmetro.
- Termómetro.
- Fotómetro.
- Cronómetro.
- Fotocolorímetro.
- Conductímetro.

El proceso fundamental que está involucrado en los instrumentos digitales de medición, es la conversión analógica digital de las variaciones de la señal de entrada al instrumento. Esta conversión es más clara de ver como el proceso mediante el cual, cambiamos un voltaje de entrada continuamente variable en el tiempo, a una lectura digital de éste.

Entre los equipos que llamamos multímetros, el instrumento básico es el voltímetro digital y con él se pueden hacer, por medio de cambios a la entrada de la señal, lecturas de mediciones de corriente, resistencia, voltaje, etc.

El principal método mediante el cual se logra la conversión analógica digital es el método de conversión voltaje frecuencia. El cual consiste en una técnica de conversión que emplea un circuito con un oscilador controlado por voltaje en el instrumento. Estos son circuitos osciladores cuya frecuencia varía de acuerdo a la magnitud del voltaje aplicado y de esta forma se convierte la señal de voltaje, en una señal cuadrada de frecuencia dependiente del voltaje de entrada. Esta frecuencia que está en la instrumentación se conecta a la microcomputadora via un puerto en paralelo o un puerto de juegos, la cual por medio del software cuenta el número de pulsos cuadrados de la señal del oscilador en el puerto, para después hacer el despliegue de la lectura en el monitor de la microcomputadora.

En este método su estabilidad y precisión dependen del

generador controlado por voltaje y además, se presenta la presencia del ruido de línea (60 Hertz), el cual no se puede eliminar de otra forma que no sea a base de filtros, que reducen la velocidad de la lectura.

7.1 VOLTIMETRO.

Para llevar a cabo la medición de voltaje se utiliza el método de voltaje frecuencia, donde para medir voltaje tanto de CD como de CA, se emplea un divisor de voltaje. Bajo las condiciones normales, después del divisor el nivel de entrada es una señal de CD en el intervalo de operación del sistema y se escala en una proporción de alta exactitud de potencias de diez.

Si selecciona la función de la medida de voltaje de CA, la salida del divisor se acopla a un rectificador activo de onda completa, cuya salida de CD se calibra para igualar el nivel RMS de la entrada de CA. Esta señal se pasa después a través de un filtro para que entre al convertidor analógico digital. Sólo en caso de que se tenga una onda del tipo senoidal.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "voltmetro" son:

Intervalos de lectura: de 0 a 2 Volts, de 0 a 20 Volts y de 0 a 200 Volts; tanto en corriente directa como en corriente alterna.

Resolución: de 1/100 de Volt.

Voltaje de alimentación en el conector: + 15 Volts en el pin 1, - 15 Volts en el pin 3, + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: $\pm 1/100$ de Volt.

Mandos: manual en las escalas y manual en las puntas de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chasis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chasis.

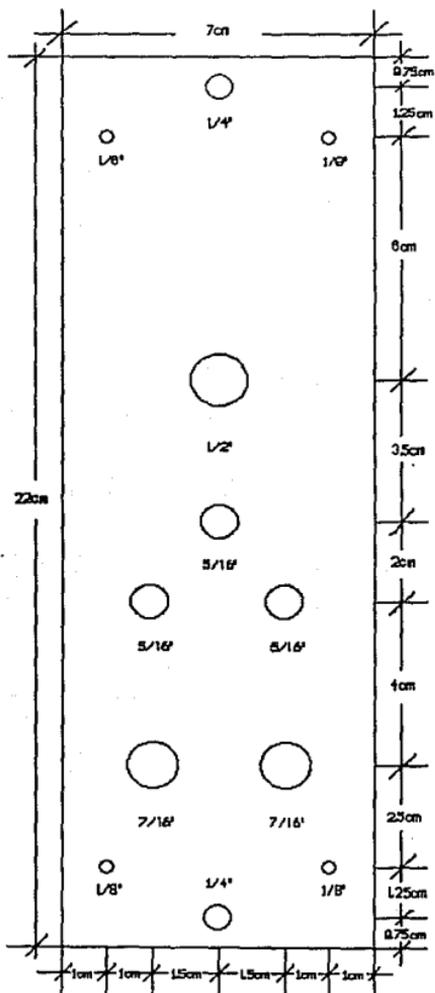
Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

Potencia total disipada: 1.5 Watts.

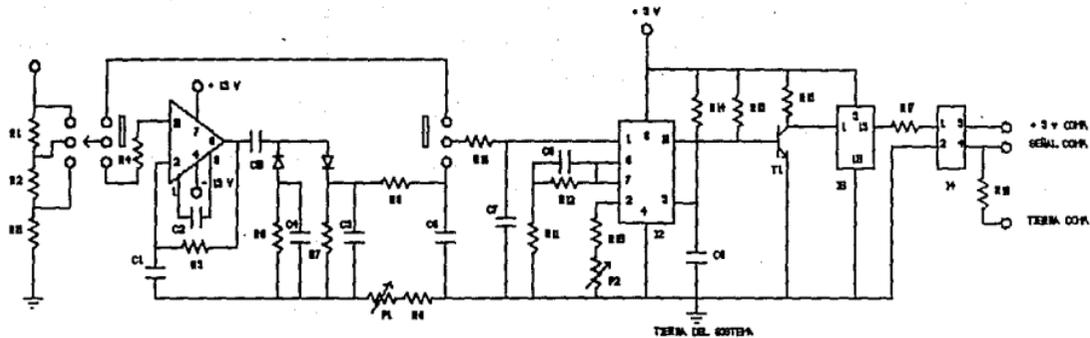
NOTA: Los pins 7, 8 y 9 del
del sistema.

conector tipo peine son Tierras



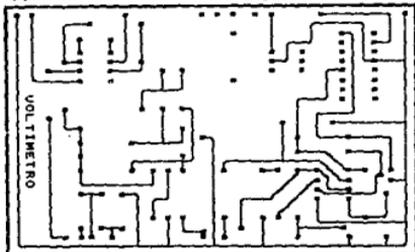
CENTRO DE INSTRUMENTOS.
UNAM.

FRONTAL DEL VOLTIMETRO.
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

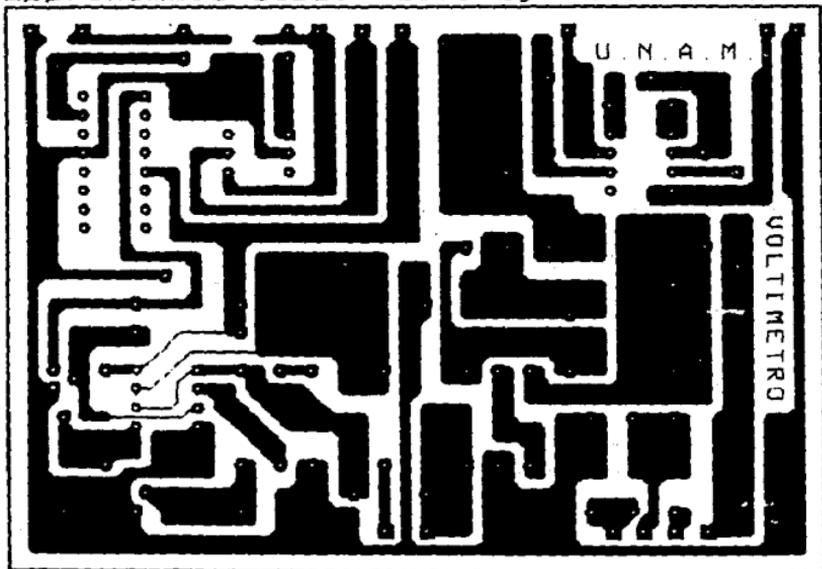


VOLTIMETRO
 CTR. DE INSTRUMENTOS
 UNAM.
 COMF. MODULO

1X checkplot 9 Jan 92 12:07:06
b:volt-p.pcb
v1.4 r1 holes: 117 component side
approximate size: 3.88 by 2.50 inches



2X checkplot 9 Jan 92 12:13:04
b:volt-g.pcb
v1.4 r1 holes: 117 component side
approximate size: 3.75 by 2.80 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM VOLTIMETRO.

A.) RESISTORES.

- 4 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 4 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 2.2 M Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1.2 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 8.2 k Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 3 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 2 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 47 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 4 Capacitores de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.22 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 390 pf.
- 1 Capacitor electrolítico con tolerancia del 5% y capacidad de 5 μ f a 25 V.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Amplificador operacional LM 301.
- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 2 Transistores BC337.
- 2 Diodos de silicio de 1 Amp.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Llave selectora de tres polos un tiro.
- 1 Borne de color rojo.
- 1 Borne de color negro.
- 2 Interruptores de miniatura de dos polos dos tiros.
- 1 Caiman miniatura color rojo.
- 1 Caiman miniatura color negro.
- 1 Banana color rojo.
- 1 Banana color negro.
- 1 Perilla de aluminio.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (3.2 x 3.0) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 1 Metro de cable de color rojo.
- 1 Metro de cable de color negro.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.

7.2 AMPERIMETRO.

Las medidas de corriente se realizan empleando un divisor de de Décadas de precisión en potencias de diez, para lograr la conversión a corriente a voltaje que requiere el convertidor analógico digital.

La caída de voltaje a través del divisor puede ser de CA o CD, dependiendo de la función de medida. Si la corriente a medir es de CD, la caída de potencial generada se pasa a través de un filtro pasa bajos y de éste pasa al convertidor analógico digital.

Si se selecciona la función de CA, la caída de potencial se rectifica por medio del convertidor de alterna a directa antes de pasar al filtro pasa bajos.

En cualquiera de los casos de medida, el convertidor analógico digital recibe una entrada de CD proporcional a la corriente que pasa a través del divisor.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "amperímetro" son:

Intervalos de lectura: de 0 a 200 mA, de 0 a 20 mA y de 0 a 2 A; tanto en corriente directa como en corriente alterna.

Resolución: de 1/100 de mA.

Voltaje de alimentación en el conector: + 15 Volts en el pin 1, - 15 Volts en el pin 3, + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: $\pm 1/100$ de mA.

Mandos: manual en las escalas y manual en las puntas de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

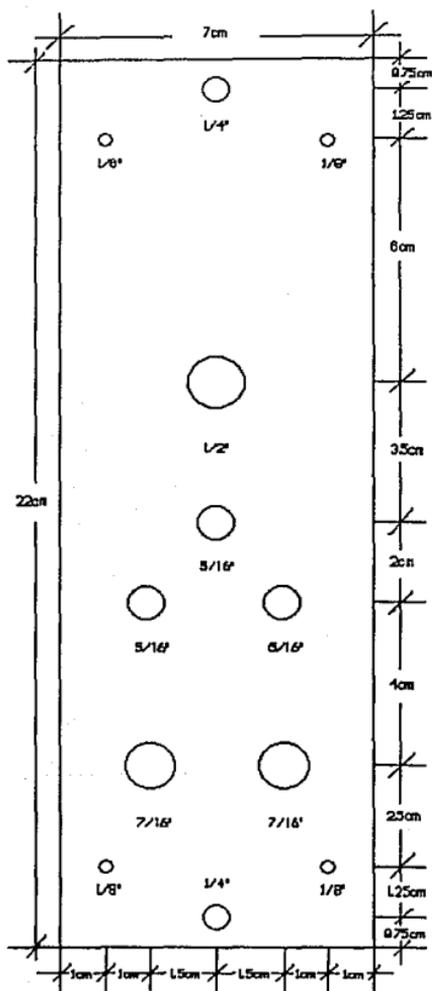
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una ceja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

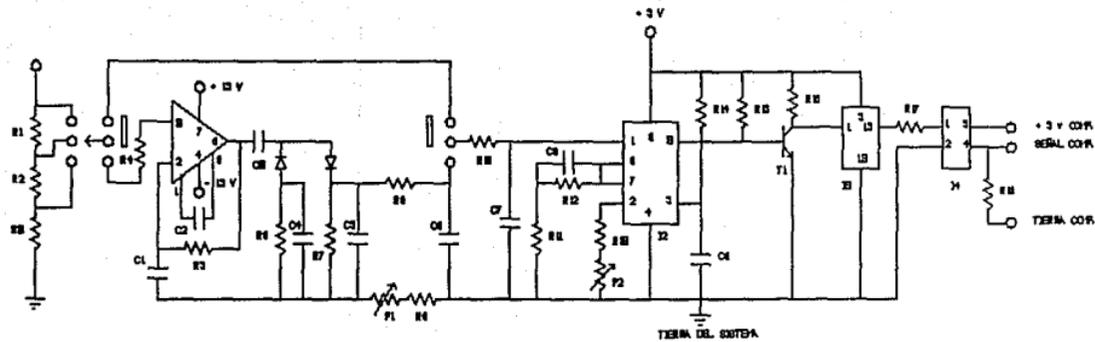
Potencia total disipada: 1.5 Watts

NOTA: Los pins 7,8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



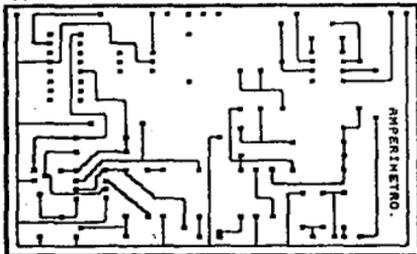
CENTRO DE INSTRUMENTOS.
LINIAH

FRONTAL DEL ANFERMETRO.
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

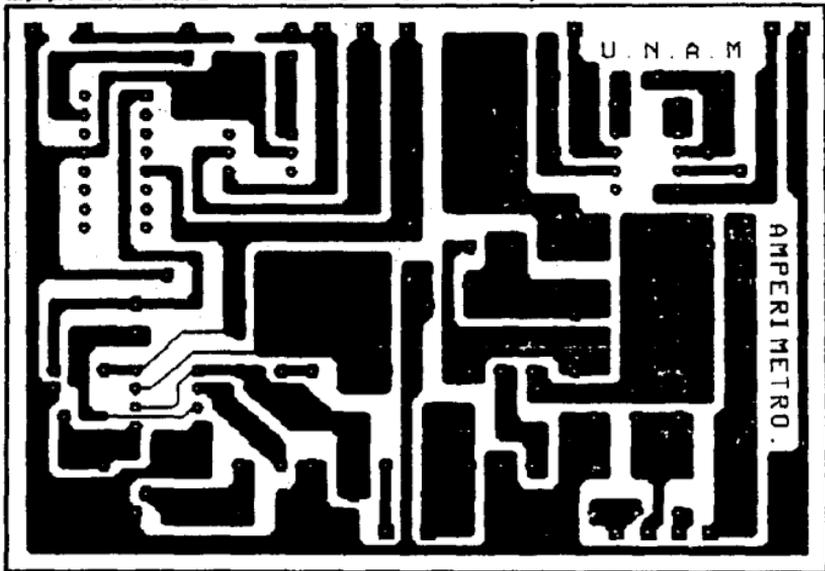


AMPERMETRO
 CTRQ. DE INSTRUMENTOS
 UNAM.
 COMP. MÓDULO

IX checkplot 9 Jan 91 22:25:22
b1:ampr-p.pcb
v1.4 r1 holes: 117 component side
approximate size: 3.80 by 2.50 inches



IX checkplot 9 Jan 91 22:26:32
b1:ampr-p.pcb
v1.4 r1 holes: 117 component side
approximate size: 3.75 by 2.80 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM AMPERIMETRO.

A.) RESISTORES.

- 4 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 4 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 2.2 M Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1.2 K Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 8.2 K Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 3 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 2 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 47 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 4 Capacitores de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.22 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 390 pf.
- 1 Capacitor electrolítico con tolerancia del 5% y capacidad de 5 μ f a 25 V.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Amplificador operacional LM 301.
- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 2 Transistores BC337.
- 2 Diodos de silicio de 1 Amp.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Llave selectora de tres polos un tiro.
- 1 Borne de color rojo.
- 1 Borne de color negro.
- 2 Interruptores de miniatura de dos polos dos tiros.
- 1 Caiman miniatura color rojo.
- 1 Caiman miniatura color negro.
- 1 Banana color rojo.
- 1 Banana color negro.
- 1 Perilla de aluminio.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (3.8 x 3.0) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 1 Metro de cable de color rojo.
- 1 Metro de cable de color negro.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.

7.3 OHMETRO.

Estas medidas se realizan por medio de razones. Cuando la función se selecciona, se forma un circuito simple en serie, entre la referencia interna de voltaje, un resistor de referencia del divisor y el resistor externo a medir.

La relación de proporción de los dos resistores, es igual a la proporción de sus caídas de potencial, por lo tanto, si se desconoce el valor de un resistor, éste se puede conocer empleando la caída de potencial a través de un resistor de referencia conocido, esto nos lleva a pensar que el voltaje a través del resistor de referencia será leído durante el periodo de integración y de nuevo comparará el resistor de referencia durante el periodo de lectura.

Como antes, la longitud del periodo de lectura es una indicación directa del valor desconocido.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "ohmetro" son:

Intervalos de lectura : de 0 a 1 k Ω , de 0 a 10 k Ω , de 0 a 100 k Ω y de 0 k Ω a 1 M Ω .

Resolución: de 1/100 de Ω .

Voltaje de alimentación en el conector: + 15 Volts en el pin 1, - 15 Volts en el pin 3, + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: \pm 1/100 de Ω .

Mandos: manual en las escalas y manual en las puntas de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

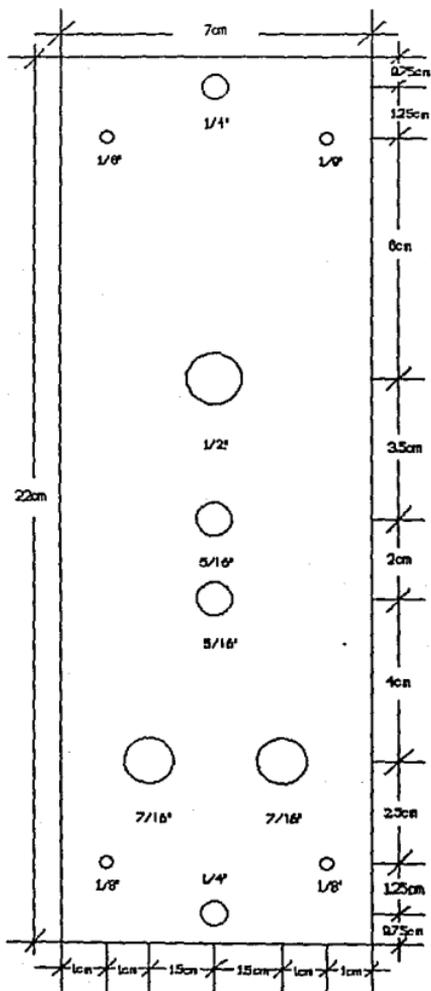
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

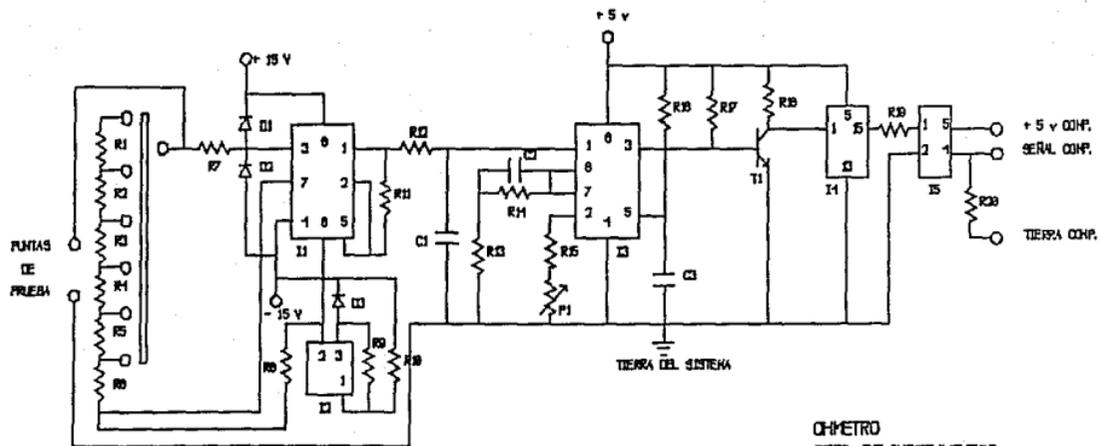
Potencia total disipada: 1.5 Watts.

NOTA: Los pins 7, 8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



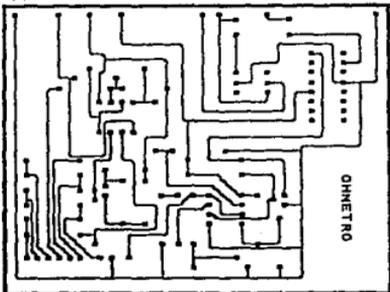
CENTRO DE INSTRUMENTOS
UNAH.

FRONTAL DEL CHIMETRO
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

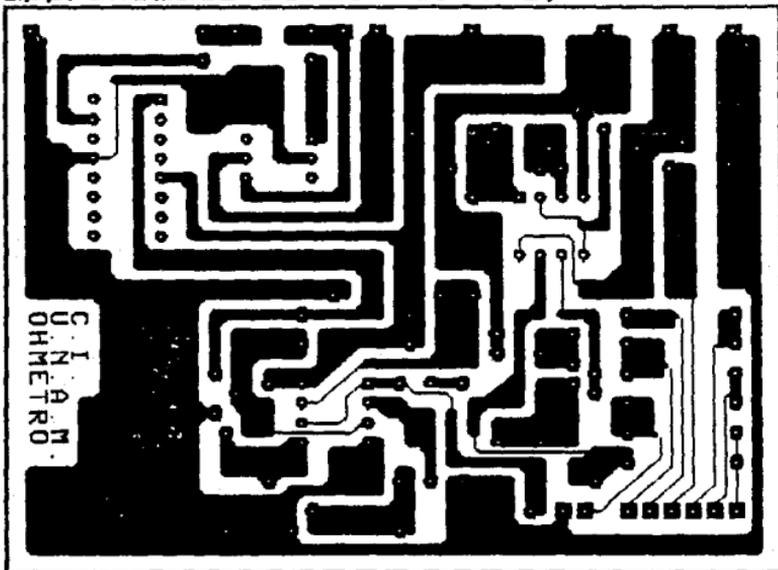


OHMETRO
 CTRO. DE INSTRUMENTOS
 LINAM
 COMP. MOULO

ix checkplot 9 Jan 91 22:28:50
01ahm-p.pcb
v1.4 r1 holes: 114 component side
approximate size: 3.40 by 2.75 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:30:26
01ahm-p.pcb
v1.4 r1 holes: 114 component side
approximate size: 3.40 by 2.70 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM OHMETRO.

A.) RESISTORES.

- 4 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 3 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1.35 M Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 3 K Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 90 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 9 M Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 900 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 90 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 47 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 9 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 900 Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Amplificador operacional LF 353.
- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 2 Transistores BC337.
- 3 Diodos de silicio 1N914.
- 1 Transistor de corriente constante LM334.

E.) MISCELANEA.

1	Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
1	Llave selectora de seis polos un tiro.
1	Borne de color rojo.
1	Borne de color negro.
1	Interruptor miniatura de dos polos un tiros.
1	Caiman miniatura color rojo.
1	Caiman miniatura color negro.
1	Banana color rojo.
1	Banana color negro.
1	Perilla de aluminio.
1	Led color rojo.
1	Porta led.
1	Circuito impreso de (3.4 x 2.9) pulgadas.
1	Impresión de frontal a tres tintas.
4	Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
8	Pijas de 1/8 de ϕ .
5	Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
5	Tuercas de 1/8 de ϕ .
1	Metro de cable de color rojo.
1	Metro de cable de color negro.
4	Metros de alambre para teléfono.
2	Metros de soldadura.
1	Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
1	Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
1	Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
1	Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.

7.4 FRECUENCIMETRO.

Este es un instrumento que se emplea para medir frecuencia; siempre que se trabaja con señales de corriente alterna se tienen señales que tienen una forma de onda continua. En estas señales, con cada dos alternaciones sucesivas, el voltaje o la corriente van a través de un ciclo. El número de ciclos por segundos se denomina: *FRECUENCIA*. La unidad de medida de la frecuencia es el Hertz (Hz), que indica un ciclo por segundo.

Los frecuencímetros digitales operan convirtiendo la señal cuya frecuencia se desea medir, en un tren de pulsos, un pulso por cada ciclo de la señal. Este número de pulsos, aparecerá en un intervalo de tiempo definido y serán contados por un contador electrónico. Si los pulsos representan el ciclo de la señal de frecuencia desconocida, el número que aparece en la pantalla de despliegue, será la frecuencia de la señal a medir.

La señal a medir se inyecta a un circuito disparador de Schmit, el cual nos produce un tren de pulsos uniformes, un pulso por cada ciclo de la señal. Estos pulsos después se alimentan a una compuerta de arranque - paro. Cuando la compuerta está abierta los pulsos del disparador se alimentan a través de la compuerta a la unidad contadora, la cual cuenta y registra el número de pulsos que pasaron. El número de pulsos contados, son los que pasaron a través de la compuerta en el intervalo de tiempo definido, por ejemplo un segundo, durante el cual la compuerta estaba abierta, de esta forma la lectura del contador es la medida del número de

pulsos en un segundo. Como cada pulso corresponde a un ciclo, tendremos la medida de ciclos por segundo, que es la frecuencia.

De lo anterior es claro que la precisión del instrumento, depende de la precisión del intervalo de tiempo determinado para abrir y cerrar la compuerta, así que estos circuitos llamados bases de tiempo son de muy alta precisión.

La salida de un oscilador de muy alta frecuencia y gran estabilidad, se alimenta a una cascada de circuitos divisores de frecuencia a través de un circuito disparador de Schmitt. El circuito oscilador llamado reloj, normalmente se construye en base a un cristal y se logra con esto una enorme estabilidad de frecuencia. Supongamos que el reloj oscila a una frecuencia de 10 MHz, si pasa por la primera década divisora, a la salida de ésta tendremos una frecuencia de 1 MHz. Si ésta frecuencia se inyecta a una segunda década divisora, tendremos a su salida una frecuencia de 100 KHz. Esto se repite en cinco pasos más y se tiene una frecuencia de Hz. Este pulso tiene una posibilidad de cambiar su frecuencia cada 10,000 pulsos en el reloj. Con este circuito se tiene una precisión de 1 en 10,000 en el intervalo de abertura y cierre de la compuerta.

Para entender bien un circuito compuerta se tiene que explicar lo que representan los Flip - Flop. Estos son circuitos que tienen dos estados, el estado cero cuando la salida está en algún voltaje positivo y el estado uno, cuando la salida está en cero volts. Si se le aplica un pulso negativo a la entrada S (set), el circuito se coloca en estado uno y si se le aplica un pulso negativo a la entrada R (reset), el circuito se coloca en el estado cero.

La compuerta tiene dos entradas que se representan con los números 1 (set) y 2 (reset). Cuando se aplica a alguna de las entradas, un pulso positivo, se abre la compuerta y está permanente abierta durante el tiempo que se mantiene el pulso positivo a la entrada. Con la compuerta abierta, los pulsos que se aplican en la otra entrada, pasarán por la compuerta y saldrán por la salida. En cualquier otra forma, la compuerta está cerrada y los pulsos no pueden pasar a través de ella.

En todo el tiempo los pulsos de la señal a medir, llegan a la entrada 1 de la compuerta de control y los pulsos de la base de tiempo llegan a la entrada 2 de la compuerta. Inicialmente Flip - Flop 1 está en el estado 1. El voltaje positivo resultante de la salida 2, se aplica a la entrada 1 de la compuerta de arranque y la abre. El voltaje 0 de la salida 1 del Flip - Flop, aplicado a la entrada 1 de la compuerta, la cierra.

Si la compuerta está abierta, los pulsos de la base de tiempo llegan al Flip - Flop 2 y lo ponen en estado 1. El voltaje 0, resultante de la salida 1, se aplica a la entrada 2 de la compuerta de control, manteniéndola cerrada y así no pasan pulsos de la señal desconocida al contador.

Para comenzar la cuenta, se aplica un pulso llamado de conteo, a la entrada R del Flip - Flop 1. Este pulso causa que cambie del estado 1 al estado 0. Como un resultado, la compuerta se abre. Este mismo pulso se aplica a las décadas poniéndolas en 0 y listas para contar.

Cuando el siguiente pulso de la base de tiempo llega, pasa a través de la compuerta a la entrada R del Flip -Flop 2, cambiando su estado a 0. El pulso positivo resultante se aplica a la compuerta de control y la abre. Con esto, los pulsos de la señal a medir pasan a través de la compuerta a la unidad contadora. El mismo pulso que pasó a través de la compuerta se aplica a la entrada S del Flip - Flop 1, cambiando su estado a 1. Como un resultado de esto, se cierra la compuerta.

Los siguientes pulsos de la base de tiempo, pasan a través de la compuerta abierta a la entrada S del Flip - Flop 2, cambiando su estado. Con esto, la compuerta de control se cierra y para el conteo.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "frecuencímetro" son:

Intervalos de lectura: de 0 a 10 KHz, 0 a 100 KHz y de 0 a 1 MHz.

Resolución: de 1/100 de Hz.

Voltaje de alimentación en el conector: + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: \pm 1/100 de Hz.

Mandos: manual en las escalas y manual en las puntas de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

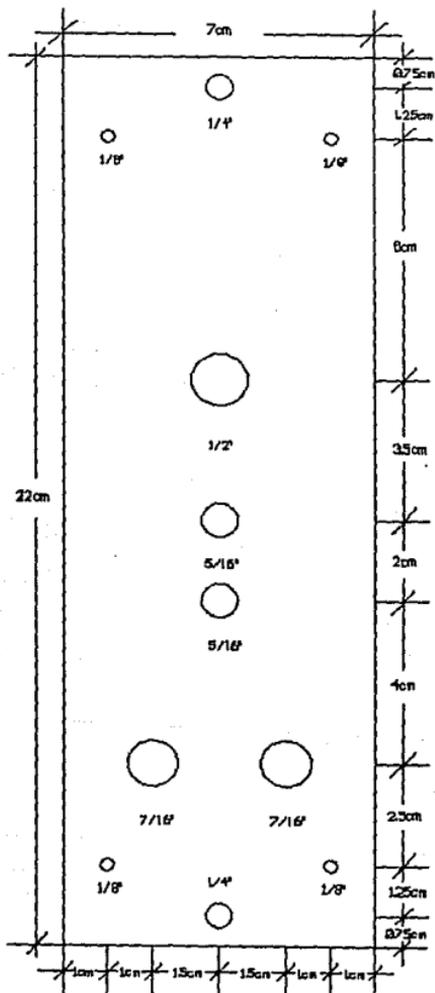
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chasis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chasis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

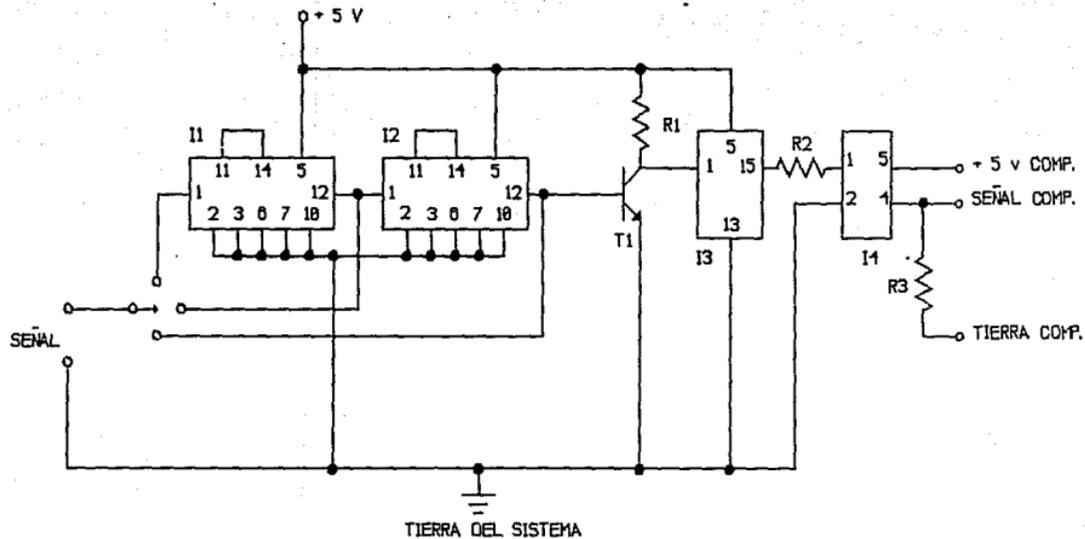
Potencia total disipada: 0.5 Watts.

NOTA: Los pins 7,8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



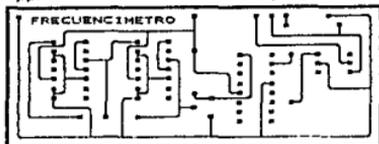
CENTRO DE INSTRUMENTOS.
UNAM.

FRONTAL DEL FRECUENCIOMETRO.
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

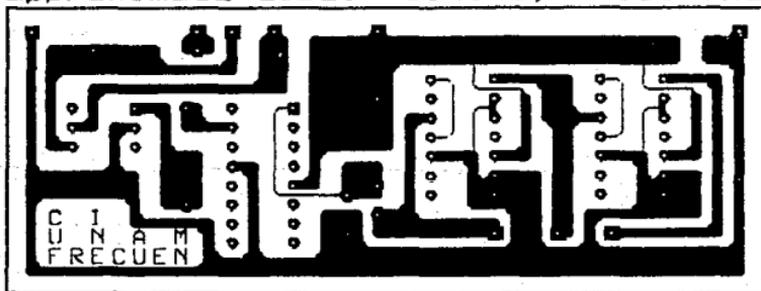


FRECUENCIMETRO
 CTRO. DE INSTRUMENTOS
 UNAM.
 COMP. MODULO

1X checkplot 9 Jan 91 22:32:28
bifrec-p.pcb
v1.4 r1 holes: 68 component side
approximate size: 3.40 by 1.30 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:35:10
b:ftencck-pcb
v1.4 r1 holes: 68 component side
approximate size: 3.40 by 1.30 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM FRECUENCIMETRO.

A.) RESISTORES.

- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5%.

B.) MICROCIRCUITOS.

- 2 Décadas SN 7490.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

C.) ESTADO SOLIDO.

- 1 Transistores BC337.

D.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Llave selectora de tres polos un tiro.
- 1 Borne de color rojo.
- 1 Borne de color negro.
- 1 Interruptor miniatura de dos polos un tiro.
- 1 Caiman miniatura color rojo.
- 1 Caiman miniatura color negro.
- 1 Banana color rojo.
- 1 Banana color negro.
- 1 Perilla de aluminio.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (3.4 x 1.3) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 1 Metro de cable de color rojo.
- 1 Metro de cable de color negro.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.

7.5 PHMETRO.

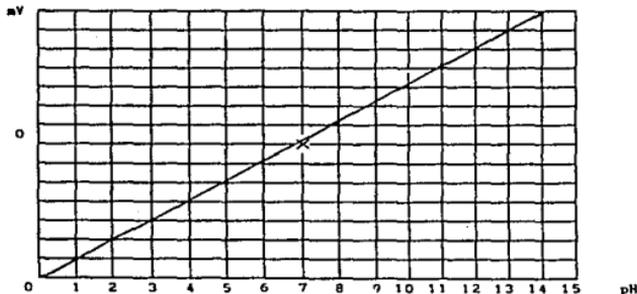
Un elemento importante, tanto en estudios biomédicos, como en control de procesos químicos, es la medición de las propiedades ácidas o alcalinas de una solución. Esto se determina por medio de la concentración de iones de hidrógeno o pH. La unidad de medida del pH está basada en el logaritmo negativo de la concentración de iones de hidrógeno. Aplicada a soluciones en agua, se compara la acidez o alcalinidad de una solución en una escala de 0 a 14 pH, en la cual el agua pura tiene una medida de 7 pH. Los valores menores de 7 indican mayor acidez y los mayores de 7 indican menor acidez. Los valores menores de 7 indican menor alcalinidad y los mayores de 7 indican mayor alcalinidad.

El pH de una solución se puede medir midiendo el voltaje a través de un par de electrodos preparados y que están inmersos en la solución a medir. Cada combinación de electrodos produce un voltaje por medio de una reacción electroquímica. Uno de los electrodos se denomina electrodo de referencia y genera un potencial constante, independiente del pH de la solución y el otro se denomina electrodo de medición el cual varía su potencial de acuerdo al pH de la solución.

La combinación más comunmente empleada como electrodo de referencia y denominada electrodo Calomel en un receptáculo de vidrio lleno con una solución saturada de cianuro de potasio. Esta celda produce un voltaje constante como referencia.

En los equipos más modernos, la referencia se logra por medio de una fuente de voltaje de gran estabilidad incorporada al instrumento.

El elemento de medición llamado también electrodo de vidrio, consiste en tubo de vidrio con una membrana especial al final. Esta membrana delgada de vidrio encierra una solución llamada Buffer, en la cual se encuentra inmerso un electrodo de platino revestido con una combinación de plata y cloruro de plata. El potencial del electrodo de vidrio varía con la concentración de iones de hidrógeno en la solución, variando 59 mV por unidad de pH a 25°C.



La salida de la celda de pH, es la diferencia de voltaje entre la referencia y la celda de medición. El potencial de referencia E es de 42 mV. El potencial del electrodo de medición es E_m y está dado por:

$$E_m = E_o + 0.059 \text{ pH}$$

donde E_o varía con cada electrodo. Luego la expresión del potencial en milivolts para el voltaje de salida de la celda es:

$$E_s = E_r - [E_o + 59 \text{ mV (pH) }]$$

Para calibrar el pHmetro, se ajusta el valor de pH = 7 a 0 mV.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "pHmetro" son:

Intervalos de lectura: de 1/10 de pH a 14 pH, con lectura simultánea de milivoltaje, a cierta temperatura.

Resolución: de 1/10 de pH.

Voltaje de alimentación en el conector: + 15 Volts en el pin 1, - 15 Volts en el pin 3, + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: $\pm 1/10$ de pH.

Mandos: manual en la punta de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

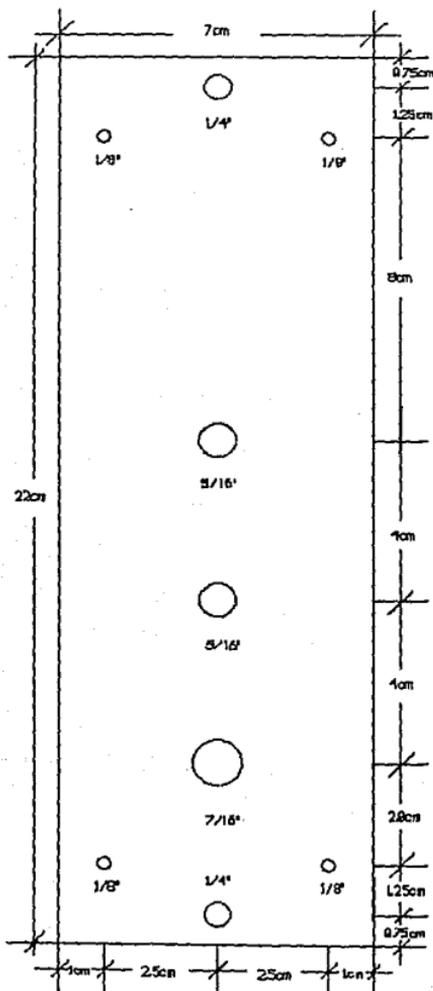
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

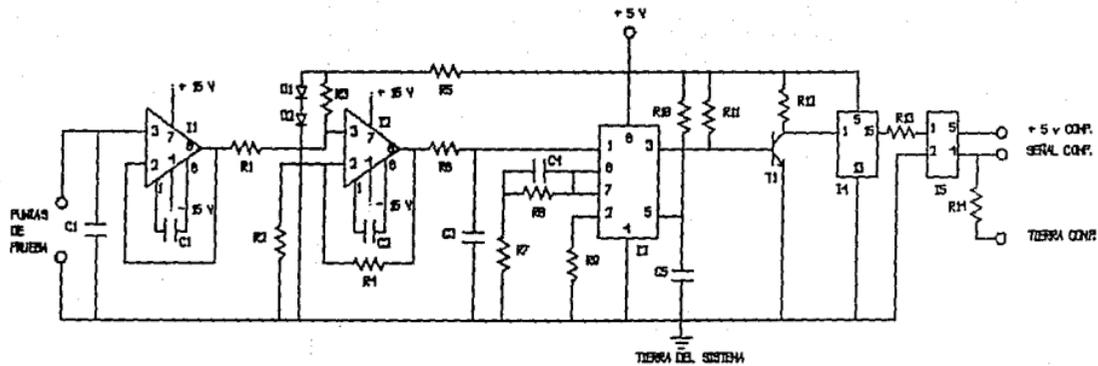
Potencia total disipada: 1.5 Watts.

NOTA: Los pins 7,8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



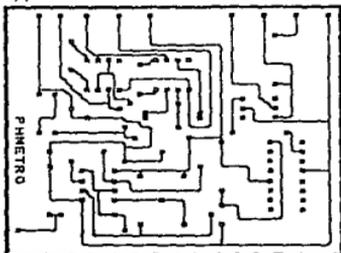
DENTRO DE INSTRUMENTOS.
URAM

FRONTAL DEL INSTRUMENTO
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

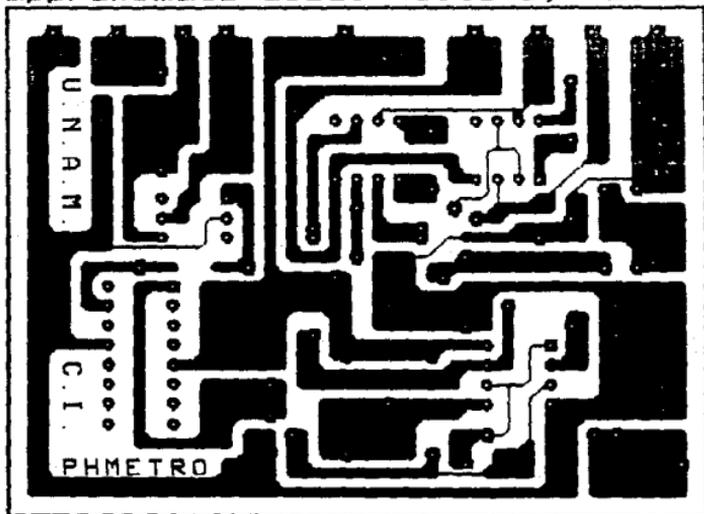


F+METRO
 CTRO. DE INSTRUMENTOS
 UNAM
 COMP. MÓDULO

1X checkplot 9 Jan 91 22:36:24
biph-p.pcb
v1.4 r1 holes: 102 component side
approximate size: 2.95 by 2.40 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:37:26
biph-g.pcb
v1.4 r1 holes: 102 component side
approximate size: 3.05 by 2.40 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM PHMETRO.

A.) RESISTORES.

- 7 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 8.2 K Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 47 Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.
- 2 Capacitores de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 33nf.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad da 56 nf.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Amplificador operacional TL 081.
- 1 Amplificador operacional LM 301.
- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 1 Transistor BC337.
- 2 Diodos de silicio de 1 Amp.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Interruptor de miniatura de dos polos un tiro.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Conector tipo BNC, macho.
- 1 Conector tipo BNC, hembra.

- 1 Transductor de pH.
- 1 Circuito impreso de (2.9 x 3.4) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.

7.6 TERMOMETRO.

El funcionamiento de este instrumento esta basado en la transmiación por contacto de un transistor metálico con un objeto o sustancia, de los cuales se quiera saber su temperatura.

En cualquier laboratorio deben existir termómetros que nos ayuden a medir la temperatura, de hecho existe varios tipos de termómetros que tienen el mismo principio para medir la temperatura.

Este principio fundamental al que nos referimos que utilizan los termómetros esta dado por la Termodinámica la cual nos dice de una manera comprensible y simple:

Cuando tenemos tres objetos *A*, *B* y *C*, tales que *A* está en equilibrio térmico con *B*, y *A* también está en equilibrio térmico con *C*. Sabemos por la experiencia que *B* estará en equilibrio térmico con *C*. Esta idea, de que dos objetos separadamente en equilibrio térmico con un tercer objeto estarán en equilibrio térmico entre si, se llama ley cero de la Termodinámica.

Esta idea es tan fundamental que parece obvia, pero expresiones análogas no siempre son ciertas.

Por otro lado el transistor que nos sirve como punta de prueba funciona de tal manera que tiene un cambio en el voltaje conforme cambie la temperatura, el cual nos ayuda para hacer la medición de temperaturas.

La temperatura se comporta de una manera distinta de acuerdo al material, por ejemplo: en el silicon, la corriente que circula en un transistor de silicon es pequeña y la dependencia de la temperatura no es importante excepto que sean muy altas temperaturas; sin embargo en el germanio, es decir en un transistor de germanio la temperatura depende de la corriente que circula a si mismo del voltaje involucrado y su funcionamiento puede ser no muy adecuado cuando hay temperaturas elevadas.

Expongamos un caso en el cual existe una diferencia de potencial con la siguiente relación:

$$i = \frac{V_{Dc} - V_o}{R_1}$$

que esta expresada en una forma más clara en el circuito de la figura (7.1).

Se ve claro en la expresión que si la diferencia de voltaje va disminuyendo la corriente aumenta y por lo tanto la temperatura también aumenta, a si mismo el punto de mejor operación del transistor se va viendo afectado.

Para darse cuenta en cuanto cambia la diferencia de voltaje conforme la temperatura encontramos un dato que nos es muy importante, el cual es alrededor de 2.5 mv/°C, también es importante saber que en el germanio la diferencia de voltaje es pequeña y esto puede ser un tanto despreciable en comparación con la corriente que circula ya que se ve muy elevada y por tanto el punto de mejor operación se verá afectado; en el silicon sin embargo la diferencia de voltaje es relativamente grande y la corriente que circula será relativamente pequeña.

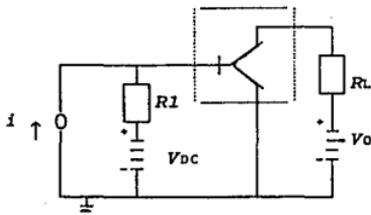


FIG. (7.1).

La temperatura de un transistor es determinada por dos factores, la temperatura ambiente y el punto de mejor operación en el transistor. El punto de mejor operación del transistor resulta del poder de disipación que tenga el colector del transistor.

El estado de equilibrio de la temperatura en el transistor es proporcional al poder de disipación del transistor, esto es: sea T_j la temperatura de mejor operación del transistor y T_a es la temperatura ambiente del transistor, el estado de equilibrio de temperatura del transistor será:

$$\Delta T = T_j - T_a = \theta P_c = \theta V I$$

que es análogo con la ley de ohm,

$$\theta = \frac{\Delta T}{P_c}$$

que es llamada la resistencia termal de un transistor, este valor depende en gran medida de la manera con la cual el transistor esta montado en un circuito, ya que sus alrededores pueden causar efectos sobre él. El típico valor para transistores de θ esta entre 1 y 1000°C/watt.

Los efectos del punto de mejor operación en transistores pueden ser examinados con la ayuda de las gráficas de la figura (7.2-a) y (7.2-b).

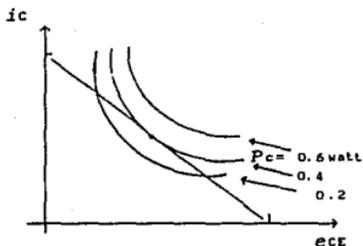


FIG. (7.2-a).

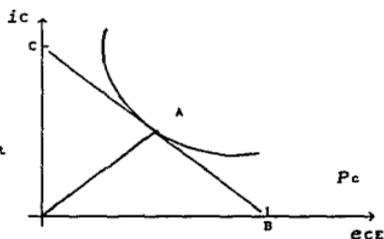


FIG. (7.2-b).

La figura (7.2-a) muestra una línea de carga estática y tres hipérbolas de disipación constante en el colector sobre el plano i_c vs. e_{cE} .

La figura (7.2-b) muestra una hipérbola simple de una disipación constante P_c y una línea de carga estática BC, dicha línea es tangente a la hipérbola en el punto A. La ecuación de la hipérbola es:

$$i_c = \frac{P_c}{e_{cE}}$$

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "termómetro" son:

Intervalos de lectura: de 1/100 de °C a 300 °C.

Resolución: de 1/100 de °C.

Voltaje de alimentación en el conector: + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: \pm 1/100 de °C.

Mandos: manual en la punta de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

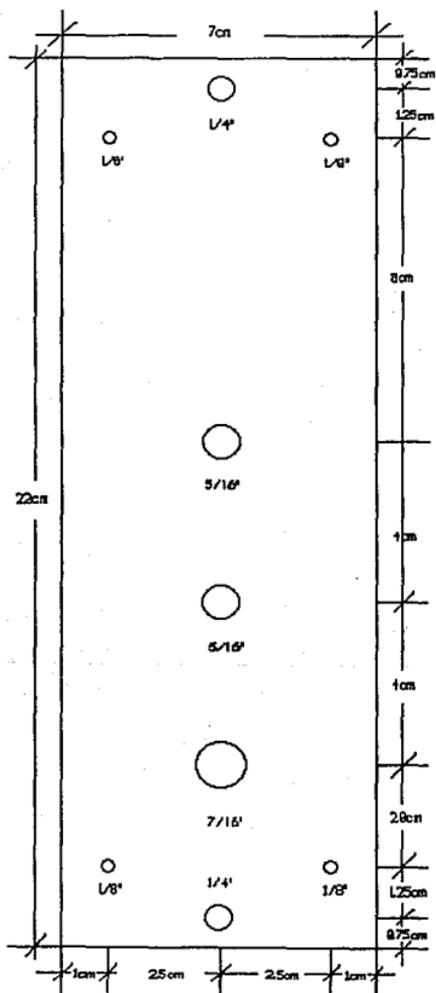
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

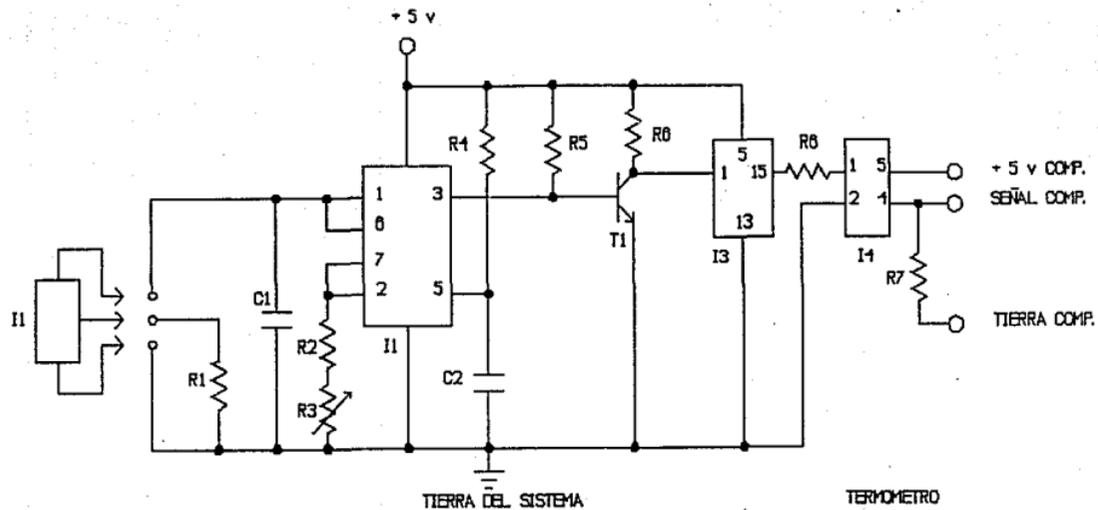
Potencia total disipada: 0.5 Watts.

NOTA: Los pins 7, 8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



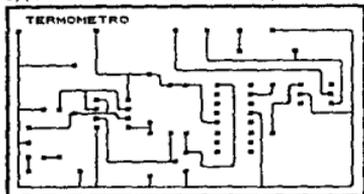
CENTRO DE INSTRUMENTOS.
UNAH

FRONTAL DEL TERMOMETRO.
MATERIAL ACRILICO
NO ESTA A ESCALA.

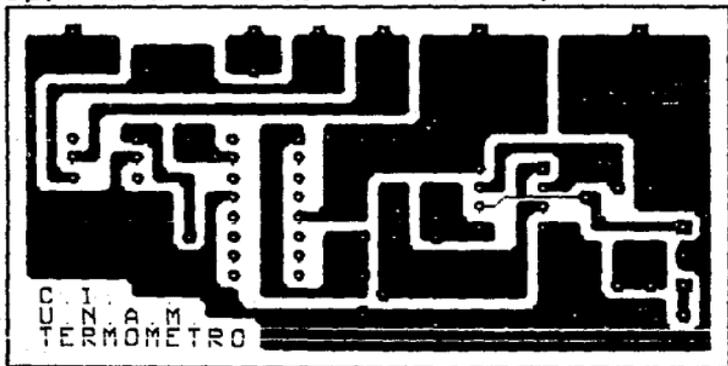


TERMOMETRO
 CTRQ. DE INSTRUMENTOS
 UNAM
 COMP. MODULO

1X checkplot 9 Jan 91 22:39:20
b:termo-p.pcb
v1.4 r1 holes: 62 component side
approximate size: 3.20 by 1.80 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:40:18
b:termo-g.pcb
v1.4 r1 holes: 62 component side
approximate size: 3.20 by 1.65 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM TERMOMETRO.

A.) RESISTORES.

- 2 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 3 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 1 Transistor BC239.
- 1 Transistor BC337.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Interruptor de miniatura de dos polos un tiro.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (2.65 x 2.10) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.

- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.
- 1 Conector tipo BNC, macho.
- 1 Conector tipo BNC, hembra.
- 1 Metro de cable negro, dos líneas.

7.7 FOTOMETRO.

Existen una diversidad de dispositivos que nos sirven para medir la luminosidad de la luz, entre las cuales encontramos al fotómetro. Estos dispositivos llamados fotoeléctricos han tenido un uso muy difundido durante muchos años y varían desde la fotocelda, que se utiliza en proyectores de películas sonoras a las celdas solares, empleadas para dar energía a los satélites en el espacio.

Los dispositivos fotoeléctricos se clasifican en tres tipos generales: la fotovoltáica, la celda fotoconduktiva y el tubo de fotoemisión o fototermistor.

Los medidores de iluminación, los de exposición fotográfica, las cámaras automáticas y la batería solar, hacen uso de las propiedades de la celda fotovoltáica. Una celda fotovoltáica puede definirse como el dispositivo que produce una diferencia de potencial entre un par de terminales sólo cuando se expone a la luz. En la celda fotovoltáica típica, el potencial generado es linealmente proporcional a la intensidad de luz en los valores bajos de ésta, y logarítmicamente proporcional a la intensidad de luz a altos niveles de ella.

Para nuestro caso en especial se pensó en utilizar a un fototransistor como detector de la luminosidad de la luz, para que nuestro instrumento tenga la característica de que no sea tan complicado en su manejo, sea factible a todos los estudiantes que lleguen a utilizarlo, ya que existen otros instrumentos que requieren de un manejo y servicio profesional.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado, el fototransistor tiene el mismo principio que el que tiene un detector de luz o una celda fotovoltáica. Cuando se expone el fototransistor a la luz, existe un cambio en el voltaje de nuestro circuito el cual por medio de el convertidor voltaje-frecuencia, podemos mandar información codificada a nuestra microcomputadora. Con lo cual podemos hacer mediciones de intensidad de luz, en diferentes experimentaciones que se requieran.

El principio de operación del fototransistor es el siguiente:

La figura (7.3) nos muestra el circuito de el principio funcional de un fototransistor.

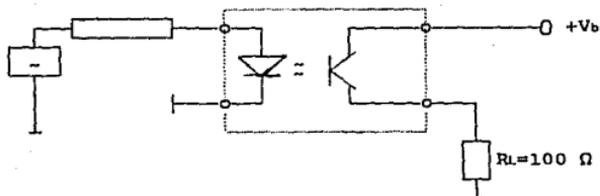


FIG. (7.3).

Básicamente, un fototransistor puede ser visualizado como una combinación de un fotodiodo y un transistor NPN. Sin embargo deben de tomarse en cuenta los siguientes puntos, ya que el fotodiodo esta en paralelo con la unión de la base-colector y esto actúa como una forma de capacitancia. Usando un voltaje colector de $V_b > 10V$ en el circuito.

Primero.- la capacitancia es relativamente pequeña.

Segundo.- la ganancia de voltaje del circuito, con una resistencia de carga de $R_L=100 \Omega$, es también pequeña. La efectiva capacitancia Miller (C_M) es calculada con la siguiente ecuación:

$$C_M = C_{cb} \cdot (V_u + 1)$$

En la práctica las resistencias de carga suelen ser alrededor de 103 ohms, como resultado de que la ganancia de voltaje de un circuito es de 10 a 50 veces más grande que en el de un circuito de simple funcionamiento del fototransistor como el de la figura (7.3).

Luego el transistor se encuentra sobre la saturación, pero con pequeños voltajes en el colector-base, la capacitancia del fotodiodo (=colector-base capacitancia) varía en un factor de 3 a 4, la cual a veces incrementa el ruido y tiempos de caída (ver figura 7.4). Esto explica porque la transmisión de frecuencias alrededor de 5 a 10 KHZ son alcanzadas con simples circuitos.

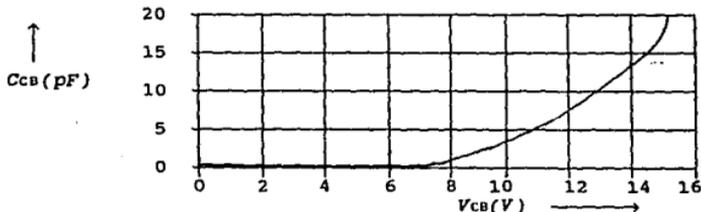


FIG. (7.4).

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "fotómetro" son:

Intervalos de lectura: de 1/100 de % de luminosidad a 100 % de luminosidad.

Resolución: de 1/100 de % de luminosidad.

Voltaje de alimentación en el conector: + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: $\pm 1/100$ de % de luminosidad.

Mandos: manual en la punta de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

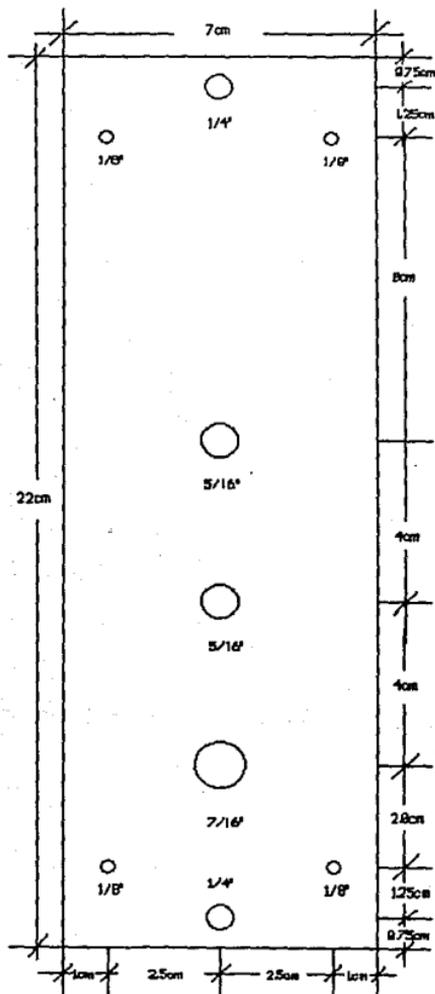
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chasis y tiene una ceja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chasis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

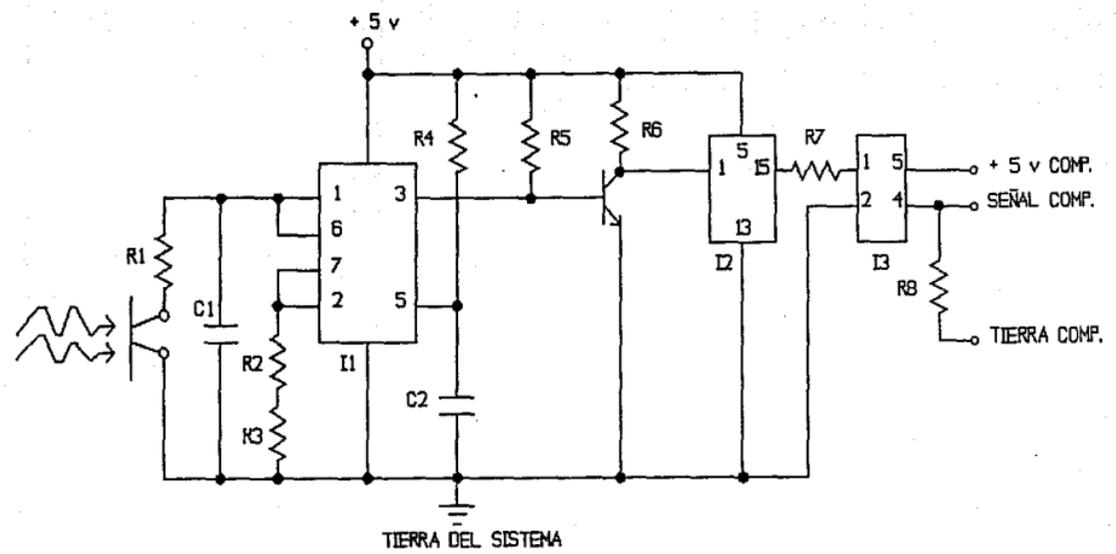
Potencia total disipada: 0.5 Watts.

NOTA: Los pins 7,8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



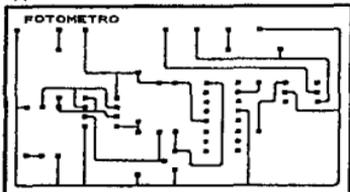
CENTRO DE INSTRUMENTOS
UNAH

FRONTAL DEL FOTOMETRO.
MATERIAL ADRILOCO
NO ESTA A ESCALA.

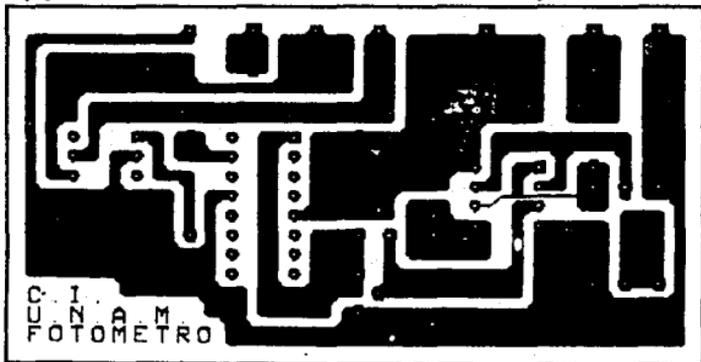


FOTOMETRO
CTRO. DE INSTRUMENTOS
UNAM.
COMP MODULO

1X checkplot 9 Jan 91 22:42:22
b:foto-p.pcb
v1.4 r1 holes: 60 component side
approximate size: 3.10 by 1.80 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:46:22
b:foto-g.pcb
v1.4 r1 holes: 60 component side
approximate size: 3.10 by 1.65 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM FOTOMETRO.

A.) RESISTORES.

- 2 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 3 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 1 Fototransistor SI8016.
- 1 Transistor BC337.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Interruptor de miniatura de dos polos un tiro.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (2.65 x 2.20) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.

- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.
- 1 Conector tipo BNC, macho.
- 1 Conector tipo BNC, hembra.
- 1 Metro de cable negro, dos líneas.

7.8 CRONOMETRO.

Dentro de un laboratorio sea cual fuese, el tiempo es una de las variables más importantes, si no es que la más importante en cualquier tipo de experimentación.

Por mencionar un ejemplo, en Física el tema de Mecánica es fundamental para la formación de una forma estructurada de pensamiento que permita tanto el manejo de los significados físicos como la ontología de la medida en el estudiante. En el tema de medición del tiempo es en el cual se presentan estas aptitudes de llegar a formar una forma estructurada de pensamiento.

Para nuestro laboratorio controlado por computadora, se pensó de forma tal que se eliminarán en cuanto sea más posible los errores estocásticos de la operación manual del cronómetro. Por lo cual se incorporó un sistema de control de arranque-paro opto-electrónico de la lectura del tiempo; sistema que permite, dado su tiempo de respuesta, errores menores a la 1/100 de segundo. Este hecho permite lecturas de tiempo a 1/100 seg. con errores de 1/1000 de seg. Con esta resolución es posible medir caída libre en 1 metro de caída y con 10 puntos experimentales.

Nuestro cronómetro por computadora funciona haciendo uso de software leyendo los cambios que sufre el PIA o el puerto de juegos, estos cambios pueden ser enviados manualmente usando un botón tipo timbre siempre abierto (push-botton) en el frontal de nuestro módulo o ya sea por el sistema de control automático que utiliza dos sensores opto-eletrónicos, y también puede ser controlado por el teclado de la microcomputadora.

El sistema de control automático esta comandado por un flip-flop, o sea una compuerta, de tres estados lógicos, que a su vez tiene dos sensores con un par de parejas foco-fototransistor.

Estos circuitos de foto de tección presentan una entrada cero a uno al circuito de compuerta a través de una compuerta no exclusiva, diseñada con un par de transistores, pudiendo así cambiar de estado del flip-flop, arrancando o parando el conteo del cronómetro.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "cronómetro" son:

Intervalos de lectura: de 0 de segundo a 999 segundos.

Resolución: de 1/100 de segundo.

Voltaje de alimentación en el conector: + 15 Volts en el pin 1, + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: \pm 1/100 de segundo.

Mandos: manual en el push - botton y en el teclado, y automático en los sensores optoelectrónicos

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

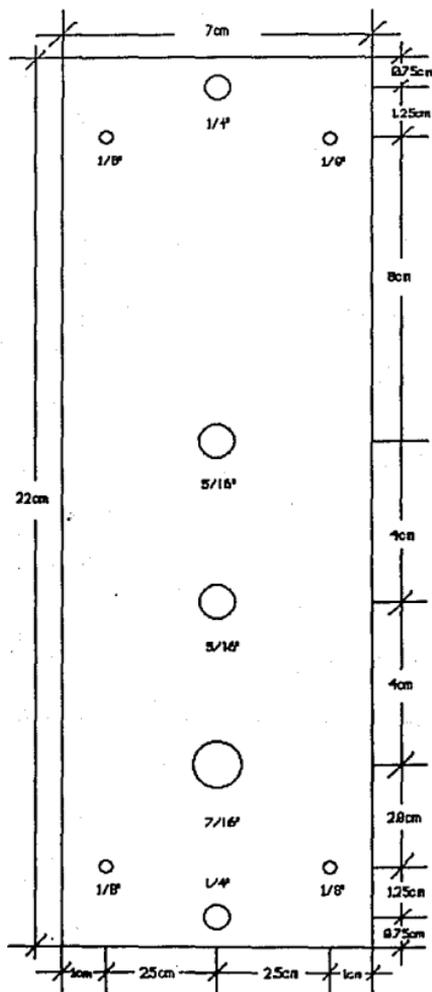
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

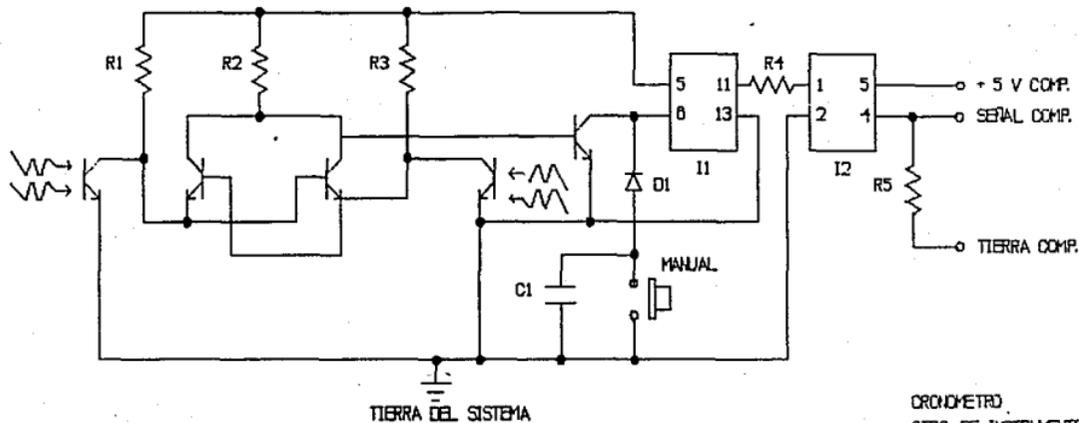
Potencia total disipada: 0.5 Watts.

NOTA: Los pins 7,8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



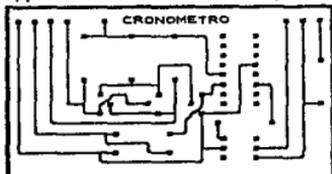
CENTRO DE INSTRUMENTOS.
UNAH.

FRONTAL DEL CONDUCTIMETRO.
MATERIAL ACRILICO.
NO ESTA A ESCALA.

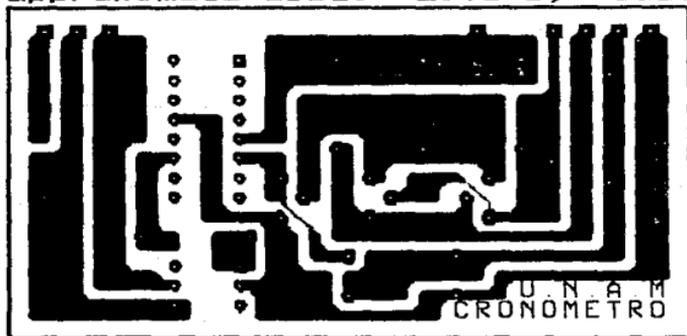


CRONOMETRO,
 CTRO. DE INSTRUMENTOS
 WIAM
 COMP. LAB.

1X checkplot 9 Jan 91 22:47:44
bicrono-p.pcb
v1.4 r1 holes: 53 solder side
approximate size: 2.85 by 1.55 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:48:42
bicrono-p.pcb
v1.4 r1 holes: 53 solder side
approximate size: 2.95 by 1.50 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM CRONOMETRO.

A.) RESISTORES.

- 3 Resistencias de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5%.

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 3 Transistores BC238.
- 2 Diodos de silicio 1N4848.

E.) MISCELANEA.

- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 2 Conector tipo audifono estereo miniatura, machos.
- 2 Conector tipo audifono estereo miniatura, hembras.
- 2 Interruptores de miniatura de dos polos dos tiros.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (2.5 x 2.45) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.
- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 3 Metros de cable estereo.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.
- 2 Placas de metal de (0.3 x 5 x 8) cm.
- 2 Varillas de aluminio de 30 cm.
- 2 Focos para autoestereo de 12 volts.

7.9 FOTOCOLORIMETRO.

En algunos casos es importante conocer la naturaleza de las sustancias o líquidos, que contienen, que pureza tienen, que aroma tienen, si estas son tóxicas o peligrosas, etc. etc.; hay muchas maneras de estudiar las sustancias ya sea químicamente o físicamente. Por ejemplo mezclando algunas otras sustancias con las que queremos estudiar.

Una de las maneras interesantes de estudiar a las sustancias es haciendo el uso del fotocolorímetro, ya que con el podemos observar a través de filtros de colores cuan tan pura es una sustancia o cuan tan viscosa es alguna sustancia.

Nuestro instrumento es de muy fácil manejo, pues haciendo uso del fotómetro y un dispositivo sencillo en el cual se puedan introducir las sustancias que se quieran estudiar, además de la ayuda de filtros de colores fáciles de colocar, podemos observar cuanto por ciento de cantidad de luz pueda pasar a través de la sustancia con diferentes filtros; esto con la ayuda de un foco que ilumina a la sustancia a estudiar. Este dispositivo se muestra en la figura (7.5).

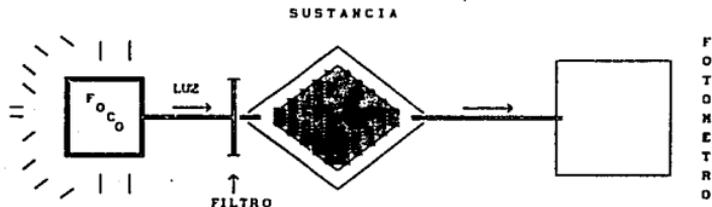


FIG. (7.5).

Como vemos de la figura el principio de operación del nuestro fotocolorímetro es el mismo que el de el fotómetro, o sea lo importante es que se utiliza un fototransistor como detector que capta las variaciones en el voltaje debido a la luz que incide sobre él, para que después haga el mismo procedimiento de mandar la información.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se omitirán los planos, los diagramas esquemático e impreso, y la lista de componentes eléctricos y materiales. Solo habrá que agregar los materiales que se encuentran en la figura (7.5), que son:

- Una lámpara o foco direccionada.
- Filtros de colores, material acrílico.
- Tubos de ensalle.
- Una caja oscura con soporte para los tubos de ensalle.

7.9 FOTOCOLORIMETRO.

En algunos casos es importante conocer la naturaleza de las sustancias o líquidos, que contienen, que pureza tienen, que aroma tienen, si estas son tóxicas o peligrosas, etc. etc.; hay muchas maneras de estudiar las sustancias ya sea químicamente o físicamente. Por ejemplo mezclando algunas otras sustancias con las que queremos estudiar.

Una de las maneras interesantes de estudiar a las sustancias es haciendo el uso del fotocolorímetro, ya que con el podemos observar a través de filtros de colores cuan tan pura es una sustancia o cuan tan viscosa es alguna sustancia.

Nuestro instrumento es de muy fácil manejo, pues haciendo uso del fotómetro y un dispositivo sencillo en el cual se puedan introducir las sustancias que se quieran estudiar, además de la ayuda de filtros de colores fáciles de colocar, podemos observar cuanto por ciento de cantidad de luz puede pasar a través de la sustancia con diferentes filtros; esto con la ayuda de un foco que ilumina a la sustancia a estudiar. Este dispositivo se muestra en la figura (7.5).

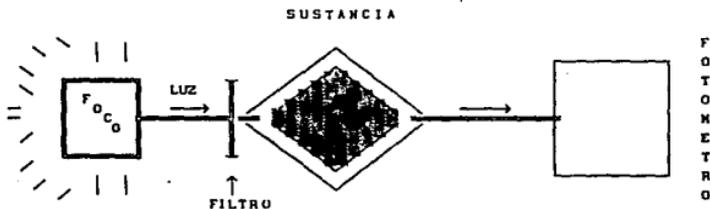


FIG. (7.5).

Como vemos de la figura el principio de operación del nuestro fotocolorímetro es el mismo que el de el fotómetro, o sea lo importante es que se utiliza un fototransistor como detector que capta las variaciones en el voltaje debido a la luz que incide sobre él, para que después haga el mismo procedimiento de mandar la información.

De acuerdo con lo anteriormente mencionado, se omitirán los planos, los diagramas esquemático e impreso, y la lista de componentes eléctricas y materiales. Solo habrá que agregar los materiales que se encuentran en la figura (7.5), que son:

- Una lámpara o foco direccionada.
- Filtros de colores, material acrílico.
- Tubos de ensalle.
- Una caja oscura con soporte para los tubos de ensalle.

7.10 CONDUCTIMETRO.

El conductímetro es un instrumento importante dentro de un laboratorio ya que es de mucha importancia para averiguar si alguna sustancia puede conducir corriente eléctrica en determinadas situaciones.

Si la habilidad de una solución para conducir corriente eléctrica depende de la presencia de iones en la solución, la medida de la resistencia eléctrica, o su inverso la conductividad de la solución, nos permite de una forma simple verificar la pureza de las soluciones.

Con frecuencia es necesario detectar cambios pequeños de resistencia en las soluciones. El circuito básico que se utiliza para efectuar esta tarea es el conocido como circuito puente. Este circuito puente generalmente se conoce con el nombre de puente Wheatstone, como el que se muestra en la figura (7.6). Este circuito se usó originalmente como un ohmetro de precisión.

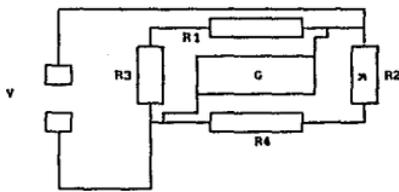


FIG. (7.6).

Para poder medir la conductancia se coloca en un brazo del puente la celda de conductividad que contiene electrodos que tienen tanto la separación como el área conocidos, así que la celda constante se puede emplear para relacionar la medida de la resistencia a un valor típico, dando esto la razón de la conductancia específica a la conductancia medida.

La conductancia específica tiene como medida típica las unidades de mhos por centímetro cúbico de solución, medida entre dos electrodos separados un centímetro, a una temperatura de 25°C.

El puente de medición emplea como voltaje excitador, voltajes de CA para eliminar la acción electrolítica en un sólo sentido y por lo tanto la polarización de los electrodos. La salida de señal se conecta a un convertidor voltaje frecuencia para que de ahí la mande al puerto de la computadora.

ESPECIFICACIONES.

Las características técnicas de este módulo de instrumentación "conductímetro" son:

Intervalos de lectura: de 0 a 1 Mho.

Resolución: de 1/100 de Mho.

Voltaje de alimentación en el conector: + 5 Volts en el pin 5 del conector tipo peine del módulo de instrumentación.

Salidas en el conector: señal a la computadora en los pins 11 y 13, + 5 Volts para el optoacoplador en el pin 15.

Precisión: \pm 1/100 de Mho.

Mandos: manual en los electrodos de prueba.

Despliegue: digital en el monitor de la microcomputadora.

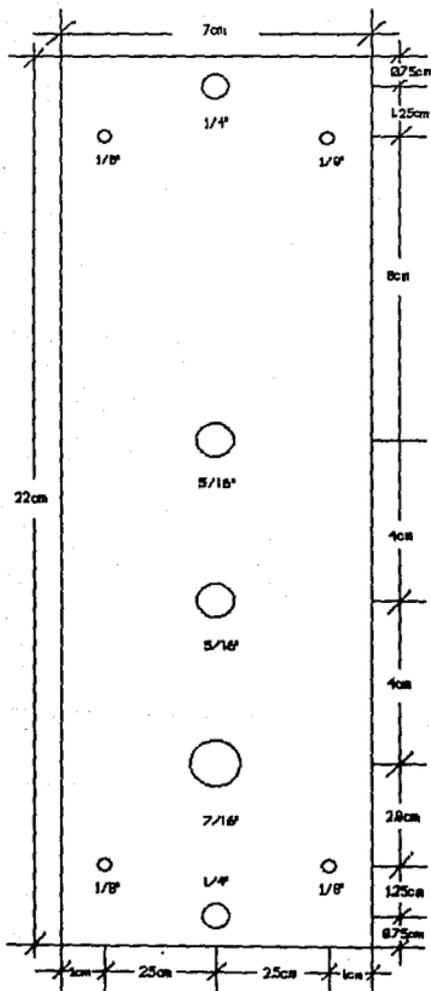
Dimensiones: módulo de instrumentación NIM de (0.3 x 7 x 22) cm, en el frontal ; (6 x 12 x 19) cm, en el chásis y tiene una caja de 0.5 cm, en la parte superior e inferior de un costado del chásis.

Velocidad de respuesta: de 1/10,000 de segundo.

Consumo total de corriente: de 60 - 100 mA.

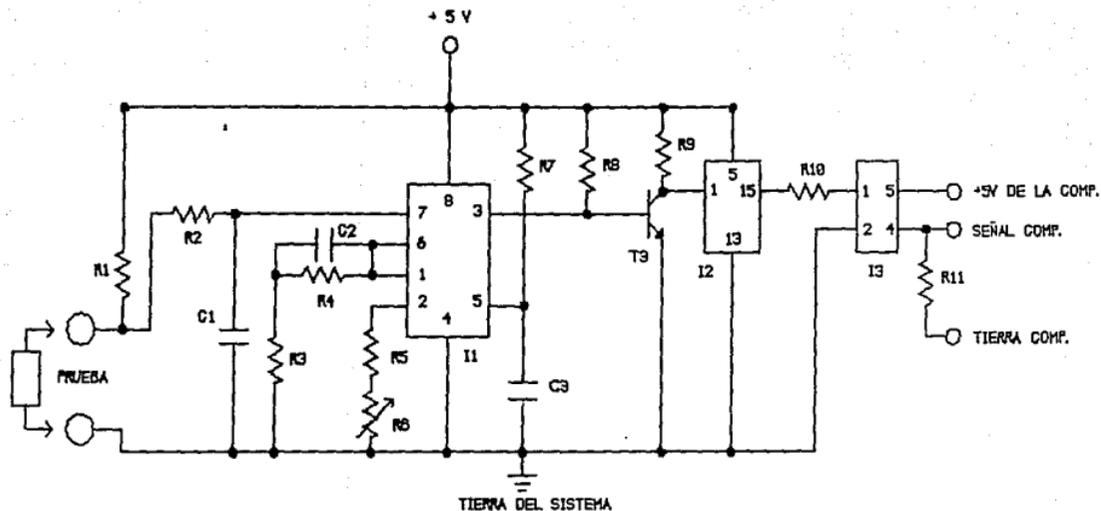
Potencia total disipada: 0.5 Watts.

NOTA: Los pins 7, 8 y 9 del conector tipo peine son Tierras del sistema.



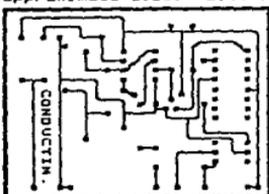
CENTRO DE INSTRUMENTOS
UNAM

FRONTAL DEL CONDUCTO-METRO
MATERIAL ACERICO
NO ESTA A ESCALA.

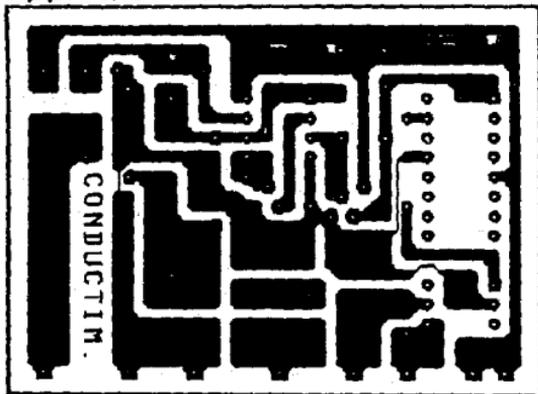


CONDUCTIMETRO
 CTRO. DE INSTRUMENTOS
 UNAM.
 COMP. MÓDULO

1X checkplot 9 Jan 91 22:50:26
b:cond-p.pcb
v1.4 r1 holes: 69 solder side
approximate size: 2.30 by 1.80 inches



2X checkplot 9 Jan 91 22:51:22
b:cond-g.pcb
v1.4 r1 holes: 69 solder side
approximate size: 2.30 by 1.80 inches



LISTA DE COMPONENTES ELECTRONICAS DEL NIM CONDUCTIMETRO.

A.) RESISTORES.

- 3 Resistencias de carbón depositado de 100 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 10 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 1 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 6.8 k Ω con tolerancia del 5% .
- 2 Resistencias de carbón depositado de 3 k Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 470 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 47 Ω con tolerancia del 5% .
- 1 Resistencia de carbón depositado de 100 Ω con tolerancia del 5% .

B.) CAPACITORES.

- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.1 μ f.
- 1 Capacitor de poliester con tolerancia del 5% y capacidad de 0.01 μ f.

C.) MICROCIRCUITOS.

- 1 Convertidor voltaje frecuencia XR 4151 o equivalente LM 351.
- 1 Amplificador operacional SN 7476.
- 1 Acoplador optoelectrónico 4N25.

D.) ESTADO SOLIDO.

- 1 Transistor BC337.

E.) MISCELANEA.

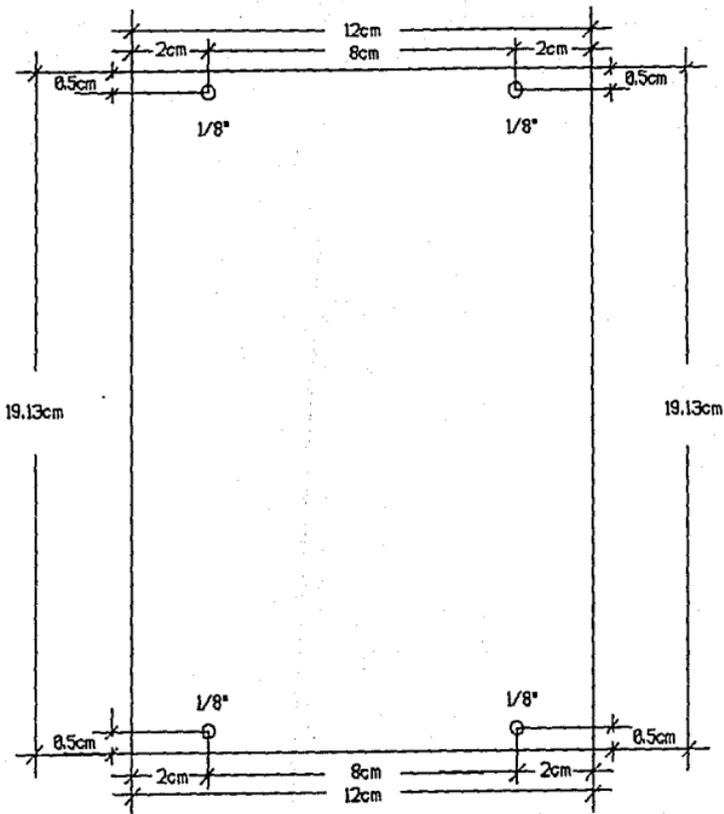
- 1 Conector tipo peine de 18 pins impreso, macho.
- 1 Borne de color rojo.
- 1 Borne de color negro.
- 1 Interruptor de miniatura de dos polos dos tiros.
- 1 Banana color rojo.
- 1 Banana color negro.
- 1 Led color rojo.
- 1 Porta led.
- 1 Circuito impreso de (2.65 x 2.10) pulgadas.
- 1 Impresión de frontal a tres tintas.

- 4 Tornillos Allen de 1/8" de ϕ .
- 8 Pijas de 1/8 de ϕ .
- 5 Tornillos de 1/8" de ϕ por 1" de largo.
- 5 Tuercas de 1/8 de ϕ .
- 1 Metro de cable de color rojo.
- 1 Metro de cable de color negro.
- 4 Metros de alambre para teléfono.
- 2 Metros de soldadura.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 19.13) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (12 x 21) cm.
- 1 Pieza de lámina calibre 22 de (8 x 45.12) cm.
- 1 Pieza de acrílico de (0.3 x 7 x 22) cm.
- 2 Electrodo de punta de prueba.

A continuación presentaremos los planos de los chasis de los módulos NIM, que en este caso son iguales para todos los módulos de instrumentación.

Además de las graficas de función de transferencia de los módulos de instrumentación, o sea lectura del módulo contra frecuencia. Para los casos en que debe de hacerse la conversión en la cual nuestro sistema decodifique la señal y pueda desplegar la lectura.

150

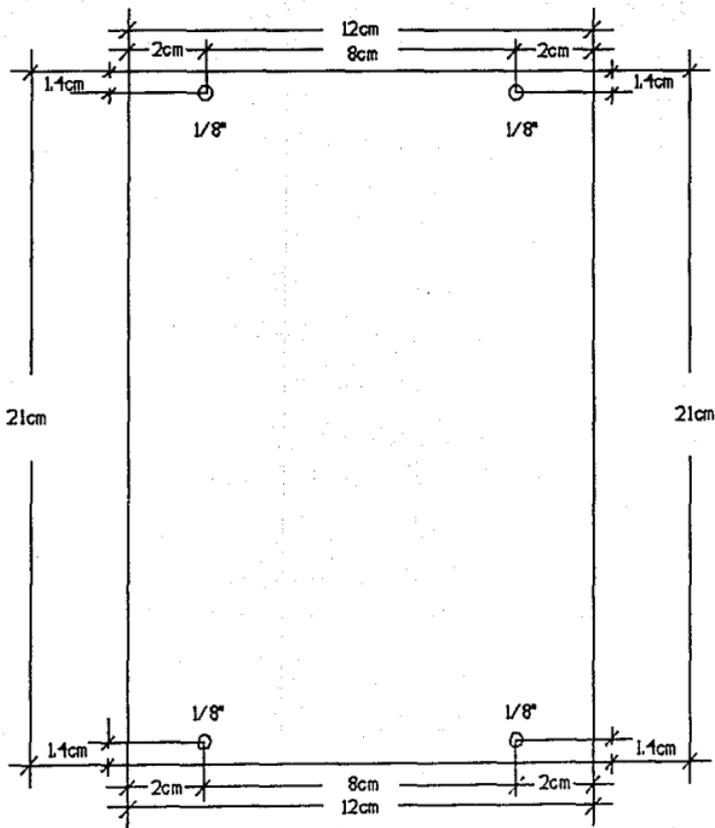


TAPA CHICA

CJ. UNAM

NO ESTA A ESCALA

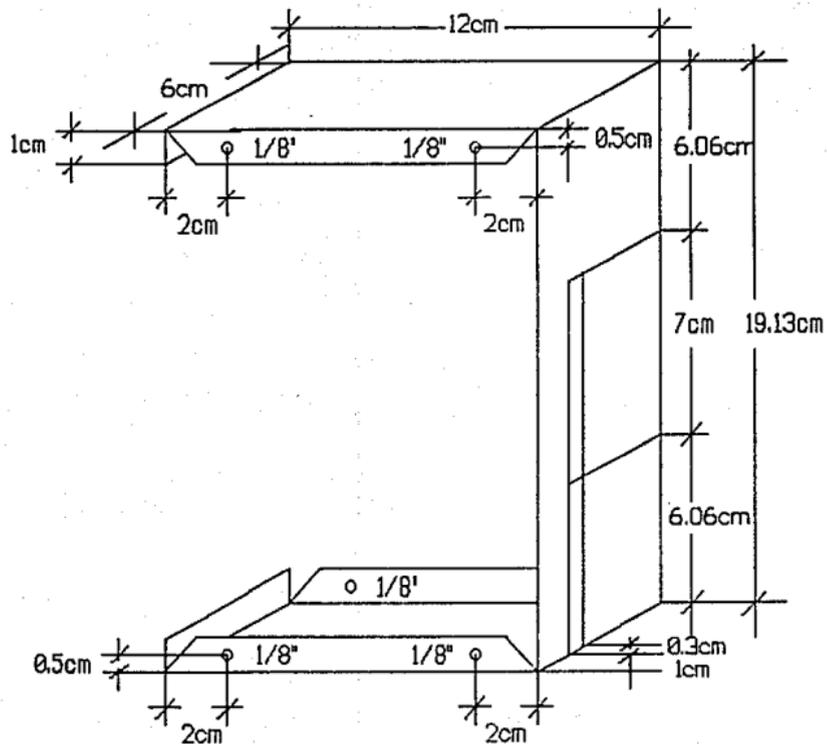
151



TAPA GRANDE

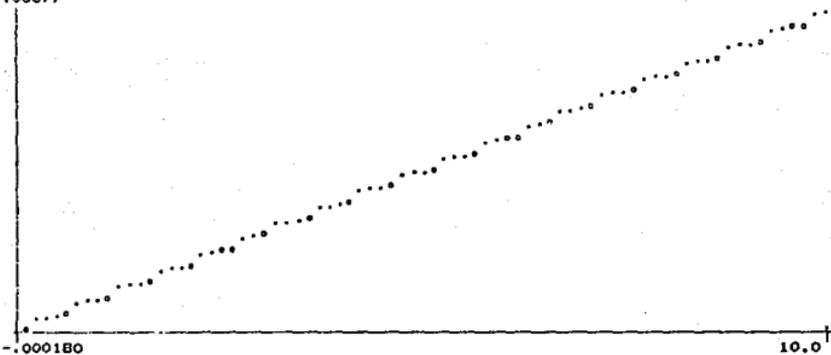
C.I. UNAM.

NO ESTA A ESCALA

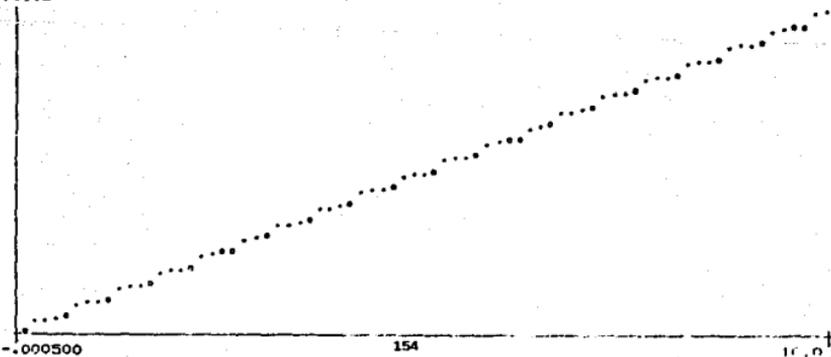


ESTRUCTURA DEL CHASIS
 PARA EL NIM
 C. I. UNAM.
 NO ESTA A ESCALA.

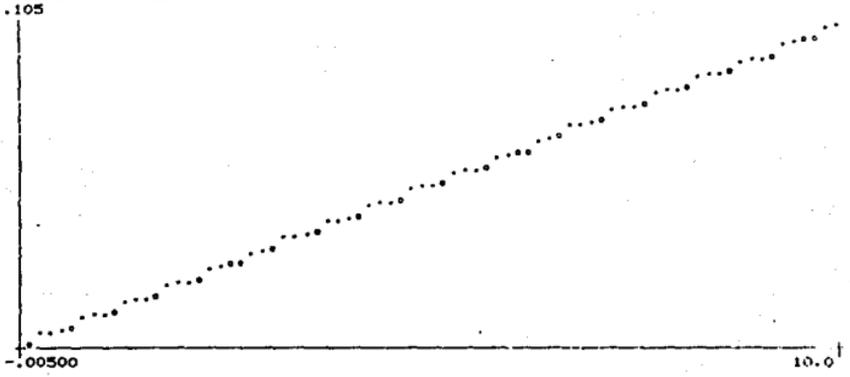
Voltaje = ((frecuencia * 100 + 0.5)/100000) * 0.2593
.00277



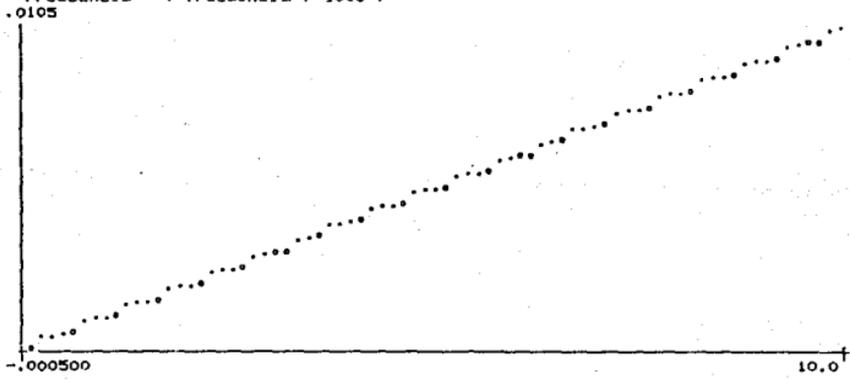
Amperaje = ((frecuencia * 100 + 0.5)/100000)
.0105



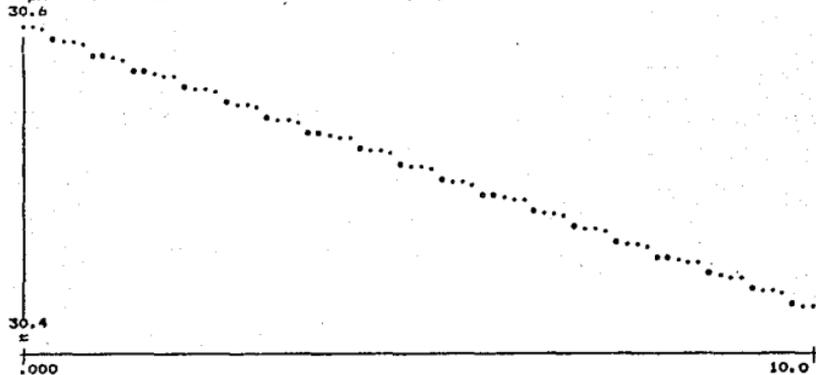
Dhms = ((frecuencia * 100 + 0.5)/10000)



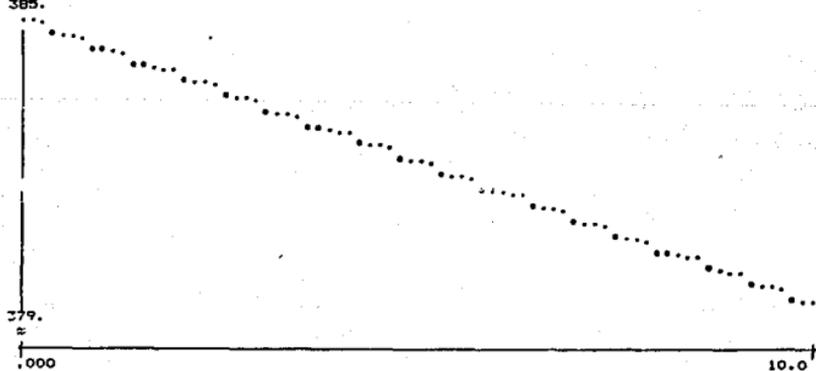
Frecuencia = (frecuencia / 1000)



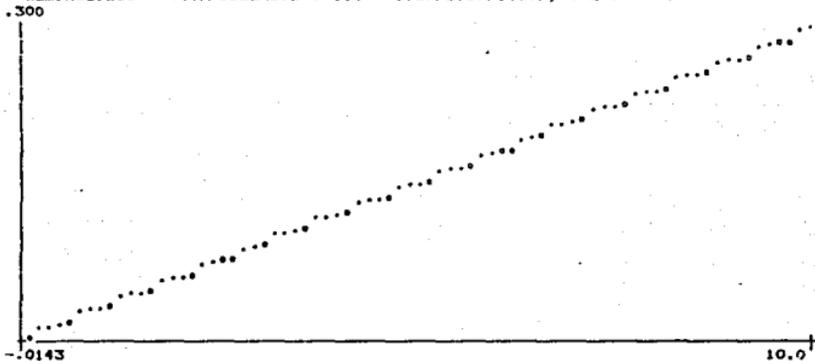
$\text{pH} = -((\text{frecuencia} - 1395) / 59.2) + 7;$ (para 25 grados C)



$\text{Temperatura} = (((0.743586 - (\text{frecuencia} / 1000)) / 1.93422) \# 100000 + 0.5) / 100;$ (grados C)



Luminosidad = (((frecuencia * 100 + 0.5)/3.5)/1000); (%)



CAPITULO VIII

SOFTWARE

INTRODUCCION

En este capitulo expondremos una explicación del software para la microcomputadora en un lenguaje sencillo y fácil de manejar como lo es el basic, con la ambición de que esté pueda ser utilizado también por los estudiantes que manejen el laboratorio por computadora, y si quisieran hacer alguna aportación o modificación lo puedan hacer.

El software se ha realizado de tal manera de que cualquier estudiante pueda seguir las instrucciones que aparecen en el monitor de la microcomputadora. A si el estudiante podrá hacer uso del laboratorio cuando necesite hacer alguna experimentación.

8.1 EXPLICACION.

Dado que nuestra instrumentación manda señales de pulsos cuadrados a la microcomputadora, necesitamos tener un procedimiento en el cual podamos leer dichas señales, este proceso no lo dará el software.

El proceso del software consiste en correr por principio un programa denominado *frecuencia*, que nos permite contar el número de pulsos cuando la señal se encuentre arriba y el número de pulsos cuando se encuentre abajo, a si mismo el número de transiciones que ocurren en la señal de pulsos; es decir cada vez que la señal va de arriba a abajo y viceversa. Como lo anterior se desarrolla en un lapso de tiempo de máquina (el tiempo que tarda la máquina en leer instrucciones y ejecutarlas), podemos saber el lapso de tiempo en que ocurre dicho procedimiento y por lo tanto saber la frecuencia en que se desarrolla este proceso. Esto será el número de lecturas que puede medir el puerto de la microcomputadora, durante alguna experimentación.

Este programa *frecuencia* es el principal programa que ayuda a que nuestro sistema pueda ponerse en uso, y es el programa auxiliar en muchos casos para que la instrumentación se pueda calibrar.

De acuerdo a lo anteriormente mencionado el programa *frecuencia* lee los cambios de estado que está sufriendo la entrada de señal en el puerto de la microcomputadora con una frecuencia de 1 MHzertz, para la microcomputadora Apple II-C.

El resultado de este procedimiento lo metemos en alguna localidad de memoria de la microcomputadora y después este resultado sera llamado por cada instrumento de nuestro sistema.

Por consiguiente cada instrumento de medición tiene un programa en el cual manda llamar al resultado del programa *frecuencia*, para que pueda utilizarlo mediante una relación frecuencia-lectura de medición y obtener así una lectura del tipo que estemos midiendo.

Luego entonces la lectura de medición varía con forme varía el resultado del programa frecuencia, que es la frecuencia con que cambia la señal en el puerto de la microcomputadora.

El programa laboratorio tiene varias subrutinas que son llamadas cuando estas se quieran utilizar, que es el caso cuando se elige uno de los instrumentos de medición de nuestro sistema.

8.2 PROGRAMA LABORATORIO.

Este es el programa que pone en funcionamiento el sistema de laboratorio controlado por computadora.

```
01 REM ** DIRECTORIO **
02 HOME: TEXT
03 VTAB 4: HTAB 15: INVERSE : PRINT "FUNCION": NORMAL
04 VTAB 7: HTAB 8: PRINT " (A) VOLTIMETRO "
05 VTAB 8: HTAB 8: PRINT " (B) AMPERIMETRO "
06 VTAB 9: HTAB 8: PRINT " (C) OHMETRO "
07 VTAB 10: HTAB 8: PRINT " (D) FRECUENCIMETRO "
08 VTAB 11: HTAB 8: PRINT " (E) PHMETRO "
09 VTAB 12: HTAB 8: PRINT " (F) TERMOMETRO "
10 VTAB 13: HTAB 8: PRINT " (G) FOTOMETRO "
11 VTAB 14: HTAB 8: PRINT " (H) CRONOMETRO "
12 VTAB 15: HTAB 8: PRINT " (I) FOTOCOLORIMETRO "
13 VTAB 16: HTAB 8: PRINT " (J) CONDUCTIMETRO "
14 VTAB 17: HTAB 8: PRINT " (K) GRAFICA "
15 VTAB 18: HTAB 8: PRINT " (L) GRAFICA MULTIPLE "
16 VTAB 19: HTAB 8: PRINT " (M) SUMADOR DE SEÑALES "
17 VTAB 20: HTAB 8: PRINT " (S) SALIR "
18 VTAB 23: INVERSE : PRINT " PARA SELECCIONAR TECLEE LA TECLA
DESEADA ": NORMAL
19 VTAB 24: INVERSE : PRINT " Y LUEGO RETURN ": NORMAL
20 INPUT R$
21 IF R$ = "A" THEN 35
22 IF R$ = "B" THEN 37
23 IF R$ = "C" THEN 39
24 IF R$ = "D" THEN 41
25 IF R$ = "F" THEN 43
26 IF R$ = "G" THEN 45
27 IF R$ = "H" THEN 47
28 IF R$ = "I" THEN 49
29 IF R$ = "J" THEN 51
30 IF R$ = "K" THEN 53
31 IF R$ = "L" THEN 55
32 IF R$ = "M" THEN 57
33 IF R$ = "S" THEN 59
34 GOTO 04
35 D$ = CHR$(4)
36 PRINT D$; " RUN VOLTIMETRO "
37 D$ = CHR$(4)
38 PRINT D$; " RUN AMPERIMETRO "
39 D$ = CHR$(4)
40 PRINT D$; " RUN OHMETRO "
41 D$ = CHR$(4)
42 PRINT D$; " RUN FRECUENCIMETRO "
43 D$ = CHR$(4)
```

```

44 PRINT D$; " RUN PHMETRO "
45 D$ = CHR$(4)
46 PRINT D$; " RUN TERMOMETRO "
47 D$ = CHR$(4)
48 PRINT D$; " RUN FOTOMETRO "
49 D$ = CHR$(4)
50 PRINT D$; " RUN CRONOMETRO "
51 D$ = CHR$(4)
52 PRINT D$; " RUN FOTOCOLORIMETRO "
53 D$ = CHR$(4)
54 PRINT D$; " RUN CONDUCTIMETRO "
55 D$ = CHR$(4)
56 PRINT D$; " RUN GRAFICA "
57 D$ = CHR$(4)
58 PRINT D$; " RUN GRAFICA MULTIPLE "
59 D$ = CHR$(4)
60 PRINT D$; " RUN SUMADOR DE SEÑALES "
61 HOME: NEW

100 REM (LABORATORIO POR COMPUTADORA)
110 REM (SOFTWARE)
120 READ N1
130 DIM F$(N1 + 1)
140 FOR A = 1 TO N1
150 READ F$(A)
160 NEXT A
170 VTABLE 1: HTABLE 10: INVERSE
190 PRINT "SISTEMA DE MEDICION": NORMAL
200 PRINT
210 FOR I = 1 TO N1
215 PRINT
220 IF I < 10 THEN 260
230 IF I >= 10 THEN 250
240 HTABLE 9: PRINT "<;I;>" ;F$(I): GO TO 260
250 HTABLE 9: PRINT "<;I;>" ;F$(I)
260 NEXT I
270 VTABLE 20: HTABLE 3:
280 INPUT "CUANTOS APARATOS DESEAS (1 o 2) ?":NAP
290 IF NAP > 0 AND NAP < 3 THEN 305
300 PRINT CHR$(7): GO TO 270
305 IF NAP > 1 THEN 320
310 VTABLE 20: PRINT"
311 VTABLE 20: PRINT "   TECLEA EL NUMERO DESEADO:   "
312 VTABLE 22: HTABLE 14:
313 INPUT "-> PUERTO 0: "; A1
314 IF A1 < > N1 THEN 316
315 PRINT CHR$(4); "RUN TEMAS"
316 IF A1 > 0 AND A1 < N1 THEN 318
317 PRINT CHR$(7): GO TO 311
318 A2 = 0: GO TO 360
320 VTABLE 20: PRINT"
325 VTABLE 19: PRINT"   TECLEA LOS NUMEROS DESEADOS:   "
330 VTABLE 21: HTABLE 12:
332 INPUT "-> PUERTO 0: "; A1
335 IF A1 = 6 THEN A2 = 0: GO TO 360
336 IF A1 < > N1 THEN 338
337 PRINT CHR$(4); "RUN TEMAS"
338 IF A1 > 0 AND A1 < N1 THEN 340

```

```

339 PRINT CHR$ (7): GO TO 330
340 VTAB 22: HTAB 12:
342 INPUT "--> PUERTO 2: "; A2
345 IF A2 = 6 THEN PRINT CHR$ (7): GO TO 170
346 IF A2 < > N1 THEN 348
347 PRINT CHR$ (4); "RUN TEMAS"
348 IF A2 > 0 AND A2 < N1 THEN 360
349 PRINT CHR$ (7): GO TO 340
360 HOME: TEXT
400 VTAB 1
405 PRINT : "PARA SU EMPLEO VEA INSTRUCTIVO"
406 VTAB 3: HATB12:
407 INVERSE: PRINT "PARA IR A MENU <M>": NORMAL
408 PRINT "
410 PRINT CHR$ (4); "BLOAD FRECUENCIA"
415 FOR V =5 TO 23
417 VTAB (V): HTAB 21:
418 PRINT "R"
419 NEXT V
420 TH = 0
430 ON A1 GO SUB 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500
435 IF A2 = 0 THEN 500
440 TH = 21
450 ON A2 GO SUB 1000, 1500, 2000, 2500, 3000, 3500
500 LL = 768
510 TH = 0
550 ON A1 GO SUB 4000. 4500, 5000, 5500, 6000, 6500
555 IF A2 = 0 THEN 580
560 LL = 870
565 TH = 21
570 ON A2 GO SUN 4000, 4500, 5000, 5500, 6000, 6500
580 GO TO 500
1000 VTAB 8: HTAB (TH + 5)
1005 INVERSE: PRINT "VOLTMETRO":NORMAL
1010 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
1015 PRINT " INTERVALO A MEDIR "
1020 VTAB 14: HTAB (TH + 2)
1025 PRINT "0: 0 - 2 VOLTS"
1030 HTAB (TH + 2)
1035 PRINT "1: 0 - 20 VOLTS"
1040 HTAB (TH + 2)
1045 PRINT "2: 0 - 200 VOLTS"
1060 VTAB 22: HTAB (TH + 5)
1065 INVERSE : PRINT " PARA CAMBIAR "
1070 HTAB (TH + 5)
1075 PRINT " ESCALA <C> ": NORMAL
1080 VTAB 18: HTAB (TH + 2)
1085 INPUT "TECLEE 0, 1 o 2: ";R
1090 IF R < 3 THEN 1100
1095 PRINT CHR$ (7): GO TO 1080
1100 VTAB 14
1105 HTAB (TH + 2):PRINT"
1110 HTAB (TH + 2)
1115 PRINT "
1120 HTAB (TH + 2)
1125 PRINT "
1130 VTAB 18: HTAB (TH + 2)
1135 PRINT "

```

```

1137 VTAB 18: HTAB 21
1138 PRINT " ã "
1139 VTAB 12: HTAB (TH + 1): PRINT " _____ "
1140 RETURN

1500 VTAB 8: HTAB (TH + 3)
1505 INVERSE : PRINT " FRECUENCIMETRO ": NORMAL
1510 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
1515 PRINT " INTERVALO A MEDIR "
1520 VTAB 14: HTAB (TH + 2)
1525 PRINT "0: 0 - 10      KHz"
1530 HTAB (TH + 2)
1535 PRINT "1: 0 - 100    KHz"
1540 HTAB (TH + 2)
1545 PRINT "2: 0 - 1000 KHz"
1550 VTAB 22: HTAB (TH + 5)
1560 INVERSE : PRINT " PARA CAMBIAR "
1570 HTAB (TH + 5)
1575 PRINT " ESCALA <C> ":NORMAL
1580 VTAB 18: HTAB (TH + 2)
1585 INPUT "TECLEE 0, 1 o 2: ";R2
1590 IF R < 3 THEN 1600
1595 PRINT CHR$( 7): GO TO 1580
1600 VTAB 14
1605 HTAB (TH + 2): PRINT "
1615 HTAB (TH + 2): PRINT "
1625 HTAB (TH + 2): PRINT "
1630 VTAB 18: HTAB (TH + 2)
1635 PRINT "
1636 VTAB 18: HTAB 21
1637 PRINT " ã "
1638 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
1639 PRINT "
1640 RETURN

2000 VTAB 8: HTAB (TH + 4)
2010 INVERSE : PRINT "TERMOMETRO":NORMAL
2020 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
2030 PRINT "
2040 VTAB 14: HTAB (TH + 2)
2050 PRINT " Grados Centigrados "
2060 RETURN

2500 VTAB 8: HTAB (TH + 5)
2510 INVERSE : PRINT " FOTOMETRO ":NORMAL
2520 VATAB 12: HTAB (TH + 1)
2530 PRINT "
2540 VTAB 14: HTAB (TH + 5)
2550 PRINT " Luminosidad "
2560 RETURN

3000 VTAB 8: HTAB (TH + 5)
3010 INVERSE : PRINT " PHMETRO ":NORMAL
3020 VTAB 19: HTAB (TH + 1)
3030 PRINT " Grados Centigrados "
3040 VATB 18: HTAB (TH + 2)
3050 INPUT " TEMPERATURA ? : "; TEMP
3060 VTAB 18: HTAB 21

```

```

3070 PRINT " ñ "
3080 VATAB 12: HTAB (TH + 1)
3090 PRINT "
3100 VATAB 18: HTAB (TH + 1)
3110 PRINT "
3120 VATAB 19: HTAB (TH + 1)
3130 PRINT "
3140 RETURN

3500 VATAB 8: HTAB 4
3510 INVERSE : PRINT " CRONOMETRO ": NORMAL
3520 VATAB 19: HTAB 4
3530 PRINT " PRESIONE BO ": NORMAL
3540 VATAB 12: HTAB 1
3550 PRINT " Segundos "
3560 RETURN

4000 VATAB 7: HTAB (TH + 5)
4010 INVERSE : PRINT " AMPERIMETRO ": NORMAL
4020 VATAB 11: HTAB (TH + 2)
4030 PRINT " INTERVALO A MEDIR "
4040 VATAB 13: HTAB (TH + 2)
4050 PRINT "0: 0 - 200 mAMPERS "
4060 HTAB (TH + 2)
4070 PRINT "1: 0 - 20 mAMPERS "
4080 HTAB (TH + 2)
4090 PRINT "2: 0 - 2 AMPERS "
4100 VATAB 21: HTAB (TH + 5)
4110 INVERSE : PRINT " PARA CAMBIAR "
4120 HTAB (TH + 5)
4130 PRINT " ESCALA <C> ": NORMAL
4140 VATAB 18: HTAB (TH + 2)
4150 INPUT " TECLEE 0, 1 o 2: ";RO
4160 IF RO < 3 THEN 4180
4170 PRINT CHR$( 7): GO TO 4140
4180 VATAB 14
4190 HTAB (TH + 2): PRINT "
4200 HTAB (TH + 2)
4210 PRINT "
4220 HTAB (TH + 2)
4230 PRINT "
4240 VATAB 18: HTAB 21
4250 PRINT " ñ "
4260 VATAB 12: HTAB (TH + 1): PRINT "
4270 RETURN

4500 VATAB 6: HTAB (TH + 5)
4510 INVERSE : PRINT " FOTOCOLORIMETRO ": NORMAL
4520 VATAB 10: HTAB (TH + 1)
4530 PRINT "
4540 VATAB 12: HTAB (TH + 5)
4550 PRINT " Luminicidad % "
4560 RETURN

5000 VATAB 5: HTAB (TH + 5)
5010 INVERSE : PRINT " CONDUCTIMETRO ":NORMAL
5020 VATAB 10: HTAB (TH + 2)
5030 PRINT "

```

```

5040 VTAB 13: HTAB (TH + 5)
5050 PRINT " Mhos "
5060 RETURN

6000 VTAB 10: HTAB (TH + 5)
6010 INVRSE : PRINT " OHMETRO ": NORMAL
6020 VTAB 14: HTAB (TH + 2)
6030 PRINT " INTERVALO A MEDIR "
6040 VTAB 16: HTAB (TH + 2)
6050 PRINT "0: 0 - 1 KOHms "
6060 HTAB (TH + 2)
6070 PRINT "1: 1 - 10 KOHms "
6080 HTAB (TH + 2)
6090 PRINT "2: 10 - 100 KOHms "
6100 VTAB 24: HATB (TH + 5)
6110 INVERSE : PRINT " PARA CAMBIAR "
6120 HTAB (TH + 5)
6130 PRINT " ESCALA <C> ": NORMAL
6140 VTAB 20: HTAB (TH + 2)
6150 INPUT "TECLEE 0, 1 o 2: ";RS
6160 IF RS < 3 THEN 6180
6170 PRINT CHR$ (7): GO TO 6140
6180 VTAB 16
6190 HTAB (TH + 2): PRINT " "
6200 HTAB (TH + 2): PRINT " "
6210 HTAB (TH + 2): PRINT " "
6220 VTAB 20: HTAB (TH + 2): PRINT " "
6230 VTAB 20: HTAB 21
6240 PRINT " ñ "
6250 VTAB 14: HTAB (TH + 1): PRINT " "
6260 RETURN

7000 CALL (LL):X = PEEK (8): Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
7005 CH = PEEK (11)
7010 N = 12 * X + (256 * 12 + 1 ) * Y-4
7020 CYC = CL + 256 * CH
7030 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
7040 T = 1/ 1022714 * N / CYC:F = 1/T-7.05
7050 IF F < 2100 THEN 7090
7060 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
7070 FLASH: PRINT " FUERA DE ESCALA ": NORMAL
7080 GO TO 7000
7090 IF R = 0 THEN 7120
7100 IF R = 1 THEN 7150
7110 IF R = 2 THEN 7180
7120 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
7130 PRINT " V = "; INT (F + 0.5)/1000;" VOLTS "
7140 GO TO 7200
7150 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
7160 PRINT " V = "; INT (F * 10 + 0.5) / 1000;" VOLTS "
7170 GO TO 7200
7180 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
7190 PRINT " V "; INT (F * 100 + 0.5) / 1000;" VOLTS "
7200 S = PEEK ( -16384)
7230 POKE - 16368,0
7240 IF S = 195 THEN 420
7250 IF S = 205 THEN 170
7260 RETURN

```

```

7500 CALL (LL):X = PEEK (8):Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
7505 CH = PEEK (11)
7510 N = 12 * X + (256 * 12 + 1) * Y - 4
7520 CYC = CL + 256 * CH
7530 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
7540 T = 1 / 1022714 * N / CYC:F = 1 / T
7550 IF F < 10500 THEN 7600
7560 VATB 12: HTAB (TH + 2)
7570 FLASH: PRINT " FUERA DE ESCALA ": NORMAL
7580 GO TO 7700
7600 IF F 1000 THEN 7660
7610 IF R2 = 0 THEN 7630
7620 GO TO 7700
7630 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
7640 PRINT " FREC = "; INT (F + 0.5)/1000; " KHz "
7650 GO TO 7800
7660 IF R2 = 0 THEN 7680
7670 GO TO 7696
7680 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
7690 PRINT "FREC = "; INT (F * 100 + 0.5) / 100; " HZ "
7695 GO TO 7800
7696 IF F < 1000 THEN 7560
7700 IF R2 = 1 THEN 7720
7710 GO TO 7750
7720 VTAB 12: HATB (TH + 2)
7730 PRINT " FREC = "; INT ( F * 10 + 0.5)/1000; " KHz "
7740 GOTO 7800
7750 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
7760 PRINT " F = "; INT (F * 100 + 0.5)/1000; " KHz "
7800 S = PEEK ( -16384)
7810 POKE - 16368,0
7820 IF S = 195 THEN 420
7830 IF S = 205 THEN 170
7840 RETURN

```

```

8000 CALL (LL):X = PEEK (8):Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
8005 CH = PEEK (11)
8010 N = 12 * X + (256 * 12 + 1) * Y - 4
8020 CYC = CL + 256 * CH
8030 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
8040 T = 1 / 1022714 * N / CYC:F = 1 / T
8050 V = F / 1000
8060 V1 = (0.743586 - V) / 1.93422
8070 VATB 12: HTAB (TH + 4)
8080 PRINT"TEMP = "; INT (V1 * 100000 + 0.5)/100; " OC "
8090 S = PEEK ( - 16384)
8100 POKE - 16368,0
8110 IF S = 205 THEN 170
8120 RETURN

```

```

8500 CALL (LL):X = PEEK (8):Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
8505 CH = PEEK (11)
8510 N = 12 * X + (256 * 12 + 1) * Y - 4
8520 CYC = CL + 256 * CH
8530 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
8540 T = 1 / 1022714 * N / CYC:F = 1 / T - 163
8550 VTAB 12: HTAB (TH + 6)
8560 PRINT INT ((F * 100 + 0.5)/3.5)/1000;" % "

```

```

8570 S = PEEK ( - 16384)
8580 POKE - 16368,0
8590 IF S = 205 THEN 170
8600 RETURN

9000 CALL (LL):X = PEEK (8):Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
9005 CH = PEEK (11)
9010 N = 12 * X + (256 * 12 + 1) * Y - 4
9020 CYC = CL + 256 * CH
9030 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
9040 T = 1 / 1022714 * N / CYC:F = 1 / T
9050 V = F - 1395
9060 M = 0.2 * TEMP + 54.20
9070 PH = - (V / M) + 7
9080 VATB 12: HTAB (TH + 6)
9090 PRINT " PH = "; INT (PH * 100 + 0.5) / 100
9100 VTAB 15: HTAB (TH + 5)
9110 PRINT "TEMP = "; TEMP; " OC "
9120 VTAB 17: HTAB (TH + 2)
9130 PRINT "V = "; INT (V * 100 + 0.5) / 100; " mV "
9140 VTAB 17: HTAB (TH + 2)
9150 PRINT " PENDIENTE = ";N
9160 S = PEEK ( - 16384)
9170 POKE - 16368,0
9180 IF S = 195 THEN 3020
9190 IF S = 205 THEN 170
9200 RETURN

9500 VTAB 17: HTAB 1
9505 PRINT " PARA INICIAR CONTEO "
9508 B = 128
9510 C = 0
9520 X = PEEK (49249)
9530 IF X < B THEN C = 1
9540 IF X > B - 1 AND C = 1 THEN GO TO 9560
9542 S = PEEK ( - 16384)
9544 POKE - 16368,0
9546 IF S = 205 THEN 170
9550 GO TO 9520
9560 FLASH: VTAB 12: HTAB 5: PRINT " CONTANDO ": NORMAL
9570 C = 0
9580 K = 0
9590 K = K + 1
9600 X = PEEK (49249)
9610 VTAB 17: HTAB 1: PRINT " PARA DETENER CONTEO "
9620 IF X < B THEN C = 1
9630 IF X > B - 1 AND C = 1 THEN 9650
9640 GO TO 9590
9650 T = (K * 200) / 37.6295
9660 T = INT (10 * T + 0.5) / 1000
9670 IF T < 1 THEN VTAB 12: HTAB 3
9675 PRINT "0"; T; " SEGUNDOS "; GO TO 9700
9680 IF T = 1 THEN VTAB 12: HTAB 3
9685 PRINT T; " SEGUNDOS "; GO TO 9700
9690 VTAB 12: HTAB 3: PRINT T ; " SEGUNDOS "
9700 C = 0
9710 VTAB 17: HTAB 1: PRINT " PARA REGRESO A CERO "
9720 X = PEEK (49249)

```

```

9730 IF X < B THEN C = 1
9740 IF X > B - 1 AND C=1 THEN 9780
9750 S = PEEK ( - 16384)
9760 POKE - 16368,0
9770 IF S = 205 THEN 170
9780 GO TO 9720
9790 VTAB 12: HTAB 1: PRINT " 0.00. "
9800 S = PEEK ( - 16384)
9810 POKE - 16368,0
9820 IF S = 205 THEN 170
9830 GO TO 9500
9840 RETURN

```

```

9900 CALL (LL):X = PEEK (8): Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
9905 CH = PEEK (11)
9910 N = 12 * X + (256 * 12 + 1 ) * Y-4
9915 CYC = CL + 256 * CH
9920 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
9925 T = 1/ 1022714 * N / CYC:F = 1/T-7.05
9930 IF F < 2100 THEN 9950
9935 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
9940 FLASH: PRINT " FUERA DE ESCALA ": NORMAL
9945 GO TO 9900
9950 IF R = 0 THEN 9965
9955 IF R = 1 THEN 9980
9960 IF R = 2 THEN 10000
9965 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
9970 PRINT " A = "; INT (F + 0.5)/1000;" AMPERS "
9975 GO TO 10020
9980 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
9985 PRINT " A = "; INT (F * 10 + 0.5) / 1000;" AMPERS "
9990 GO TO 10020
10000 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
10010 PRINT " A "; INT (F * 100 + 0.5) / 1000;" AMPERS "
10020 S = PEEK ( -16384)
10030 POKE - 16368,0
10040 IF S = 195 THEN 420
10050 IF S = 205 THEN 170
10060 RETURN

```

```

10100 CALL (LL):X = PEEK (8):Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
10105 CH = PEEK (11)
10110 N = 12 * X + (256 * 12 + 1) * Y - 4
10120 CYC = CL + 256 * CH
10130 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH
10140 T = 1 / 1022714 * N / CYC:F = 1 / T - 163
10150 VTAB 12: HTAB (TH + 6)
10160 PRINT INT ((F * 100 + 0.5)/3.5)/1000;" % "
10170 S = PEEK ( - 16384)
10180 POKE - 16368,0
10190 IF S = 205 THEN 170
10200 RETURN

```

```

10900 CALL (LL):X = PEEK (8): Y = PEEK (9): CL = PEEK (10)
10905 CH = PEEK (11)
10910 N = 12 * X + (256 * 12 + 1 ) * Y-4
10915 CYC = CL + 256 * CH
10920 N = N + 11 * (CYC - 1) + 4 * CH

```

```

10925 T = 1/ 1022714 * N / CYC:F = 1/T-7.05
10930 IF F < 2100 THEN 10950
10935 VTAB 12: HTAB (TH + 2)
10940 FLASH: PRINT " FUERA DE ESCALA ": NORMAL
10945 GO TO 10900
10950 IF R = 0 THEN 10965
10955 IF R = 1 THEN 10980
10960 IF R = 2 THEN 11000
10965 TAB 12: HTAB (TH + 1)
10970 PRINT " W = "; INT (F + 0.5)/1000;" OHMS "
10975 GO TO 11020
10980 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
10985 PRINT " W = "; INT (F * 10 + 0.5) / 1000;" OHMS "
10990 GO TO 11020
11000 VTAB 12: HTAB (TH + 1)
11010 PRINT " W "; INT (F * 100 + 0.5) / 1000;" OHMS "
11020 S = PEEK (-16384)
11030 POKE - 16368,0
11040 IF S = 195 THEN 420
11050 IF S = 205 THEN 170
11060 RETURN

20000 DATA 11
20100 DATA VOLTIMETRO
20200 DATA FRECUENCIMETRO
20300 DATA TERMOMETRO
20400 DATA FOTOMETRO
20500 DATA PHMETRO
20600 DATA CRONOMETRO
20700 DATA AMPERIMETRO
20800 DATA FOTOCOLORIMETRO
20900 DATA CONDUCTIMETRO
21000 DATA OHMETRO
21100 DATA IR A INDICE DE MATERIAS

```

8.3 PROGRAMA GRAFICADOR.

El programa para hacer una gráfica es el siguiente:

```

100 REM **PROGRAMA GRAFICA 1**
110 REM
120 DIM B(280)
130 HOME
140 HGR
150 HCOLOR= 3
160 FOR I = 0 TO 279
170 X = 159 - PDL (1) * 159 / 255
180 HPLOT I,X
190 B(I) = X
200 FOR J = 1 TO 25: NEXT J
210 NEXT I
220 VTAB 24
230 INPUT " QUIERES IMPRIMIR ?
      (S/N) : "; G$
240 IF G$ = "S" THEN RUN
250 IF G$ = "N" THEN 265

```

```

260 PRINT CHR$( 7): GOTO 230
265 PRINT
270 INPUT"      QUIERES OTRA GRAFICA ?
      (S/N) : " ; T$
280 IF T$ = "S" THEN RUN
290 IF T$ = "N" THEN 380
300 PRINT CHR$( 7): GOTO 270
310 PR# 1
320 FOR K = 1 TO 279 STEP 2
330 A = INT (B(K) / 2 + 0.5)
340 PRINT TAB( A ) ; "*"
350 NEXT K
360 PR# 0
370 GOTO 270
380 TEXT
390 HOME
400 D$ = CHR$( 4)
410 PRINT D$; "RUN DIR"
500 END

```

8.4 PROGRAMA GRAFICADOR MULTIPLE.

```

010 REM ** GRAFICADOR MULTIPLE **
020 HOME: TEXT
030 S1 = 0.18
040 S2 = 0.18
050 S3 = 0.18
060 O1 = 47 : REM SET Y-AXIS OFFSET
070 O2 = 95
080 O3 = 190
090 TIME = 10
100 VTAB 2: HTAB 4: PRINT " ESTE SISTEMA GRAFICA LAS SEÑALES DE "
110 VTAB 4: HTAB 10: PRINT " Yo, Y1 y SU SUMA "
120 VTAB 6: HTAB 8: PRINT " Yo APARECE ARRIBA "
130 VTAB 7: HTAB 8: PRINT " Y1 APARECE EN MEDIO "
140 VTAB 8: HTAB 8: PRINT " LA SUMA APARECE ABAJO "
150 VTAB 11: HTAB 12: PRINT " PARA GRAFICAR "
160 VTAB 12: HTAB 11: PRINT " PRESIONE RETURN "
170 VTAB 14: HTAB 7: PRINT " PARA VOLVER A GRAFICAR "
180 VTAB 15: HTAB 11: PRINT " PRESIONE RETURN ": NORMAL
190 VTAB 19: HTAB 14: PRINT " PARA SALIR "
200 VTAB 20: HTAB 13: INVERSE: PRINT " PRESIONE <S> ": NORMAL
210 VTAB 22: HTAB 20
220 INPUT " "; K9$
230 HGR2 : HCOLOR = 3
240 HPLOT 0,48 TO 0, 0 TO 279, 0 TO 279, 48 TO 0, 48 TO 0, 96 TO
279, 96 TO 279, 191 TO 0, 191 TO 0, 96 TO 279, 96 TO 279, 48
250 HPLOT 1, 49 TO 1, 1 TO 278, 1 TO 278, 49 TO 1, 49 TO 1, 97 TO
278, 97 TO 278, 190 TO 1, 190 TO 1, 97 TO 278, 97 TO 278, 49
260 FOR X = 0 TO 279
270 A = PDL (0)
280 B = PDL (1)
290 C = A + B
300 Yo = O1 - A * S1
310 Y1 = O2 - B * S2
320 Yt = O3 - C * S3

```

```

330 HCOLOR = 5
340 HPLOT X, Yc
350 H COLOR = 2
360 HPLOT X, Y1
370 HCOLOR = 1
380 HPLOT X, Yt
390 FOR P = 1 TO TIME: NEXT P
400 S = PEEK ( - 16384 )
410 POKE - 16368,0
420 IF S = 211 THEN 450
430 NEXT X
440 GOTO 230
450 D$ = CHR$( 4)
460 PRINT D$: " RUN DIR "

```

8.5 PROGRAMA SUMADOR DE SEÑALES.

```

010 REM ** SUMADOR DE SEÑALES **
020 HOME: TEXT
030 SEN = 0.36
040 OFST = 188
050 TIME = 50
060 VTAB 2: HTAB 7: PRINT " ESTE SISTEMA REALIZA LA SUMA "
070 VTAB 3: HTAB 13: PRINT " DE LAS SEÑALES "
080 VTAB 8: HTAB 17: PRINT " Yo y Y1 "
090 VTAB 14: HTAB 14: PRINT " PARA GRAFICAR "
100 VTAB 15: HTAB 13: INVERSE : PRINT " PRESIONE RETURN ": NORMAL
110 VTAB 18: HTAB 8: PRINT " PARA REALIZAR OTRA GRAFICA "
120 VTAB 19: HTAB 14: INVERSE : PRINT " PRESIONE RETURN ": NORMAL
130 VTAB 23: HTAB 10: PRINT " PARA SALIR DEL SISTEMA "
140 VTAB 24: HTAB 16: INVERSE : PRINT " PRESIONE <S> ": NORMAL
150 VTAB 14: HTAB 20
160 INPUT " "; K9$
170 HGR2 : HCOLOR = 3
180 HPLOT 0, 0 TO279, 0 TO 279, 191 TO 0, 191 TO 0, 0
190 HPLOT 1, 1 TO 278, 1 TO 278, 190 TO 1, 190 TO 1,1
200 FOR X = 0 TO 279
210 A = PDL (0)
220 B = PDL (1)
230 C = A + B
240 Y = OFST - C * SEN
250 HPLOT X,Y
260 FOR P =1 TO TIME: NEXT P
270 S = PEEK ( - 16384 )
280 POKE - 16368,0
290 IF S = 211 THEN 330
300 NEXT X
310 INPUT K9$
320 GOTO 170
330 D$ = CHR$( 4)
340 PRINT D$: " RUN DIR "

```

CAPITULO IX

APLICACION

INTRODUCCION

En el laboratorio de física se pueden observar varios fenómenos de la naturaleza (mecánicos, eléctricos, ópticos, termodinámicos, etc.). Un fenómeno físico que se estudia comúnmente en el laboratorio de física es el movimiento de un péndulo simple. Al estar observando el estudiante el movimiento del péndulo simple, surge la pregunta sobre la causalidad del movimiento del péndulo:

1. ¿ Porqué oscila el péndulo ?
2. ¿ Porqué reocurre el movimiento del péndulo ?
3. ¿ Porqué el periodo no depende del ángulo θ ?
4. ¿ Porqué en la ecuación del periodo aparece $g^{-1/2}$?

Estas preguntas de causalidad, pueden ser contestadas por el alumno, si éste cuenta con una descripción completa del movimiento del péndulo, esto es, mediante la obtención de una gráfica de este movimiento que me permita medir directamente el periodo de oscilación, la amplitud y los intervalos de tiempo al variar la posición, y la variación del momento angular con respecto a la posición. El uso de la microcomputadora en el experimento del movimiento de un péndulo nos permite obtener esta gráfica.

Si utilizamos un potenciómetro conectado a un osciloscopio nos muestra la gráfica continua del movimiento del péndulo para varias oscilaciones completas, pero es imposible conocer las variaciones del tiempo con respecto a la posición.

La aplicación de la microcomputadora como una herramienta de apoyo educativo en el laboratorio de física, puede ser también aplicada a otras áreas, como son los laboratorios de química, biología, electrónica, mecánica, etc., etc...

El objetivo de este trabajo es que el estudiante obtenga un mejor aprovechamiento en sus resultados experimentales mediante la aplicación de la microcomputadora en sus prácticas de laboratorio, en particular la descripción del movimiento del péndulo.

En la siguiente sección se da una descripción sobre el movimiento circular uniforme, éste es muy importante para el estudio del movimiento armónico simple que se muestra en la segunda sección, por ejemplo, la oscilación del péndulo es un movimiento oscilatorio y este tipo de movimiento se relaciona con el movimiento circular uniforme como se puede ver en la sección tres.

En la sección cuatro se estudia el movimiento de rotación mediante el péndulo simple. Posteriormente, en la sección cinco se muestra la conservación de la energía y se calcula la energía potencial con respecto a la posición x , obteniéndose para el péndulo simple el periodo de oscilación. En la sección seis se da la expresión matemática para un oscilador armónico amortiguado y se encuentra la solución de esta ecuación diferencial, se da una explicación física sobre los resultados obtenidos para el caso del

oscilador armónico en equilibrio a) infraamortiguado, b) sobreamortiguado y de c) amortiguamiento crítico.

En otra sección veremos la explicación de un péndulo fúxico, es decir un péndulo rúgido, el cual es el que emplearemos para la obtención de la gráfica del movimiento oscilatorio amortiguado.

Finalmente en la parte experimental, se muestra el algoritmo para la obtención de la gráfica del movimiento del péndulo, el programa, los resultados y el análisis experimental.

9.1 MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME.

La aceleración se define como:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt}$$

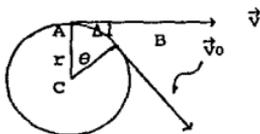


FIG. (9.1-a)

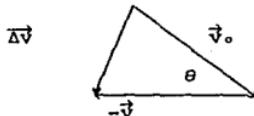


FIG. (9.1-b).

En este diagrama puede observarse que cuando Δt es muy pequeño, $\Delta t \approx 0$, y en consecuencia Δl y $\Delta \theta$ son también muy pequeñas, v será casi paralela a v_0 y Δv será esencialmente perpendicular a ellos. En este caso Δv apunta hacia el centro del círculo. Como a, de acuerdo a la definición anterior, se encuentra en la misma dirección de Δv , también debe apuntar hacia el centro de la circunferencia. En consecuencia, esta aceleración se llama aceleración centrípeta (aceleración en dirección radial) y la denotamos por a_c .

Los vectores \vec{v} , \vec{v}_0 y $\Delta \vec{v}$ en la figura (9.1-b) forman un triángulo que es geoméricamente igual al triángulo ABC en la figura (9.1-a). Esto se apoya en el hecho de que el ángulo entre v_0 y v es igual a $\Delta \theta$, definido como el ángulo entre CA y CB; esto es cierto porque CB es perpendicular a v_0 , y CA es perpendicular a v .

De este modo puede escribirse:

$$\frac{\Delta \vec{v}}{v} \approx \frac{\Delta l}{r}$$

o bien

$$\Delta \vec{v} \approx \frac{v}{r} \Delta l.$$

Esto es conveniente en una identidad cuando Δt se aproxima a cero, porque entonces la longitud del arco, Δl , es igual a la de la cuerda AB.

Para la magnitud de la aceleración centrípeta, a_c usamos la ecuación anterior para $\Delta \vec{v}$, con lo cual:

$$a_c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{v}{r} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

y como

$$\lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta l}{\Delta t}$$

es la rapidez, v , del objeto, se obtiene

$$a_c = \frac{v^2}{r} \quad (1)$$

De aquí que la ecuación para la fuerza centrípeta sea:

$$F_c = m \frac{v^2}{r}$$

Ambas la F_c y a_c se dirigen siempre hacia el centro de la circunferencia.

Tenemos:

$$\frac{\Delta v}{v} \approx \frac{v \Delta t}{r} \quad (\text{aproximadamente})$$

se deduce que:

$$\frac{\Delta v}{\Delta t} \approx \frac{v^2}{r} \quad (\text{aproximadamente})$$

en el límite, cuando $\Delta t \rightarrow 0$, esta expresión queda:

$$a_c = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta v}{\Delta t} \approx \frac{v^2}{r}$$

donde la aceleración a_c apunta hacia el centro de la circunferencia.

9.2 MOVIMIENTO ARMONICO SIMPLE.

La oscilación de un péndulo y la vibración de una cuerda de guitarra son ejemplos de movimientos vibratorios. Este tipo de movimiento se relaciona con el movimiento circular.

La frecuencia de un cuerpo vibratorio es el periodo que se necesita para una vibración. El periodo es el recíproco de la frecuencia.

La amplitud de vibración es la distancia desde la posición de reposo del cuerpo al punto de desplazamiento máximo.

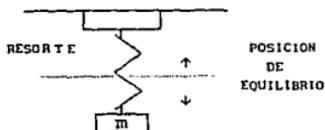


FIG. (9.2).

El movimiento armónico simple (MAS) es una clase especial de movimiento vibratorio. En el MAS la aceleración del cuerpo es directamente proporcional a su desplazamiento (x) desde su posición de equilibrio. Es decir:

$$F = -k x \quad (2)$$

La energía potencial asociada a esta fuerza es:

$$V(x) = 1/2 k x^2 \quad (3)$$

Suponiendo que no actúa ninguna otra fuerza, la ecuación del movimiento será:

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + k x = 0 \quad (4)$$

esta ecuación describe al oscilador armónico simple.

En la figura (9.3) se indica la relación entre el MAS y el movimiento circular por medio de un diagrama.

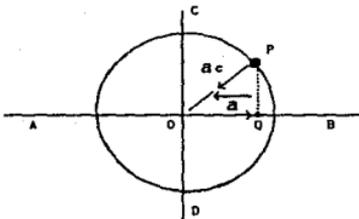


Figura (9.3).

En la figura (9.3) se muestra a un cuerpo P que se mueve con rapidez uniforme alrededor de un círculo de diámetro AB. La aceleración a_c del cuerpo P siempre se dirige hacia el centro de la circunferencia. La aceleración a es la aceleración del cuerpo Q, que siempre está dirigida paralelamente al diámetro AB. Dicha aceleración a del punto Q es la proyección del punto P sobre el diámetro AB.

Considere un cuerpo Q que se mueve hacia adelante y hacia atrás sobre el eje AB , de tal manera que siempre tenga una posición perpendicular a la del cuerpo que se mueve alrededor del círculo. En cualquier posición su aceleración será igual a a y esta relacionada con un MAS. Se puede describir al MAS como la proyección del movimiento circular sobre un eje.

Los periodos de un cuerpo relacionados con un movimiento circular uniforme y los periodos del cuerpo que siga el MAS son iguales. Esto es, el tiempo en que un cuerpo se mueve hacia adelante y hacia atrás a lo largo del eje, es igual al que tarda el otro cuerpo en moverse alrededor del círculo. Tenemos, para el movimiento circular uniforme:

$$a = (4\pi r^2 / T^2) / r \quad (5)$$

Así, el periodo tanto del movimiento circular como del MAS, esta dado por:

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{a} \quad (6)$$

Si aplicamos esta relación, al problema del péndulo, tenemos:

En la figura (9.4), la fuerza gravitacional mg se descompone en dos componentes. La componente F que se encuentra en dirección de la trayectoria del cuerpo y la tensión S de la cuerda.

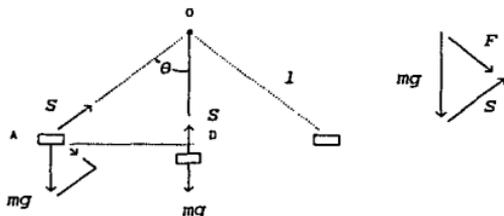


FIG. (9.4) PENDULO.

Como los triángulos OAD y el triángulo de fuerzas mg , F y S de la figura (9.4) son semejantes,

$$\frac{F}{mg} = \frac{DA}{AO} = \frac{x}{l} \quad (7)$$

$$F = \frac{mg x}{l} \quad \text{y usando } F = ma$$

$$a = \frac{g}{l} x$$

De aquí se puede derivar la ecuación para el periodo del péndulo, utilizando la ecuación (6).

$$T^2 = \frac{4\pi^2 r}{a}$$

$$T^2 = \frac{4\pi^2 x}{(g/l) x}$$

$$= \frac{4\pi^2 l}{g}$$

Por tanto:

$$T = 2\pi (l/g)^{1/2} \quad (8)$$

Podemos ver que el periodo de un péndulo no depende de la masa del cuerpo ni de la amplitud de la oscilación. Bajo la aproximación de $\theta \approx \sin \theta$, en ángulos pequeños (amplitudes). El periodo depende sólo de la longitud l de la cuerda del péndulo (g es constante para un lugar dado). De aquí que también se puede usar un péndulo simple para medir la aceleración de la gravedad.

9.3 RELACION ENTRE EL MOVIMIENTO ARMONICO Y EL MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORME.

En la figura (9.3), P es el punto que se mueve alrededor de un círculo de diámetro AB con una velocidad angular constante w , expresada en rad/seg. Q es la proyección ortogonal de P sobre el diámetro horizontal, colocado en el eje de las x. Llamemos punto de referencia a P y círculo de referencia al círculo de referencia en el cual se mueve ese punto. Al ir moviéndose en el círculo el punto de referencia, el punto proyectado Q tiene movimiento de vaivén en el diámetro horizontal. La componente sobre el eje de las x del desplazamiento de P siempre es la misma que la elongación de Q.

Llamemos θ al ángulo entre el radio OP y el eje de las x en el tiempo $t = 0$. Al cabo de un tiempo cualquiera t , el ángulo entre OP y el eje de las x es $(wt + \theta)$, moviéndose el punto P con velocidad angular constante. Por consiguiente, la coordenada x de P en un instante cualquiera es :

$$x = A \cos(wt + \theta) \quad (9)$$

Así pues, el punto Q proyectado se mueve con movimiento armónico simple a lo largo del eje de las x. Por lo tanto, el MAS se puede describir como la proyección del movimiento circular uniforme sobre un diámetro.

γ	=	$w/2$	frecuencia
w	=	$2\pi\gamma$	frecuencia angular
γ	=	$1/T$	
w	=	$2\pi/T$	

La velocidad tangencial del punto de referencia P tiene una magnitud wA .

$$v_x = -wA \sin(wt + \theta) \quad (10)$$

v_x es negativa cuando P y Q se están moviendo hacia la izquierda,
 v_x es positiva cuando P y Q lo están haciendo hacia la derecha.
 v_x es nula en los puntos extremos del MAS, en donde $wt + \theta$ es
 cero y π .

La aceleración del punto P en el movimiento circular uniforme
 está dirigida radialmente hacia el centro y su magnitud es $w^2 A$.

La aceleración del punto proyectado Q es:

$$a_x = -w^2 A \cos(wt + \theta) \quad (11)$$

es la aceleración del punto que ejecuta el MAS.

Se puede ver que a_x es cero en los puntos medios del
 movimiento armónico simple, en donde $wt + \theta = \pi/2$, o bien, $3\pi/2$.

Si hubiéramos tomado las proyecciones ortogonales del punto
 de referencia sobre el eje de las y , en lugar de las x ,

$$y = A \sin(wt + \theta) \quad (12)$$

Es claro que la proyección del movimiento circular uniforme
 sobre un diámetro cualquiera dá un MAS.

Recíprocamente, el movimiento circular uniforme se puede
 describir como una combinación de dos MAS, que tienen la misma
 amplitud y frecuencia, pero difieren en fase 90° . Cuando una
 componente está en el punto de máxima elongación, la otra
 componente se encuentra en el punto de equilibrio. Combinando (9)
 y (12) se tiene:

$$r = (x^2 + y^2)^{1/2}$$

obtenemos también las relaciones

$$v = (v_x^2 + v_y^2)^{1/2} = w A,$$

$$a = (a_x^2 + a_y^2)^{1/2} = w^2 A,$$

que corresponden a las magnitudes en el movimiento circular
 uniforme.

9.4 PENDULO SIMPLE.

Un ejemplo de cómo se estudia el movimiento de rotación lo
 ofrece el péndulo simple, formado por una masa m suspendida de un
 punto fijo O por una cuerda inextensible y de masa despreciable,
 de longitud l .

Si la masa m está suspendida por una cuerda, hemos de suponer
 que esta permanece tensa para que la distancia l entre m y O sea
 constante; de otro modo no podemos tratar al sistema. Solo
 consideraremos los movimientos del péndulo que tienen lugar en un
 plano vertical, para poder aplicar la teoría sencilla del
 movimiento alrededor de un eje fijo que pasa por O.

Tenemos entonces:

Momento de Inercia:

$$I_z = m l^2$$

Momento externo total:

$$N_z = - m g l \sin \theta$$

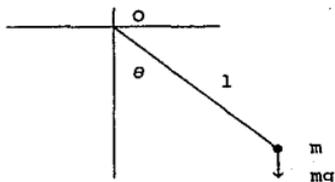


Figura (9.5). Péndulo simple.

donde el eje z pasa por O y es perpendicular al plano de oscilación del péndulo. El momento se toma negativo, ya que su sentido tiende a disminuir el ángulo θ . Sustituyendo en la ecuación del movimiento, se obtiene:

$$\frac{dL}{dt} = I_z \dot{\theta} = N_z$$

por lo tanto,

$$\ddot{\theta} = - \frac{g}{l} \sin \theta \quad (13)$$

donde L es momento angular.

Ahora, si consideramos solo pequeñas oscilaciones del péndulo (o sea $\theta \ll \pi/2$), $\sin \theta \approx \theta$, y podemos escribir:

$$\ddot{\theta} + (g/l) \theta \approx 0 \quad (14)$$

que es equivalente a la ecuación del oscilador armónico

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} + K x = 0$$

La solución de la ecuación (14) es:

$$\theta = k \cos(\omega t + \beta) \quad (15)$$

donde

$$\omega = (g/l)^{1/2} \quad (16)$$

siendo k y β constantes arbitrarias que determinan la amplitud y fase de la oscilación. Obsérvese que la frecuencia de la oscilación es independiente de la amplitud, siempre que esta sea lo bastante pequeña para la ec. (14) sea una buena aproximación.

En esto se basa el uso del péndulo para regular la marcha de un reloj. En el caso de amplitudes grandes, el problema puede tratarse por medio de la integral de la energía. La energía potencial asociada al momento dado por la ecuación (12) es:

$$\begin{aligned}
 V(\theta) &= - \int_{\theta_0}^{\theta} - mg l \operatorname{sen} \theta \, d\theta \\
 &= - mg l \cos \theta \qquad (17)
 \end{aligned}$$

si $\theta_0 = \pi/2$ en la integral.

La energía es:

$$\frac{1}{2} mg l^2 \dot{\theta}^2 - mg l \cos \theta = E \qquad (18)$$

Observamos que para $-mg l < E < mg l$, el movimiento es oscilante, haciéndose armónico simple para E ligeramente mayor que $-mg l$.

Para $E > mg l$, el movimiento no es oscilatorio aumentando o disminuyendo de modo continuo, con θ variando entre un valor máximo y otro mínimo. Físicamente, cuando $E > mg l$, el péndulo tiene energía suficiente para describir una circunferencia completa. Este movimiento sigue siendo periódico, efectuando el péndulo una revolución completa cada vez que θ aumenta o disminuye en 2π .

Resolviendo la ec. (18) se tiene:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{[E/mgl + \cos \theta]^{1/2}} = (2g/l)^{1/2} t \qquad (19)$$

Cuando el movimiento es oscilatorio ($E < mgl$), el valor máximo k de θ está dado, de acuerdo a (18), por:

$$E = -mg l \cos k \qquad (20)$$

sustituyendo en (19), queda:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{(\cos \theta - \cos k)^{1/2}} = (2g/l)^{1/2} t \qquad (21)$$

y podemos escribir:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\theta}{[\operatorname{sen}(k/2) - \operatorname{sen}(\theta/2)]^{1/2}} = 2(g/l)^{1/2} t \qquad (22)$$

El ángulo θ oscila entre los límites $\pm k$. Vamos a introducir ahora una nueva variable φ , que para un ciclo de oscilación de θ varía entre 0 y 2π .

$$\text{sen } \varphi = (\text{sen } \theta/2)/(\text{sen } k/2) = 1/a \text{ sen } \theta/2 \quad (23)$$

$$\text{donde} \quad a = \text{sen } k/2 \quad (24)$$

Con estas sustituciones, (22) queda:

$$\int_{\theta_0}^{\theta} \frac{d\varphi}{(1 - a^2 \text{sen}^2 \varphi)^{1/2}} = (g/l)^{1/2} t \quad (25)$$

donde $\theta_0 = 0$. La integral elíptica, tiene ahora una forma más común. Cuando a es pequeña, se puede hacer un desarrollo en series de potencias de a ,

$$\int_0^{\varphi} [1 + 1/2 a^2 \text{sen}^2 \varphi + \dots] d\varphi = (g/l)^{1/2} t \quad (26)$$

donde

$$\frac{1}{(1 - a^2 \text{sen}^2 \theta)^{1/2}} = 1 + 1/2 a^2 \text{sen}^2 \theta + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} k^2 \text{sen}^2 \theta + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} k^2 \text{sen}^2 \theta + \dots$$

y utilizando el teorema del binomio

$$\frac{1}{(1 - x)^{1/2}} = (1 - x)^{-1/2} = 1 + 1/2 x + \frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4} x^2 + \frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6} x^3 + \dots$$

integrando (26), se obtiene, término a término:

$$\varphi + 1/8 a^2 (2\varphi - \text{sen } 2\varphi) + \dots = (g/l)^{1/2} t \quad (27)$$

haciendo $\varphi = 2\pi$, se obtiene, el periodo

$$\tau = 2\pi(g/l)^{1/2} \{ 1 + (\frac{1}{2})^{1/2} k^2 + (\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4})^2 k^4 + (\frac{1 \cdot 3 \cdot 5}{2 \cdot 4 \cdot 6})^2 k^6 + \dots \} \quad (28)$$

Así, cuando la amplitud de la oscilación se hace grande, el periodo resulta ligeramente mayor que para las oscilaciones pequeñas, lo que se comprueba haciendo oscilar dos péndulos de igual longitud con amplitudes diferentes.

Puede también resolverse con respecto a θ mediante aproximaciones sucesivas:

$$\theta = (k + \frac{k^3}{192}) \text{sen } \omega t + \frac{k^3}{192} \text{sen } 3\omega t \quad (29)$$

donde

$$\omega = 2\pi/\tau = (g/l)^{1/2} (1 - \frac{k^2}{16} + \dots) \quad (30)$$

Despreciando los términos en k^2 y k^3 , esta solución coincide con la ecuación (15).

9.5 FUERZA CONSERVATIVA DEPENDIENTE DE LA POSICION. ENERGIA POTENCIAL.

Si F es función solo de x:

$$m \frac{dv}{dt} = F(x) \quad (31)$$

tenemos, del teorema de la energía:

$$1/2 mv^2 - 1/2 mv_0^2 = \int_{x_0}^x F(x) dx \quad (32)$$

La integral del segundo miembro es el trabajo hecho por la fuerza cuando la partícula va de x_0 a x .

La energía potencial $V(x)$ es el trabajo realizado por la fuerza cuando la partícula va desde x a cierto punto x_s elegido como referencia:

$$V(x) = \int_x^{x_0} F(x) dx = - \int_{x_s}^x F(x) dx \quad (33)$$

La integral de (32) puede expresarse en función de $V(x)$ como:

$$\int_{x_0}^x F(x) dx = -V(x) + V(x_0) \quad (34)$$

sustituyendo (34) en (32), queda:

$$1/2 m v^2 + V(x) = 1/2 m v_0^2 + V(x_0) \quad (35)$$

La magnitud del segundo miembro solo depende de las condiciones iniciales y, por tanto, permanece constante durante el movimiento. A esta constante se le llama energía total E, y encontramos así la ley de la conservación de la energía cinética más la potencial, que se cumple solo cuando F depende de x:

$$1/2 m v^2 + V(x) = T + V = E \quad (36)$$

Despejando v, tenemos:

$$v^2 = dx/dt = (2/m)^{1/2} [E - V(x)]^{1/2} \quad (37)$$

Se halla la función $x(t)$ despejando x en la ecuación:

$$(m/2) \int_{x_0}^x [E - V(x)]^{-1/2} dx = t - t_0 \quad (38)$$

En este caso las condiciones iniciales se expresan en función de las constantes E y x_0 .

De la ecuación (4), se expresa la fuerza en función de la energía potencial:

$$F = - \frac{dV}{dx} \quad (39)$$

La energía potencial es una función cuya derivada, cambiada de signo dá la fuerza. El efecto de variar la coordenada del punto de referencia x_0 es añadir una constante a $V(x)$. Dado que lo que interviene como fuerza en las ecuaciones dinámicas es la derivada de V , la elección de tal punto carece de importancia. Siempre es posible sumar una constante al potencial $V(x)$ sin alterar con ello los resultados físicos. (Habrà que sumar, naturalmente, esta misma constante a E).

Consideremos el problema de una partícula sometida a una fuerza recuperadora lineal, por ejemplo, una masa unida a un resorte:

$$F = - k x \quad (40)$$

La energía potencial es:

$$V(x) = - \int_{x_0=0}^x - k x dx = 1/2 k x^2 \quad (41)$$

La ecuación (8) se convierte en este caso, con $t_0 = 0$, en

$$(m/2)^{1/2} \int_{x_0}^x (E - 1/2 k x^2)^{-1/2} dx = 1/2 k x^2 \quad (42)$$

Si hacemos $\text{sen } \theta = x (k/2E)^{1/2} \quad (43)$

$$w = (k/m)^{1/2} \quad (44)$$

tenemos:

$$\begin{aligned} (m/2)^{1/2} \int_x^x (E - 1/2 k x^2)^{-1/2} dx &= (m/2)^{1/2} \int_{x_0}^x (1 - (k/2E)x^2)^{-1/2} dx \\ &= (m/2)^{1/2} \int_{\theta_0}^{\theta} (1 - \text{sen}^2 \theta)^{1/2} (2E/k)^{1/2} \cos \theta d\theta \\ &= 1/w \int_{\theta_0}^{\theta} d\theta = 1/w (\theta - \theta_0) \quad (45) \end{aligned}$$

y, según (42),

$$\theta = \omega t + \theta_0$$

Podemos ahora despejar x en la ecuación (43):

$$x = (2E/k)^{1/2} \text{sen } \theta = A \text{sen}(\omega t + \theta_0) \quad (46)$$

donde

$$A = (2E/k)^{1/2} \quad (47)$$

Así, la coordenada x oscila armónicamente con el tiempo, con una amplitud A y una frecuencia $\omega/2\pi$

$$\text{Por tanto} \quad f = \omega/2\pi = 1/2\pi (k/m)^{1/2}$$

$$\tau = 2\pi (m/k)^{1/2} = 2\pi (l/g)^{1/2}$$

donde $k = m g/l$ para el péndulo simple.

Por tanto, el periodo de oscilación para un péndulo:

$$T = 2\pi (l/g)^{1/2}$$

9.6 OSCILADOR ARMONICO AMORTIGUADO.

En el caso de un oscilador armónico simple, la fuerza recuperadora es:

$$F = -k x \quad (48)$$

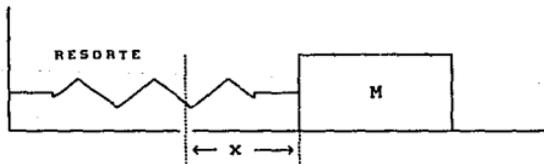


Figura. (9.6).

La energía potencial asociada a esta fuerza es:

$$V(x) = 1/2 k x^2 \quad (49)$$

Suponiendo que no actúa ninguna otra fuerza, la ecuación de movimiento será:

$$m \ddot{x} + k x = 0 \quad (50)$$

En todos los casos físicos existe una fuerza de rozamiento, aunque a menudo puede ser muy pequeña. Con buena aproximación en la mayoría de los casos, sobre todo cuando el rozamiento es muy pequeño, cabe suponer que la fuerza de rozamiento es proporcional a la velocidad:

$$m \ddot{x} = -b \dot{x} \quad (51)$$

La fuerza de rozamiento se opone siempre a la velocidad, y efectúa un trabajo negativo, es decir, absorbe energía del cuerpo móvil. Si usamos la ecuación (51) para la fuerza de rozamiento, con $n = 1$, la ecuación de movimiento se convierte en:

$$m \ddot{x} + b \dot{x} + k x = 0 \quad (52)$$

esta es una ecuación diferencial con coeficientes constantes, existe siempre una solución de la forma $x = e^{pt}$.

Sustituyendo:

$$x = e^{pt}, \quad \dot{x} = p e^{pt}, \quad \ddot{x} = p^2 e^{pt} \quad (53)$$

en la ecuación (52), obtenemos:

$$(m p^2 + b p + k) e^{pt} = 0 \quad (54)$$

Suprimiendo e^{pt} obtenemos una ecuación algebraica de segundo grado en p .

$$m p^2 + b p + k = 0 \quad (55)$$

La solución es:

$$p = -b/2m \pm [(b/2m)^2 - k/m]^{1/2} \quad (56)$$

Vamos a distinguir tres casos: a) $k/m > (b/2m)^2$,
b) $k/m < (b/2m)^2$, y c) $k/m = (b/2m)^2$.

Caso a). Hagamos las sustituciones:

$$w_0 = (k/m)^{1/2} \quad (57)$$

$$\gamma = b/2m \quad (58)$$

$$w_1 = (\gamma^2 - w_0^2)^{1/2} \quad (59)$$

donde γ es el coeficiente de amortiguamiento y $(w_0 / 2\pi)$ es la frecuencia natural del oscilador no amortiguado.

Hay dos soluciones para p :

$$p = -\gamma \pm i w_1 \quad (60)$$

La solución general de la ecuación diferencial es:

$$x = C_1 e^{-\gamma t + i w_1 t} + C_2 e^{-\gamma t - i w_1 t} \quad (61)$$

Poniendo

$$C_1 = 1/2 A e^{-i \theta}$$

$$C_2 = 1/2 A e^{i \theta} \quad (62)$$

tenemos:

$$x = A e^{-\gamma t} \cos(\omega_1 t + \theta) \quad (63)$$

Esto corresponde a una oscilación de frecuencia $(\omega_1/2\pi)$ con una amplitud $A e^{-\gamma t}$ que decrece exponencialmente con el tiempo.

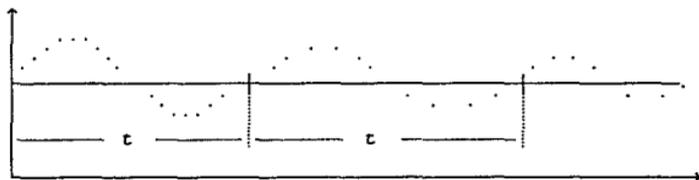


Figura (9.7). Aproximación del movimiento de un oscilador armónico amortiguado.

Las constantes A y θ dependen de las condiciones iniciales.

La frecuencia es menor que en el caso no amortiguado.

La solución (63) puede escribirse también:

$$x = e^{-\gamma t} (B_1 \cos \omega_1 t + B_2 \text{sen } \omega_1 t) \quad (64)$$

En función de las constantes ω_0 y γ , la ecuación (52) se escribe:

$$\ddot{x} + 2\gamma \dot{x} + \omega_0^2 x = 0 \quad (65)$$

Esta forma de la ecuación se usa a menudo en el estudio de las oscilaciones mecánicas.

La energía del oscilador total es:

$$E = 1/2 m \dot{x}^2 + 1/2 k x^2$$

En el caso importante de amortiguamiento pequeño, $\gamma \ll \omega_0$ podemos hacer $\omega_1 \approx \omega_0$ y despreciar γ frente a ω_0 , con lo que tendremos, aproximadamente, para la energía que corresponde a la solución (63):

$$E \approx 1/2 k A^2 e^{-2\gamma t} = E_0 e^{-2\gamma t} \quad (66)$$

Así, pues, la energía decrece aproximadamente a un ritmo doble que la amplitud. El ritmo relativo de decrecimiento o derivada logarítmica de E es:

$$\frac{1}{E} \frac{dE}{dt} = \frac{d \ln E}{dt} = -2\gamma \quad (67)$$

Caso b. ($\omega_0 < \gamma$). En este caso, las dos soluciones de p son:

$$p = -\gamma_1 = -\gamma - (\gamma^2 - \omega_0^2)^{1/2}, \quad (68)$$

$$p = -\gamma_2 = -\gamma + (\gamma^2 - \omega_0^2)^{1/2}.$$

La solución general es:

$$x = C_1 e^{-\gamma_1 t} + C_2 e^{-\gamma_2 t} \quad (69)$$

Ambos términos decrecen exponencialmente con el tiempo, uno a un ritmo más rápido que el otro.

Caso c. ($\omega_0 = \gamma$), solo tenemos para p una solución:

$$p = -\gamma \quad (70)$$

siendo la correspondiente solución de x

$$x = e^{-\gamma t} \quad (71)$$

Podemos ver, que otra solución es:

$$x = t e^{-\gamma t} \quad (72)$$

Para ello, calculemos:

$$\dot{x} = e^{-\gamma t} - \gamma t e^{-\gamma t} \quad (73)$$

$$\ddot{x} = -2\gamma e^{-\gamma t} + \gamma^2 t e^{-\gamma t}$$

El primer miembro de la ecuación (65) es, para esta x ,

$$\ddot{x} + 2\gamma \dot{x} + \omega_0^2 x = (\omega_0^2 - \gamma^2) t e^{-\gamma t} \quad (74)$$

que se anula si $\omega_0 = \gamma$. Por tanto, la solución general en el caso $\omega_0 = \gamma$ es:

$$x = (C_1 + C_2 t) e^{-\gamma t} \quad (75)$$

Esta función decrece exponencialmente con el tiempo a un ritmo comprendido entre los de ambos términos exponenciales de la ecuación (69):

$$\gamma_1 > \gamma > \gamma_2 \quad (76)$$

Es decir, que la solución de (75) tiende más rápidamente a cero, después de un tiempo suficientemente largo, que la solución (69). Los casos a), b) y c) son importantes en problemas referentes a mecanismos que tienden a una posición de equilibrio bajo la acción de un amortiguamiento de rozamiento, por ejemplo, indicadores de los instrumentos de medida, muelles neumáticos e hidráulicos empleados para cerrar puertas, etc.

En la mayoría de los casos se desea que el mecanismo vaya suave y rápidamente hacia su posición de equilibrio. Para un coeficiente de amortiguamiento dado γ , o para una ω_0 dada, se consigue esto en el tiempo mínimo sin sobrepasar la posición de equilibrio cuando $\omega_0 = \gamma$, (caso c).

Este caso se denomina amortiguamiento crítico. Si $\omega_0 < \gamma$, se dice que el sistema está sobreamortiguado; actúa pesadamente y no vuelve tan rápido a $x = 0$ y oscila. Nótese que en el amortiguamiento crítico, $\omega_1 = 0$, por lo que el periodo de oscilación se hace infinito.

9.7 PENDULO FISICO.

Un cuerpo rígido suspendido de cierto punto fijo O y situado a una distancia h de su centro de gravedad C , y que puede girar alrededor de un eje que pasa por O , se llama péndulo físico (figura 9.8). Cuando está en equilibrio, colgará con C verticalmente debajo de O . Si se hace tracción de él hacia un lado de modo que la línea OC forme un ángulo θ con la vertical, y luego es soltado, oscilará con movimiento periódico, pero no necesariamente movimiento armónico simple.

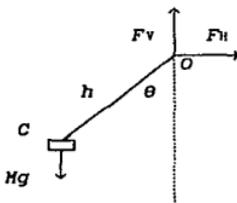


FIG. (9.8) Péndulo Físico.

Especifiquemos la posición del cuerpo por el ángulo θ dividido desde la vertical hasta la línea OC , como se muestra en la figura (9.8). Hay dos fuerzas que actúan sobre este cuerpo: su peso Mg y una fuerza F en el punto O cuya componente vertical es F_v y cuya componente horizontal es F_h . Puesto que solo nos interesamos en el movimiento rotatorio alrededor de O , el momento de torsión alrededor del eje es simplemente: $\tau = -Mgh \text{ sen } \theta$.

El signo menos se usa porque la dirección del momento de torsión es opuesta a la dirección del desplazamiento angular θ . Usando la ecuación $\tau = I\alpha$ obtenemos la ecuación para la aceleración angular:

$$\alpha = -\frac{Mgh}{I} \text{ sen } \theta \quad (77)$$

Si el desplazamiento angular se mantiene pequeño, entonces, para una buena aproximación: $\sin \theta \approx \theta$ y la ecuación para la aceleración angular es:

$$\alpha = - \frac{Mgh}{I} \theta \quad (78)$$

Esto satisface ahora la condición para el movimiento armónico simple. El periodo del péndulo físico en estas condiciones es:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{Mgh}} \quad (79)$$

El uso de esta ecuación para la determinación del momento de inercia de un cuerpo rígido es bastante obvio. Una vez determinado el momento de inercia alrededor de cierto eje, su momento de inercia alrededor de un eje paralelo que pase por el centro de gravedad puede calcularse.

Todos los péndulos reales son péndulos físicos, es interesante comparar un péndulo físico con el péndulo simple ideal del mismo periodo. Se recordará que el periodo de un péndulo simple se da por la ecuación:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

Comparando esto con la ecuación (79) para el periodo de un péndulo físico hallamos que:

$$L = \frac{I}{Mh}$$

A este valor de L se le llama *longitud equivalente de péndulo simple*.

9.8 RESULTADOS EXPERIMENTALES.

METODO PARA LA OBTENCION DE LA GRAFICA DEL MOVIMIENTO DEL PENDULO

Algoritmo "GRAFICA 1"

Objetivo: Graficar el movimiento del péndulo en la microcomputadora.

VARIABLES DE ENTRADA: X, Y, K.

VARIABLES DE SALIDA: los puntos de la gráfica, " o ".

- Paso 1. Para I = 0, ..., 279 seguir los pasos 2,3 y 4
- Paso 2. Tomar $X = 159 - PDL(1) * 159/25$
- Paso 3. Tomar las coordenadas, HPLOT I, X
- Paso 4. Para J = 1, ..., 25 seguir el paso 5
- Paso 5. Tomar VTAB 24
- Paso 6. Quieres imprimir ?.

SI ES ASI, VE AL PASO 7
SI NO VE AL PASO 10

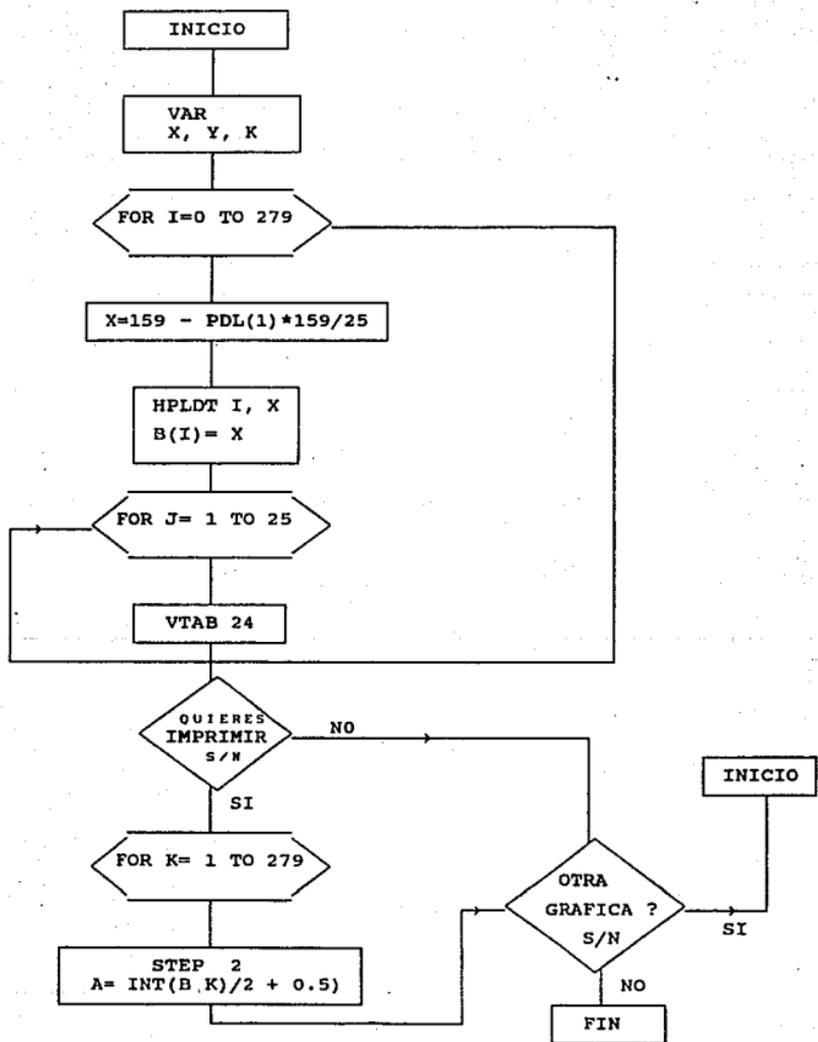
- Paso 7. Para K = 1, ..., 279 seguir los pasos 8 y 9
- Paso 8. Tomar STEP2

$A = INT(B(K)/2 + 0.5)$

- Paso 9. Imprimir, SALIDA TAB(A), " * ".
- Paso 10. Quieres otra gráfica ?.
SI ES ASI, VE AL PASO 1
SI NO TERMINA.

Una vez planteado el algoritmo para la obtención de la gráfica del movimiento del péndulo físico, el objetivo será el de tratar de visualizar que las amplitudes de las oscilaciones del péndulo decaen exponencialmente con el tiempo, como nos lo muestra la teoría. Es decir, describir el movimiento amortiguado del péndulo.

El siguiente diagrama de flujo nos muestra el desarrollo para obtener la gráfica de la experimentación.



El programa para hacer la experimentación es el siguiente:

```
000 REM ** LABORATORIO POR COMPUTADORA **
010 REM ** PENDULO FISICO **
050 REM ** MOVIMIENTO ARMONICO ARMOTIGUADO **
100 REM ** PROGRAMA GRAFICA 1 **
110 REM
120 DIM B(280)
130 HOME
140 HGR
150 HCOLOR= 3
160 FOR I = 0 TO 279
170 X = 159 - PDL (1) * 159 / 255
180 HPLOT I,X
190 B(I) = X
200 FOR J = 1 TO 25: NEXT J
210 NEXT I
220 VTAB 24
230 INPUT "          QUIERES IMPRIMIR ?
          (S/N) : "; G$
240 IF G$ = "S" THEN RUN
250 IF G$ = "N" THEN 265
260 PRINT CHR$ (7): GOTO 230
265 PRINT
270 INPUT"          QUIERES OTRA GRAFICA ?
          (S/N) : " ; T$
280 IF T$ = "S" THEN RUN
290 IF T$ = "N" THEN 380
300 PRINT CHR$ (7): GOTO 270
310 PR# 1
320 FOR K = 1 TO 279 STEP 2
330 A = INT (B(K) / 2 + 0.5)
340 PRINT TAB( A ) ; "*"
350 NEXT K
360 PR# 0
370 GOTO 270
380 TEXT
390 HOME
400 D$ = CHR$ (4)
410 PRINT D$; "RUN DIR"
500 END
```

RESULTADOS EXPERIMENTALES

A continuación veremos la gráfica obtenida y los resultados obtenidos de dicha experimentación (péndulo amortiguado), utilizando la microcomputadora. A sí mismo el análisis, recordando para ello el capítulo de análisis de este trabajo.

En principio tenemos las siguientes expresiones para realizar el análisis correspondiente.

$$\text{pendiente:} \quad m = \frac{\overline{(Y)(X)} - \overline{Y} \cdot \overline{X}}{\overline{X^2} - (\overline{X})^2}$$

$$\text{ordenada al origen} \quad b = m \overline{X} - \overline{Y}$$

donde \overline{X} y \overline{Y} son los promedios de cada una de ellas.

También recordaremos que en el caso de que sea una regresión lineal del tipo exponencial, se tiene el siguiente modelo:

$$\begin{aligned} Y &= A e^{n t} \\ \text{donde} \quad A &= \ln^{-1}(b) \\ Y & \\ n &= m \end{aligned}$$

En la gráfica XY de la experimentación tendremos sobre el eje de las X a los tiempos transcurridos de las oscilaciones que realiza el péndulo amortiguado (periodos) y en el eje de la Y tendremos las amplitudes del movimiento del péndulo amortiguado.

Hay que tomar en cuenta que también se debe de realizar trabajo ajeno a la microcomputadora, como lo es, el de realizar el estímulo para que la microcomputadora pueda hacer lo que se desee; ya sea natural o artificial. En este caso en particular para realizar la gráfica del péndulo amortiguado se debe dar una amplitud al péndulo y soltarlo para que esté, pueda estar en movimiento, es decir oscilando.

Luego entonces la varilla con el potenciómetro (el péndulo físico) en uno de sus extremos, se hace oscilar a una amplitud de 20 ± 0.5 grados (medido con un transportador común), y el sistema empieza a obtener datos para hacer la gráfica.

En el Experimento que realizaste tienes:

Num. de Ptos := 2

Tomaste 60 Lecturas

Los instrumentos son:

Puerto 3:

Puerto 4:

Presiona Cualquier Tecla para Continuar

8.00	13.68
8.50	4.33
1.00	-18.89
1.50	-18.76
2.00	3.55
2.50	11.85
3.00	3.87
3.50	-8.16
4.00	-8.18
4.50	2.28
5.00	8.37
5.50	2.93
6.00	-5.42
6.50	-5.61
7.00	1.32
7.50	5.46

Presiona Enter para Continuar

8.00	2.04
8.50	-3.37
9.00	-3.63
9.50	0.70
10.00	3.39
10.50	1.35
11.00	-1.99
11.50	-2.24
12.00	0.35
12.50	2.02
13.00	0.86
13.50	-1.14
14.00	-1.22
14.50	0.16
15.00	1.16
15.50	0.53

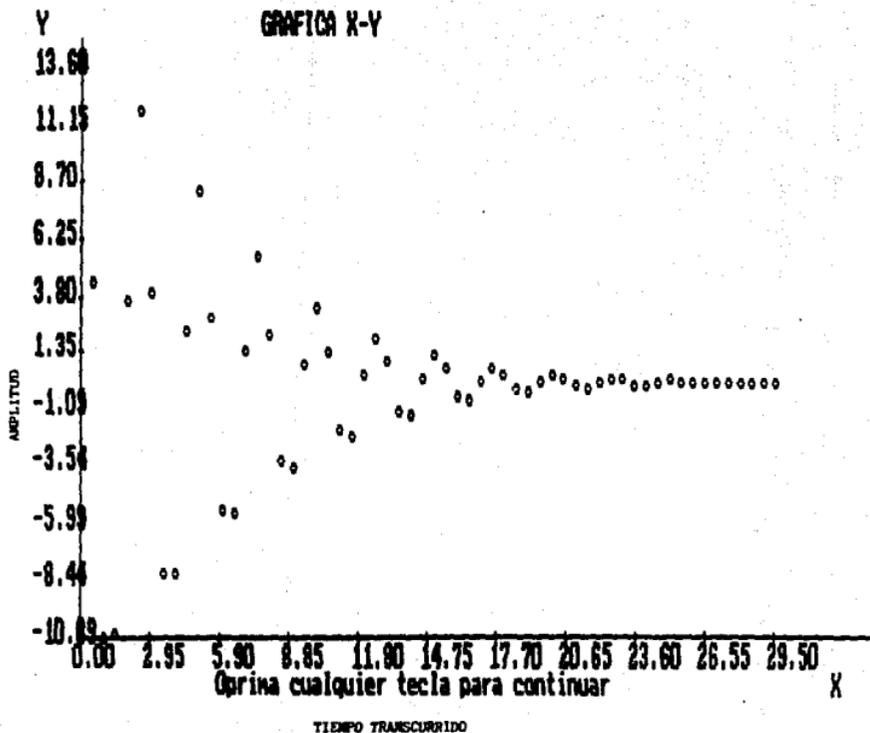
Presiona Enter para Continuar

16.00	-0.63
16.50	-0.78
17.00	0.07
17.50	0.65
18.00	0.31
18.50	-0.34
19.00	-0.44
19.50	0.02
20.00	0.36
20.50	0.18
21.00	-0.18
21.50	-0.24
22.00	0.00
22.50	0.20
23.00	0.10
23.50	-0.09

Presiona Enter para Continuar

24.00	-0.13
24.50	0.00
25.00	0.10
25.50	0.06
26.00	-0.05
26.50	-0.07
27.00	0.00
27.50	0.05
28.00	0.03
28.50	-0.02
29.00	-0.04
29.50	0.00

Presiona Enter para Continuar



En el Experimento que realizaste tienes:

Num. de Ptos := 2

Tomaste 12 Lecturas

Los instrumentos son:

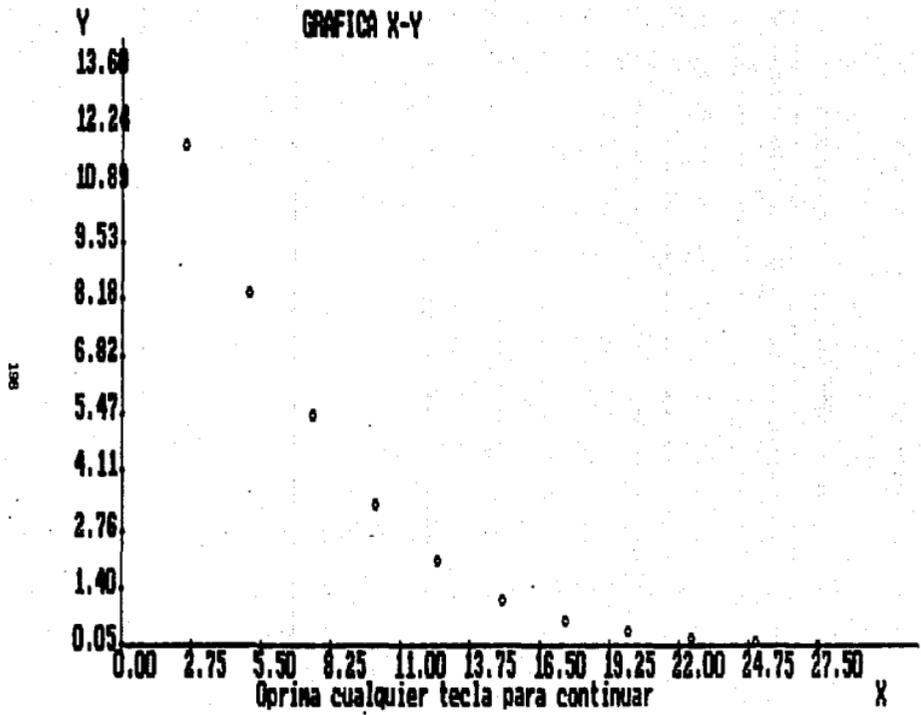
Puerto 3:

Puerto 4:

Presiona Cualquier Tecla para Continuar

0.00	13.60
2.50	11.85
5.00	8.37
7.50	5.46
10.00	3.39
12.50	2.02
15.00	1.16
17.50	0.65
20.00	0.36
22.50	0.19
25.00	0.10
27.50	0.05

Presiona Enter para Continuar



El valor de X promedio es 13.75

El valor de Y promedio es 0.09

El valor de X*Y prom es: -5.52

El Valor de X^2 prom es: 263.54

El valor de Y^2 prom: 0.64

Presiona Enter para Continuar

a1 = -0.09

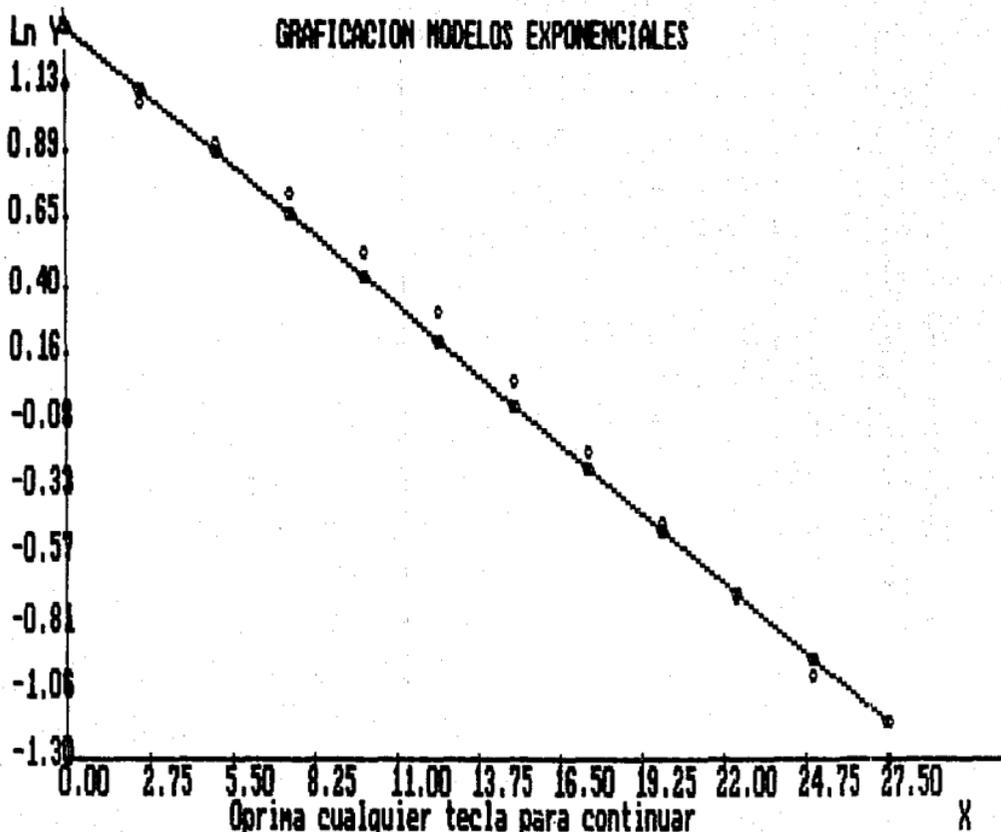
b1 = 1.35

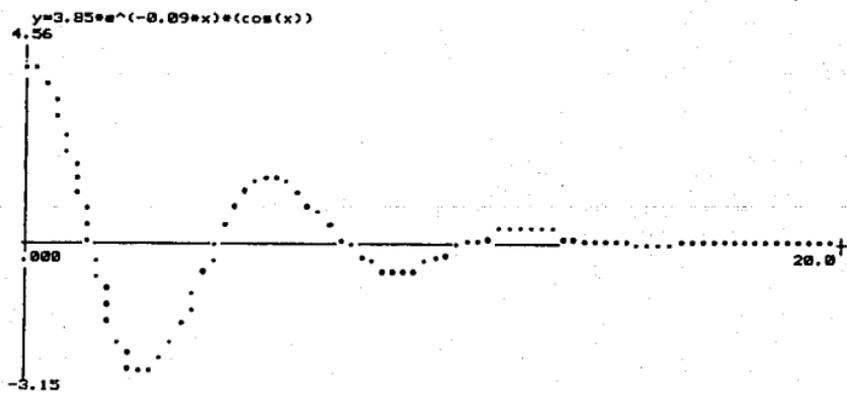
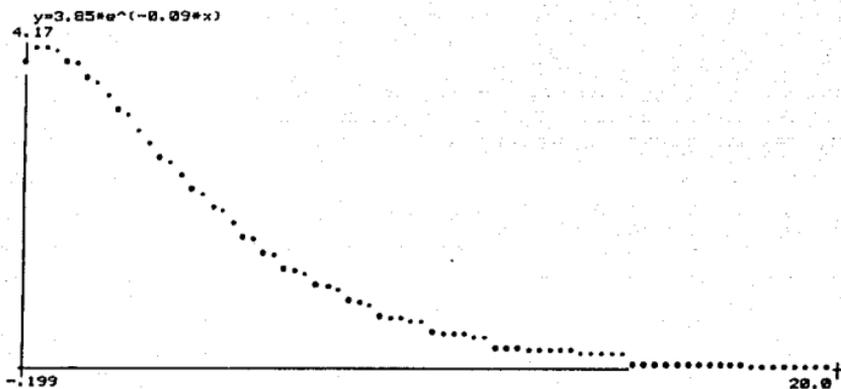
Y = 3.85 a^{-0.09} X

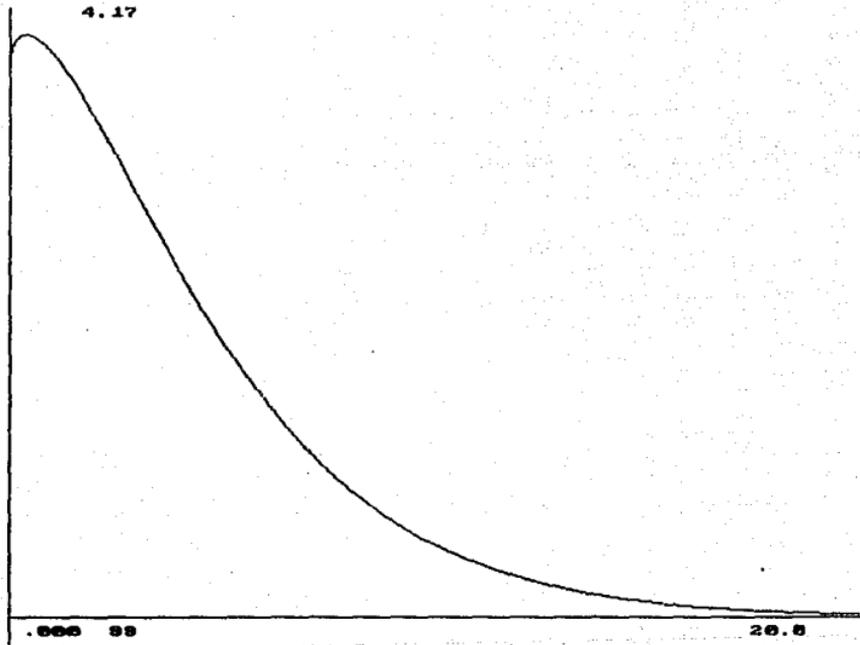
Error Cuadrático = 0.9855

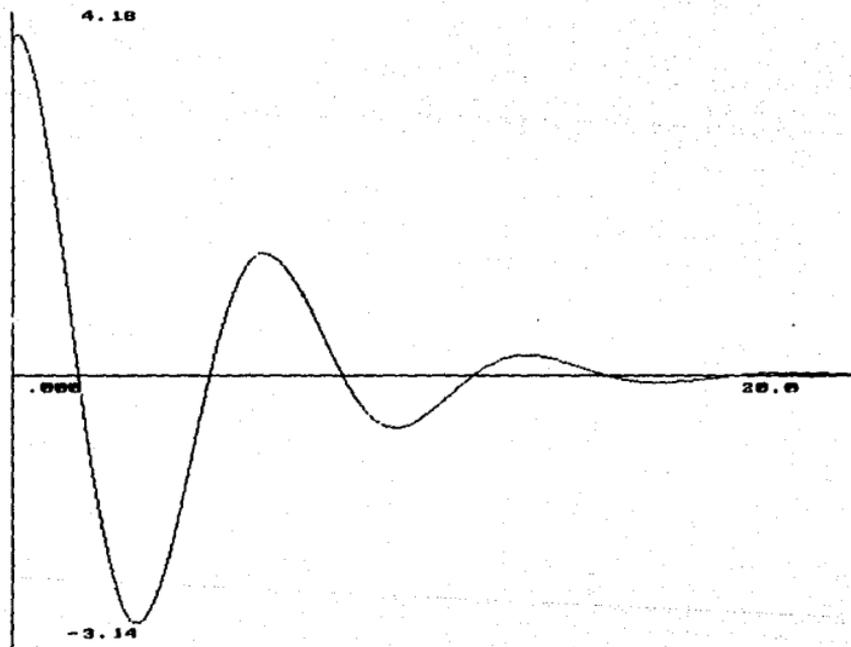
Presiona Enter para Continuar

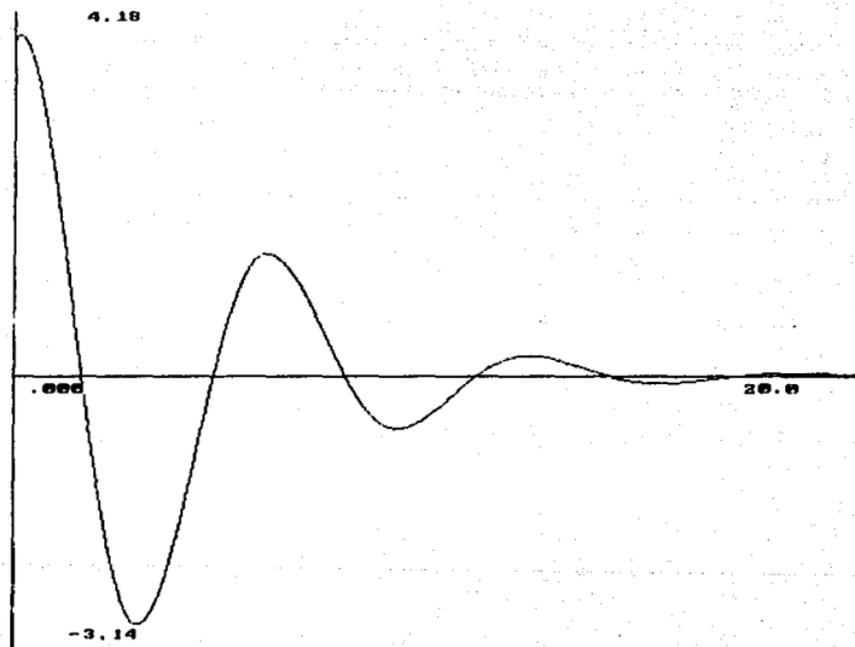
GRAFICACION MODELOS EXPONENCIALES











Estas últimas gráficas son simulaciones por microcomputadora del modelo matemático obtenido experimentalmente por medio del laboratorio por microcomputadora , para darnos cuenta de como es el movimiento teoricamente y experimentalmente para poder comparar la realidad con lo conceptual.

CONCLUSIONES

De acuerdo a lo anterior podemos observar que nuestro modelo matemático nos describe una representación exponencial ,en decaimiento, con lo cual era lo que esperabamos en un movimiento armónico amortiguado.

Nuestro modelo matemático obtenido es:

$$Y = 3.85 e^{(-0.09 X)}$$

La ecuación del modelo obtenido nos describe la curva trazada en la gráfica XY exponencial, esto es, el movimiento del oscilador armónico amortiguado decaé exponencialmente con el tiempo de oscilación constante (periodo).

En las primeras seis secciones de este capitulo se dió un esquema teórico del movimiento del péndulo. En la última sección se mostraron los resultados experimentales, así como el análisis de los datos obtenidos y las gráficas obtenidas de esto.

Comparándolas con las obtenidas teoricamente, en simulación por microcomputadora.

En la sección anterior se puede observar las ventajas que presenta el uso de la microcomputadora para graficar el movimiento del péndulo y mediante ésta obtener los datos experimentales que nos permiten describir el movimiento del oscilador armónico amortiguado.

Y no sólo para describir el movimiento de un péndulo amortiguado nos puede servir la microcomputadora, si no para experimentos en general donde se pueda utilizar la instrumentación que consta de nuestro sistema de laboratorio por computadora. Y talvés para otro tipo de aplicaciones, mejorando el procedimiento de medición en algunos casos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. Ackoff. Scientific method optimizing applied research decisions. Wiley New York 1962.
2. Baird. Experimentation: An introduction to measurement theory and experiment design. Prentice Hall, New York 1962.
3. Weizsacker. La imagen Fisica del mundo. SAC. Madrid 1974.
4. Hoel. Introduction to mathematical statistics. Jhon Wiley. Massachusetts 1971.
5. Squires. G. L. Practical Physics. Mc Graw-Hill. Londres 1968.
6. Varios. Manual de Laboratorio. Una introducción a la Metodología Experimental. U.N.A.M. México 1974.
7. Flores, Pérez. Introducción a la Metodología Experimental. U.N.A.M. México 1982.
8. Ernest J. Angelo. Electronic Circuits. Mc Graw-Hill Novaro.
9. John S. Frost. Electrónica aplicada. Limusa.
10. Electronics Magazine Book series. Design Techniques for Electronics Engineers. Mc Graw-Hill Publications.
11. Alan Chappell. Optoelectronics Theory and Practice. Mc Graw-Hill Book Company. Texas instrumens Ltd. 1959.
12. Henry Semat & Philip Baumel. Fundamentos de Física. Interamericana. Quinta edición, 1974.