INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE INGENIERÍA Y CIENCIAS SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS

LABORATORIO DE FÍSICA

SICA EXPERIMENTAL I

INSTRUCTIVO DE ACTIVIDADES EXPERIMENTALES

ENERO DE 2008

upiicsa

AUTORES:

M. EN I. MIGUEL GARCÍA MORALES
M. EN C. JOSÉ LUIS MORALES HERNÁNDEZ

PROLOGO

Las razones que me motivaron para emprender la tarea de escribir estas notas, fueron entre otras, la preocupación por definir un enfoque y una forma de enseñar la Física Experimental, que considere su desarrollo histórico, sus procedimientos y su método en la adquisición del conocimiento. Y de esta forma, mostrar que la Física Experimental merece un lugar de mayor importancia y de mayor peso del que actualmente tiene en los planes de estudio de toda escuela de Ciencias e Ingeniería. Desde la primera aparición de estas notas y su utilización como guía básica en los cursos de la asignatura de Metodología Científica Aplicada a la Mecánica Clásica, ha sufrido varias modificaciones y correcciones, basadas en las observaciones y comentarios de los profesores de las Academias de Física. A cada uno de ellos les agradezco su colaboración, su participación y su apoyo para que estas notas se consideren realmente como una guía básica de los cursos de Física Experimental y muy especialmente agradezco al profesor Fernando Garzón Garces sus observaciones respecto al cálculo del coeficiente de correlación y sus implicaciones.

Espero seguir mejorando el contenido de estas notas y contribuir, de esta forma, en la preparación de nuestros estudiantes hasta alcanzar la excelencia.

A T E N T A M E N T E

EL AUTOR

ENERO 2008

upnesa

REGLAMENTO INTERNO

PARA EL LABORATORIO DE FÍSICA EXPERIMENTAL I
SEMESTRE AGOSTO-DICICEMBRE 2007

INSCRIPCIÓN.

a) Los grupos de Laboratorio de Física son de un máximo de 20 alumnos para las secuencias numéricas y 20 para las alfabéticas. Los profesores de las secuencias no darán autorización para inscribir alumnos.
b) Sólo se atenderán los alumnos inscritos oficialmente.
c) El laboratorio no aceptará alumnos una vez concluido el período de inscripción
d) El laboratorio aceptará alumnos que estén en proceso de inscripción, dependiendo del número de alumnos inscritos y que asistan, así como del cupo de cada secuencia.

ASISTENCIA.

a) La tolerancia máxima de entrada al laboratorio será de 15 minutos.
b) El retardo a clase se considera máximo a los 20 minutos del horario asignado.
c) Tres faltas, causan baja y reprobación del curso.
d) Cinco retardos, causan baja y reprobación del curso.
e) Cualquier retardo o falta del profesor deberá ser reportado a la Jefatura de los Laboratorios.
f) La ausencia del personal del almacén de los laboratorios deberá ser reportada a la Jefatura de la Sección.
g) Cualquier falta colectiva no justificada a la clase del laboratorio, será considerada como experimento visto.
h) Los alumnos podrán reponer hasta dos prácticas durante el semestre, dependiendo de las condiciones de espacio y tiempo, así como de los acuerdos de Academia.

AULA

a) Los equipos de trabajo se integrarán dependiendo de los materiales y aparatos, lo ideal es de 4 alumnos por equipo.
b) Los integrantes de los equipos deberán participar en el desarrollo de los experimentos.
c) El alumno deberá presentar su instructivo, en caso contrario no se le permitirá el acceso al laboratorio.
d) Los alumnos deberán estudiar su instructivo y el tema a desarrollar, con base a su plan de trabajo, en caso contrario el profesor podrá sancionar con la suspensión de la actividad experimental.
e) En las mesas de trabajo se tienen 4 divisiones para que los alumnos depositen su material escolar, razón por la cual sólo se permitirá sobre las mesas el instructivo, material y equipo a utilizar.
f) El alumno que se siente sobre las mesas de trabajo será sancionado con la suspensión del experimento.
g) No se permite la estancia en los laboratorios cuando no haya clase.

CLASES.

a) Las clases deberán ser de 100 minutos.

b) No se deberá realizar más de un experimento por sesión.

c) No se permitirá realizar experimentos en otras secuencias, aunque sean del mismo profesor.

d) Las clases inician la primer semana del calendario oficial, excepto en casos de fuerza mayor.

MATERIALES-

a) Se deberá llenar un vale al almacén y anexar la credencial actualizada para que se preste el equipo y los materiales a utilizar.
b) Los integrantes de los equipos de cada secuencia se harán responsables del equipo y los materiales que ampara el vale.
c) El equipo y los materiales dañados por los alumnos serán repuestos en un plazo máximo de dos semanas, de no ser así se quedará la credencial en el almacén y se reportará a las autoridades.
d) El personal del almacén deberá entregar el material y equipo limpio y en buen estado, en caso contrario deberá reportarse a la Jefatura de los Laboratorios.
e) Al finalizar el experimento, los alumnos deberán entregar en el almacén el material y equipo completo y en buen estado para recoger su credencial.
f) Cuando se adeude material, los alumnos quedarán sin derecho al examen departamental correspondiente.
g) Para utilizar equipo y material fuera del horario de la secuencia correspondiente, se deberá contar con la autorización de la Jefatura de los Laboratorios y dentro del horario del personal del almacén.

SEGURIDAD HIGIENE

a) Se establecerán las disposiciones necesarias y suficientes para el uso de altos voltajes que puedan poner en peligro la integridad de las personas dentro de los laboratorios al realizar los experimentos.
b) Los alumnos no deben permanecer sentados en las escaleras y/o platicar en los pasillos.
c) Se realizarán simulacros de evacuación por lo que es necesario que las puertas de acceso a los laboratorios queden abiertas.
d) Las aulas al iniciar las clases deberán estar limpias en los pizarrones, mesas de trabajo y piso. Se tendrán recipientes para la basura y de ser posible hacer la separación de la misma. Cualquier anomalía, reportarla a la Jefatura de los Laboratorios.
e) No se permite fumar en las aulas de los laboratorios.

EVALUACIÓN

a) El laboratorio se considera acreditado cuando la calificación sea mínimo de seis.
b) El porcentaje mínimo de asistencia para tener derecho a acreditar el laboratorio es del 80%.
c) Los alumnos que reprueben el laboratorio, deberán cursarlo por segunda vez. En caso de reprobar por segunda ocasión, tendrán derecho a presentar un período de acreditamiento durante el período de E.T.S., el que se programará al finalizar el semestre y dependiendo de los acuerdos de las Academias.
d) En el formato de actividades se establecen los porcentajes de evaluación.

PLAN DE TRABAJO PARA EL LABORATORIO DE FÍSICA EXPERIMENTAL I SEMESTRE AGOSTO - DICIEMBRE 2007

FECHA	SESIÓN	1er. DEPARTAMENTAL
/ /	01	• Planteamiento del curso. Película.
	02	• La observación científica, el proceso de medición y sus errores. Medición de cantidades físicas de tres experimentos.
	03	• Incertidumbre en las mediciones y construcción de histogramas. Se utilizan las mediciones de la sesión 2
	04	• Teoría de errores. Parámetros estadísticos involucrados. Errores aleatorios en las mediciones de los tres experimentos efectuados en la sesión 2.
	05	• Error de escala, error total y propagación de errores. Trabajo propuesto 1.5b y 1.6d.

FECHA	SESIÓN	2o. DEPARTAMENTAL ~
	06	• Hipótesis científica y contrastación empírica. Presentación de un experimento sencillo para generar una hipótesis y realizar su contrastación experimental. Interpretación gráfica. Trabajo experimental propuesto 2.4ª (Hokke)
	07	• Método de mínimos cuadrados, su uso para determinar los parámetros de la línea recta de mejor ajuste. Trab. Exp. propuesto 2.6ª (Movimiento lineal).
	08	• Coeficiente de correlación, criterio de aceptación. Ley Física. Movimiento lineal. Trabajo experimental propuesto 3.2.c. Propuesta experimental 3.3.
	09	• Ley física no lineal. F.CTE. Trabajo propuesto 3.6 ó Adquisición de datos por medio de una PC(Interfases y Videocom Leybold). Movimiento Uniformemente Acelerado.

FECHA	SESIÓN	3er. DEPARTAMENTAL
	10	• Ley física no lineal. F.CTE. Justificación de uso de una transformación. Ajuste de datos para una parábola.
	11	• Ley física no lineal. La transformación Z=Y/X. Trabajo experimental propuesto: Plano inclinado.
	12	• Trabajo experimental propuesto: Caída libre
	13	• Trabajo exp. 4.5ª. Trabajo Exp. propuesto: Máquina de Atwood.
	14	• Entrega de reporte de 4.6

ACTIVIDAD A EVALUAR	%CON PROYECTO EXPERIMENTAL	%SIN PROYECTO EXPERIMENTAL
Desarrollo Experimental		
Reporte por equipo		
Tres exámenes departamentales		
Proyectos Experimentales		

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN. La Física Experimental i

a. Desarrollo Histórico de la Física Experimental y su Metodología iii

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MEDICIONES.

1.1.- Observación Científica 1

1.2.-El proceso de Medición y sus Errores 2

1.3- Trabajo Experimental Propuesto 4

1.3.a.- Choque Unidimensional.

1.3.b.- Movimiento sobre un Plano Horizontal.

1.3.C- Caída Libre.

1.4 - lncertidumbre en las Mediciones 9

1.4.a.- Trabajo Propuesto.

1.4.b- Error Aleatorio.

1 .4.a- Trabajo Propuesto.

1.5.-Error de Escala 14

1.5.a-Error Sistemático.

1.5.b-Trabajo Propuesto.

1.6- Propagación de Errores 16

1.6.a.- Para una Función de una sola Variable Z = F(y).

1.6b- Ejemplo Numérico.

1.6c- Para una Función de dos Variables Z = F(x,y).

1.6.d.- Trabajo Propuesto.

CAPÍTULO 2.

HIPÓTESIS CIENTÍFICAS.

2.**1**.-Hipótesis Científicas 21

2.2.-Contrastacion Empírica 22

2.3.-Interpretación Gráfica 26
2.4.- Trabajo Experimental Propuesto..... 27
2.4.a- Deformación de un Resorte.
2.5.-Interpretación Analítica 29
2.6.- Trabajo Experimental Propuesto..... 32
2.6.a.- Movimiento Rectilínea de un Móvil sobre un Plano Horizontal.
CAPÍTULO 3.
LEY FÍSICA PARA CANTIDADES FÍSICAS CON ALEATORIEDAD NO CUANTIFICADA.
3.1.- Coeficiente de Correlación..... 36
3.1.a.- Criterio de Aceptación.
3.2.- Comparación de Resultados cuando la Ley Física es Lineal..... 39
3.2.a- Caracterización del Fenómeno.
3.2b.-Evaluación del Experimento.
3.3- Trabajo Experimental Propuesto..... 44
3.4.-Ley Física No Lineal 44
3.4.a- Transformación ZETA (Z).
3.5- Comparación de Resultados cuando la Ley Física es Cuadrática 49
3.5.a- Caracterización del Fenómeno.
3.5.b.- Movimiento Rectilíneo Uniformemente Acelerado.
3.6- Trabajo Experimental Propuesto..... 54
3.6.a.- Movimiento Rectilíneo de un Móvil bajo la acción de una Fuerza Constante.
3.7.- Trabajo Experimental Propuesto..... 57
3.7.a- Movimiento Rectilíneo de un Móvil sobre un Plano Inclinado.
3.7.b.- Adquisición de Datos por medio de una PC (Interfases Leybold).
3.7.b.1- Trabajo Experimental Propuesto. Movimiento Uniformemente Acelerado con Interfase.
3.7.b.2- Trabajo Experimental Propuesto. Movimiento Uniformemente Acelerado con Videocom.

3.8-Transformación $Z = \frac{Y - Yo}{X}$ 66

3.9.- Trabajo Experimental Propuesto 66

3.9.a.- Movimiento de un objeto en Caída Libre.

3.10.- Transformación $Z = \frac{Y - Yo}{X - Xo}$ 71

3.11.-Trabajo Experimental Propuesto..... 71

3.11 .a.- Máquina de Atwood.

CAPÍTULO 4.

CONCLUSIONES.

APÉNDICE A.- Sugerencias para elaborar un Reporte del Trabajo Experimental.

APÉNDICE B.- Condiciones de la Matriz Hessiana.

APÉNDICE C- Análisis del Error Residual.

APÉNDICE D.- Cálculo del Error Estándar en los Parámetros de Línea de Mejor Ajuste.

Referencias Bibliográficas.

Bibliografía Adicional.



INTRODUCCIÓN

LA FÍSICA EXPERIMENTAL

La Física Experimental es la parte de la física cuyo propósito es adquirir conocimiento de las cosas, tomando como punto de partida los Hechos. El procedimiento o camino que se sigue para que se adquiera el conocimiento de los fenómenos de la naturaleza es algo que se debe enfatizar en los cursos básicos de toda carrera de ingeniería. En la descripción de este camino o método de la Física Experimental, se encuentran términos y conceptos que el estudiante de ingeniería debe conocer y entender. Este conocimiento le servirá para realizar una investigación bien dirigida, ordenada y fructífera y poder entonces así, recorrer el camino que lo llevará al conocimiento de aspectos y conceptos en otros ámbitos de la ciencia, tales como la Economía, Administración, Cibernética, entre otras. Para proveer a los estudiantes de estas herramientas de investigación, se preparó este curso que se inicia en esta misma introducción, con un breve bosquejo del desarrollo histórico de la física experimental, su metodología y con el propósito de enfatizar los pasos que se siguen en la Física Experimental, se preparó un programa de computadora interactivo que simula todo el proceso de la investigación experimental aplicado a fenómenos sencillos.

El proceso de la Física Experimental es expuesta en estas notas con la exposición detallada de cada uno de los conceptos y términos que la componen, se incluyen también casos prácticos realizables en todo laboratorio de física. El orden de estas notas es el siguiente: El capítulo 1 se inicia con la exposición de la primera parte de la metodología de la física experimental que trata el proceso de **Observación** de un fenómeno y el proceso de **Medición** de cantidades físicas, así como la tipificación y cuantificación de los errores que se comenten al efectuar una medición. El segundo capitulo se inicia con la formulación de las hipótesis científicas, para continuar con la verificación de dicha hipótesis utilizando el proceso de **Experimentación.** En esta descripción de pasos se incluye el análisis estadístico necesario para determinar la existencia de una **Ley Física.** En el capítulo 3 se determina las condiciones necesarias para que la línea de mejor ajuste



se considere una Ley Física, en el caso que no se detecta aleatoriedad en la cantidad física

dependiente. Finalmente para el capítulo 4 se concluye el proceso de la física experimental al proponer realizar una generalización de los conocimientos adquiridos empíricamente y expresados en leyes físicas o leyes Empíricas. Se incluyen en la parte final de estas notas una lista de las referencias utilizadas y cuatro apéndices: el primero de ellos contienen una propuesta del orden y contenido de los reportes de trabajo (reportes de prácticas). El segundo apéndice contiene las condiciones necesarias y suficientes de un punto óptimo no restringido. En el tercer apéndice se expone un estadístico que se utiliza para determinar la aleatoriedad en los valores experimentales alrededor de la línea de mejor ajuste y por último en el apéndice D se encuentra el cálculo del error al determinar los parámetros de la línea de mejor ajuste.



CAPITULO 1
ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LAS MEDICIONES

La metodología de la Física Experimental se inicia en un **Fenómeno o Hecho** de la naturaleza del cual se tiene un conocimiento inicial que puede ser simple o sofisticado, limitado o amplio. Con ayuda de los sentidos del ser humano y de los instrumentos disponibles, se realiza una **Observación Científica,** que pretende dar una descripción del fenómeno formada por un conjunto de propiedades cualitativas y cuantitativas, también llamadas **Datos** que cuantifican en forma clara y sin ambigüedad alguna propiedad del fenómeno de la naturaleza **(PÁRRAFO 1: Solo acepte como verdadero lo evidenciado).** Los datos así generados presentan propiedades importantes que se abordarán en varias secciones de este capítulo. Este capítulo se inicia con la sección 1.1 donde se expone de la primera parte de la metodología de la física experimental que trata con en el proceso de **Observación** de un fenómeno. En la sección 1.2 se expone el proceso de **Medición** de cantidades físicas y se tipifican los errores que ocurren en todo proceso de medición. En la sección 1.3 se propone la repetición de mediciones con la ayuda de tres dispositivos capaces de cuantificar varias cantidades físicas. En la sección 1.4 se inicia el estudio estadístico de las mediciones para cuantificar los errores aleatorios que ocurren en todo proceso de medición. El estudio de los errores implícitos de todo instrumento, denominados errores de escala se realiza en la sección 1.5. Este capítulo termina con la sección 1.6 en donde se expone la cuantificación del efecto que provocan los errores en las cantidades físicas indirectas.

1.1.- OBSERVACIÓN CIENTÍFICA.

El término **Observación** se entenderá como un proceso mediante el cual se obtienen **Datos,** estos pueden ser del tipo cualitativo o cuantitativo. El proceso de observación requiere de los cuatro elementos siguientes:

OBJETO .- Es el ente que está expuesto a la observación.

SUJETO .- Es aquel que quiere hacer la observación.



MEDIO AMBIENTE .- Otros objetos o cosas que puedan distinguirse del sujeto.

MEDIOS DE OBSERVACIÓN .- Consisten en los sentidos, instrumentos y el conocimiento.

La interacción entre estos elementos forma el proceso de la **Observación** que consiste en: a) Tomar conciencia del objeto por parte del sujeto; b) Reconocer el objeto y distinguirlo de su medio ambiente y c) Describir el objeto.

El termino "reconocer" significa interpretar una señal, que utiliza el conocimiento ordinario o científico para atribuirle propiedades al objeto observado o también significa interpretar la señal que envía un instrumento para obtener un **Dato.** Esto significa que se necesita un conocimiento inicial del objeto de estudio para realizar una observación (de aquí en adelante se denominará **Fenómeno Físico** al objeto de estudio) para distinguir sus propiedades y cuantificar la intensidad de ellas mediante la interpretación del sujeto hacia el fenómeno físico. El conjunto de datos obtenidos por la observación de algún fenómeno físico se le llama **Descripción** del fenómeno.

1.2.- EL PROCESO DE MEDICIÓN Y SUS ERRORES.

El proceso de cuantificación de la intensidad de las propiedades del fenómeno físico en un número real se denomina **Medición.** Esta se realiza mediante una comparación de un elemento de referencia llamado " **PATRÓN** ", con el objeto a medir. Para que esta comparación sea correcta, es necesario que el elemento de referencia tenga el mismo tipo de propiedad que la que se desea cuantificar. Con el elemento de referencia adecuado, la cuantificación consiste en especificar que tantas veces es más grande o más pequeña la intensidad de la propiedad del objeto respecto a la intensidad del elemento de referencia. El resultado del proceso de **Medición** es un **Dato,** formado por un **Número Real** acompañado por una abreviatura **(Unidad de Referencia)** que representa al elemento de referencia utilizado

DATO => NUMERO REAL + UNIDAD DE REFERENCIA

El proceso de Medición requiere de una **Técnica,** un **Instrumento y** de una **Percepción.** La Técnica; se necesita seleccionar el tipo instrumento y la forma de utilizarlo; Un Instrumento que refleje la intensidad de la propiedad y de una Percepción del observador, ya que debe interpretar la señal que le envía el instrumento y representarla con un número real.

Supóngase que se desea realizar la medición de la longitud de un cierto objeto, donde se utiliza como instrumento una regla graduada en centímetros.

1.- Técnica: Coloque en forma paralela el objeto y el instrumento.

2.- Instrumento: Una regla con escala en centímetros.

3.- Percepción: El observador hace uso de su sentido de la vista para interpretar la señal dada por el instrumento.

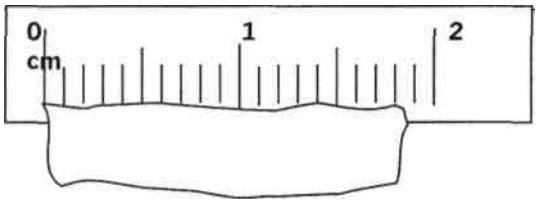


Figura 1.1.- Medición de un objeto utilizando una escala graduada.

Para el caso mostrado en la figura 1.1 se puede establecer dos cifras 1.8 sin ninguna controversia, pero el instrumento envía una señal que indica que la intensidad de la propiedad a medir está entre 1.8 y 1.9, con el propósito de realizar una buena medición se determina una tercera cifra que dependerá directamente de la agudeza visual del observador: 1.87 cm.

El proceso que se realiza para obtener el número real conlleva un error que se muestra al comparar el resultado de esta medición con otra medición y constatando una diferencia entre ellas. Esto indica que el intento por determinar la intensidad de la propiedad no siempre es idéntico y las condiciones en que se realiza no siempre son las mismas, de tal forma que se presentan las siguientes cuatro componentes que intervienen en todo proceso de Medición.

1º COMPONENTE..- Lo referente a la técnica de medición. El observador no aplica la técnica en forma idéntica en mediciones consecutivas (Factor Aleatorio).



2º COMPONENTE.- Lo referente al instrumento. El observador percibe la señal que proporciona el instrumento en forma diferente de una medición a otra medición utilizando un instrumento analógico (Factor de Escala).

3º COMPONENTE.- Lo referente a la propiedad que se desea cuantificar. Por efecto del medio ambiente o por un control inadecuado de las condiciones ambientales, la instensidad de la propiedad es cambiante (Factor Aleatorio).

4º COMPONENTE.- El instrumento utilizado es copia de la unidad de referencia. Es posible que el instrumento tenga defectos en su construcción o esté mal calibrado (Factor Sistemático).

Como consecuencia, se dice que en toda medición existen tres tipos de errores:

a) Error Aleatorio = EA

b) Error de Escala (o de Aproximación) = EE

c) Error Sistemático = ES

d) Error Total = ET = EA + EE + ES

1.3.- TRABAJO EXPERIMENTAL PROPUESTO:

1.- Realizar las mediciones de cada una de las cantidades físicas que se indican para cada uno de los tres fenómenos físicos que a continuación se detallan (5).

1.3.a.-CHOQUE UNIDIMENSIONAL.

Es un fenómeno físico que muestra las características energéticas y cinemáticas de un objeto cuando realiza una colisión con otro objeto.

Material Utilizado:

Riel para colchón de Aire.

Deslizador

Compresor

Procedimiento de Medición.

1.- Ensamble el riel para colchón de aire y las terminales del compresora como indica la figura 1.2

2.- Coloque el riel para colchón de aire en una posición inclinada como indica la figura 1.2

3.- Coloque el deslizador en la posición de 100 cm. utilizando la escala del riel de colchón de aire.

4.- Accione el compresor y deje deslizar libremente el deslizador

5.- Registre la distancia máxima alcanzada por el deslizador después del primer rebote (denótela por X_1) y después del segundo rebote (denótela por X_2).

Efectúe este procedimiento cada integrante del grupo de trabajo. Anote sus mediciones en la tabla **1.1.**

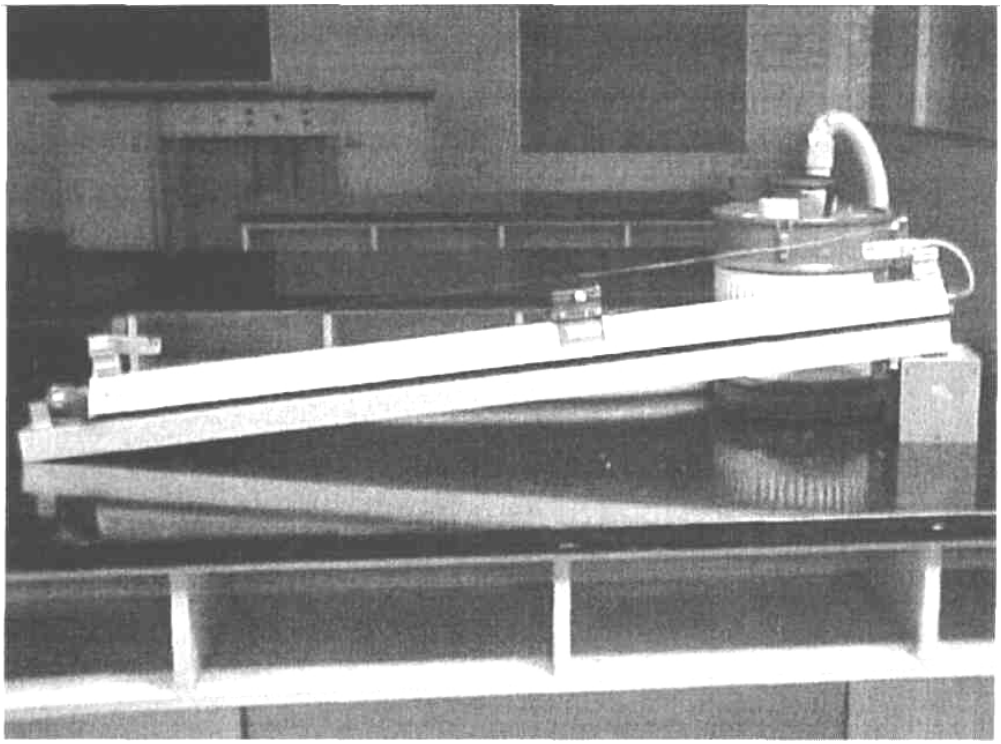


Figura 1.2 .- Choque Unidimensional

MEDICIÓN	X_1(cm)	X_2(cm)
1		
2		
3		
4		

Tabla 1.1.- Mediciones repetitivas del experimento de choque unidimensional.



1.3.b.- MOVIMIENTO SOBRE UN PLANO INCLINADO.

Este es un fenómeno físico en donde se pueden observar las características de movimiento de objetos dentro del campo gravitacional terrestre.

Material Utilizado.

Riel para Colchón de Aire.

Deslizador.

Compresor.

Cronómetro Manual.

Calibrador Vernier.

Procedimiento de Medición.

1.- Ensamble el riel para colchón de aire y las terminales del compresor como indica la figura 1.3.

2.- Coloque el riel para colchón de aire en un posición inclinada como ilustra la figura 1.3

3.- Sostenga el deslizador a una distancia L = 150 cm medida en la escala del riel.

4.- Accione el compresor y deje deslizar libremente el deslizador. En ése mismo instante, accione el cronómetro y mida el tiempo que tarda el deslizador en llegar al otro extremo del riel (denótelo por T). Mida también las alturas H_1 y H_2 como ilustra la figura 1.3.

Efectúe este procedimiento cada uno de los integrantes del grupo de trabajo. Anote sus mediciones en la tabla 1.2.

MEDICIÓN	H_1 (cm)	H_2(cm)	T(seg)
1			
2			
3			
4			

Tabla 1.2.- Mediciones repetitivas del experimento de movimiento sobre un plano inclinado.

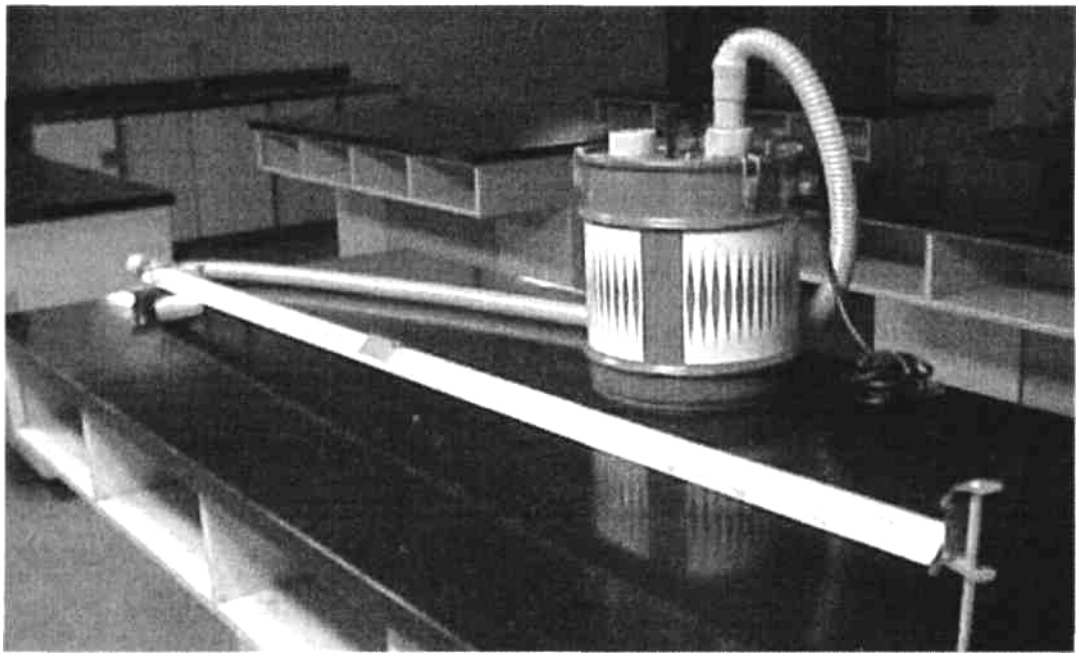


Figura 1.3.- Movimiento sobre un Plano Inclinado

1.3.c- CAÍDA LIBRE.

Experimento clásico de la cinemática donde se observa el efecto del campo gravitacional terrestre sobre una partícula libre.

Material Utilizado.

Pie en "A"

Nuez Doble

Varilla Cuadrada (1,25 m)

Aparato de Caída Libre.

Regla Graduada.

Contador Digital Electrónico (PHYWE).

Cables.

Balín.

Conexiones: Los cables superiores del aparato de caída libre entran en STAR/STOP. Los cables inferiores entran en STOP. En ambos casos no importa la polaridad.

Procedimiento de Medición.

1.- Encienda el reloj contador y espere cinco segundos. Oprima la tecla FUNKTION.

2.- Con la tecla TIGGER seleccione la columna del símbolo ⨍ ⌊

3.- Coloque el platillo interruptor hacia arriba y sostenga el balín con el disparador.

4.- Oprima la tecla STOP y después RESET. El reloj debe quedar en ceros.

5.- Oprima la tecla STAR . El reloj esta listo para iniciar el conteo.

6.- Suelte el balín y registre la lectura (denótela como t).

7.- Mida la distancia que recorre el balín (denótela como h).

Efectúe este procedimiento cada uno de los integrantes del grupo de trabajo. Anote sus mediciones en la tabla 1.3.

MEDICIÓN	h(cm)	t(seg)
1		
2		
3		
4		

Tabla 1.3.- Mediciones repetitivas del experimento de caída libre.

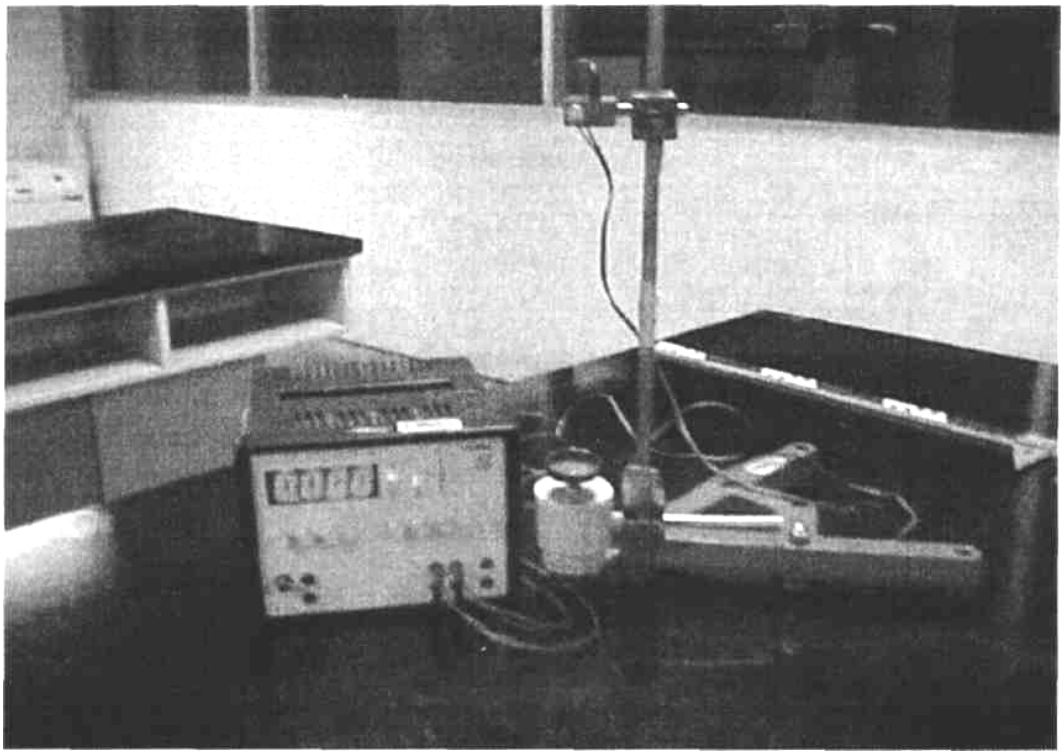


Figura 1.4.- Caída Libre.



1.4 .- INCERTIDUMBRE EN LAS MEDICIONES.

El estudio de las mediciones consiste en caracterizar su comportamiento, tipificar los errores
y desarrollar procedimientos que cuantifiquen las magnitudes de estos errores. Para ello se expondrá a continuación el error aleatorio, sus características, sus orígenes y el procedimiento para cuantificarlo.

Supóngase que se desea cuantificar la intensidad de alguna propiedad de un objeto, ésta se realiza a través de un instrumento de medición que refleje la intensidad de la propiedad en algo observable. Mediante una técnica utilizando un instrumento e interpretando su señal, se obtiene un número real (Y_i) y un símbolo que representa la unidad de referencia. Pero este número es un valor aproximado del **Valor Verdadero(** $\hat{Y}$). Para obtener el mejor valor aproximado (la mejor estimación de un valor desconocido), es necesario realizar varias veces la medición de la propiedad de interés. Para ejemplificar lo anterior, considere que se desea medir:

" La distancia que recorre un móvil sobre un plano Inclinado después de sufrir un choque en la parte más baja del plano inclinado".
TÉCNICA : Colocar el instrumento de medición en forma paralela al plano inclinado, ubicando el cero del instrumento en el punto más bajo del plano inclinado.
INSTRUMENTO : Dada la propiedad que se desea cuantificar, se selecciona como instrumento una réplica del metro patrón con escala hasta milímetros.
PERCEPCIÓN : El experimentador hace uso de su sentido de la vista para determinar el momento de máximo avance e interpretar la señal que envía el instrumento, obteniéndose la medición cuando el movimiento tiene como origen una distancia de 100.0 cm.

El conjunto de datos generados en la sección 1.3.a, referidos a este mismo experimento, se obtuvieron midiendo varias personas la distancia del máximo avance después del primer choque, cuando el origen del movimiento es un punto común. Este conjunto de datos reúne las características de repetitividad que se requiere para realizar un análisis estadístico que se



inicia con la construcción de la tabla de datos de la cantidad física X_1 . La tabla 1.4 reúne los datos obtenidos en la sección 1.3.a.

Medición	X_1(cm)	Medición	X_1(cm)	Medición	X_1(cm)	Medición	X_1(cm)
1		6		11		16	
2		7		12		17	
3		8		13		18	
4		9		14		19	
5		10		15		20	

Tabla 1.4.- Mediciones obtenidas en el primer choque del experimento 1.3.a.

Como se puede apreciar, los resultados de las mediciones son diferentes. Este aspecto de variación en los resultados de las mediciones puede ser explicado por la presencia de factores que intervienen en el proceso de medición, entre ellos se pueden mencionar:

lo.- La intensidad de la propiedad no siempre es la misma en sucesos consecutivos del choque, ocasionado por : a) La posición inicial, no es la misma; b) El choque no presenta las mismas características (el dispositivo se deforma).

2o.- Las condiciones en que se realiza el evento no permanecen constantes: a) Variación en el ángulo de inclinación; b) Variación en la presión del aire en el compresor; c) Las condiciones ambientales no permanecen constantes.

La presencia de estos factores hacen prever que es prácticamente imposible definir el resultado de la medición antes de realizar la medición, solo será posible definir un rango de posibles resultados. Este aspecto se presenta en muchos de los fenómenos de la naturaleza.

El ejemplo más sencillo es el proceso del juego del dado, donde se conocen los resultados {1,2,3,4,5,6}, pero no es posible definir con exactitud el resultado de un evento futuro. Estos eventos descritos se denominan **Eventos Aleatorios** y como tales, el proceso de medición se considera un evento aleatorio. El estudio teórico(6) **(Teoría de la Probabilidad y la Estadística)** de estos eventos o procesos aleatorios se realizan utilizando una relación entre los resultados del evento aleatorio y una entidad matemática, denominada



Variable Aleatoria (V.A.). Esta teoría representa matemáticamente el comportamiento del evento aleatorio por medio de la **Función de Distribución** (**f(y)**). Existen varios tipos de funciones de Distribución que representan a otros eventos aleatorios, entre ellas se pueden mencionar a: Binomial, Poisson, Exponencial, Gaussiana o Normal, Log-Normal, Uniforme, Gamma, entre otras más. Fué en 1812 cuando R. Laplace(ó), demostró que el comportamiento de las mediciones repetitivas es representado por una función de distribución tipo **Gaussiana.** La Distribución Gaussiana de una variable aleatoria Y esta dada por:

$$f_Y(y) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\Pi}} \exp\left[\frac{-(y-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \; -\infty \le y \le \infty$$

Está expresada por dos parámetros μ (media) y S (desviación estándar) y su representación gráfica se muestra en la figura 1.5.

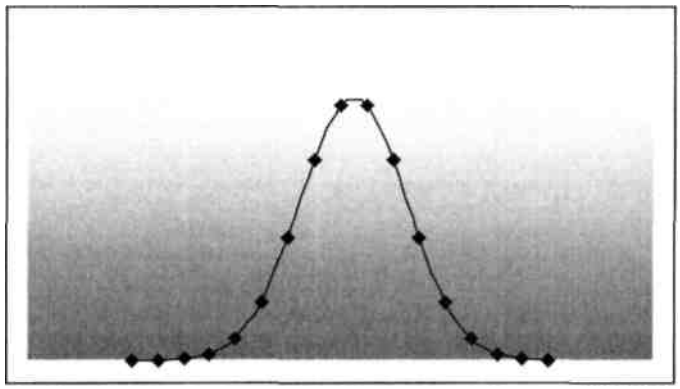


Figura I.5.- Gráfica de la distribución Gaussiana

En la figura 1.5 se observa su simetría respecto a un eje vertical que pasa por la media y un intervalo $[\mu - \sigma\,,\, \mu + \sigma]$ que define el 68% del área total bajo la curva. El área bajo la curva entre los valores Y_1, Y_2 se interpreta como la probabilidad de que la variable aleatoria Y se

encuentre entre dichos valores. Con el concepto anterior y la figura 1.6, se puede explicar el comportamiento gausssiano de la manera siguiente: En la figura 1.6 se muestra que la probabilidad del intervalo central I_1 es mayor que la probabilidad del intervalo no central I_2, siendo estos intervalos del mismo ancho, lo que equivale a decir, que la variable aleatoria tiene una probabilidad mayor de adquirir valores cercanos al valor central que valores lejanos al central.

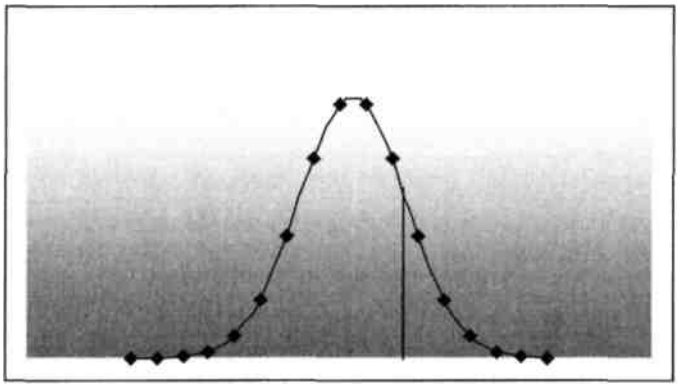


Figura 1.6.- Área bajo la curva = Probabilidad

Para mostrar en forma sencilla si un conjunto de mediciones posee la característica de una función de distribución Gaussiana, se organizan estas mediciones para formar un **Histograma de Frecuencias(7).** Si éste presenta, en términos generales, que el intervalo central es el de mayor ocurrencia, significa que el conjunto de mediciones es un conjunto adecuado de datos. En caso contrario, es posible que:

a.- No se reproduzca el evento en forma adecuada para que se pueda considerar que se mide en forma repetitiva el mismo evento.

b.- El o los que realizan las mediciones no dominan la técnica de medición.

c- El número de mediciones es reducido.

1.4.a.- TRABAJO PROPUESTO.

1.- Construya los histogramas de frecuencias de cada conjunto de mediciones **X_1,X_2 (Choque Unidimensional); T,H_1 ,H_2 (Movimiento sobre un Plano Inclinado); t,h(Caída Libre).**



2.- Especifique con detalle los factores aleatorios que interviene en el proceso de medición
de los fenómenos físicos, a) Movimiento sobre un Plano Inclinado; b) Caída Libre.

1.4.b.- ERROR ALEATORIO (E.A.)

La característica aleatoria de las mediciones es causada por la intervención de los factores aleatorios en el proceso de medición. Si estos factores interviene en forma intensa, ocasiona que el rango de variación sea amplio, en caso contrario, cuando la intervención es escasa, se obtiene un rango de variación pequeño. Esta interrelación se utiliza para cuantificar el efecto de los factores aleatorios en el proceso de medición mediante las siguientes expresiones:

Cuantificación de los Factores Aleatorios = Error Aleatorio = E.A.

$$E.A._y = \frac{S_y}{\sqrt{n}} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2}}{\sqrt{n}}$$

donde : Yi = medición i-esima.

$$\bar{Y} = Media\ Aritmetica = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Y_i$$

$$S_y = Desviación\ Cuadrática\ Media = \sqrt{S_y^2}$$

$$S_y^2 = Dispersión\ Muestral = \frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(Y_i - \bar{Y})^2$$

Se considera que el valor más representativo del conjunto de mediciones es la media aritmética o valor más probable ($\bar{Y}$), el cual se le conoce también como el Estimador de la Media de la Distribución Normal. S_y y S^2_y son también estimadores de la desviación Estándar σ y de la varianza σ^2 respectivamente.

Relacionado con el aspecto aleatorio de las mediciones repetitivas, se define el término **Precisión** al grado de reproductibidad de las mediciones, es decir, la precisión se establece



en base al rango de variación de las mediciones, de tal forma que si la desviación estándar es grande el instrumento será poco preciso y por lo contrario será más preciso si la desviación es pequeña.

1.4.c- TRABAJO PROPUESTO.

1.- Determinar el estimado de la media de la Distribución y el estimado de la Desviación Estándar de cada uno de los conjuntos de mediciones de los fenómenos: Choque Unidimensional, Movimiento sobre un Plano Inclinado y Caída Libre.

2.- Determinar el error aleatorio de cada uno de los tipos de mediciones. (Choque Unidimensional X_1 X_2; Movimiento sobre un Plano Inclinado T, H_1 ,H_2; Caída Libre t,h).

3.- Describir con detalle las posibles mejoras que se le pueden hacer a cada uno de los tres dispositivos experimentales para mejorar el proceso de medición. Considere que no existe limitación en los recursos financieros.

1.5 .- ERROR DE ESCALA (E.E.).

El observador, al hacer una medición, percibe la señal que proporciona el instrumento y la interpreta. Por ejemplo, considere la medición de la longitud de un cuerpo sólido utilizando una regla graduada en centímetros, como muestra la figura 1.7

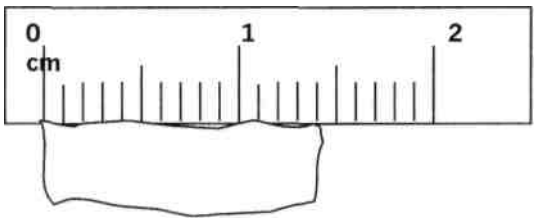


Figura I.7.- Medición de un objeto con una escala graduada.

La señal que proporciona el instrumento, establece que la longitud del cuerpo sólido se encuentra entre 1.4 y 1.5 cm., pero debido a la irregularidad del cuerpo sólido, es necesario en forma imaginaria dividir al milímetro (escala mínima del instrumento), en diez partes iguales y determinar la división que corresponde con la frontera del cuerpo sólido para definir una tercera cifra. Como se puede observar en el dibujo anterior, esta tercera cifra



puede ser 2. Esta misma señal la percibe otra persona y bajo su particular interpretación definirá la tercera cifra como 3. Si este proceso se realiza por varios observadores, **se** obtendrán resultados, que en términos generales, se diferencian por la última cifra. La fuente de discrepancia de los resultados, es la escala del instrumento y por tal motivo se le denomina **Factor de Escala.**

Cuantificación del Factor de Escala = ERROR DE ESCALA = E.E.

E.E. = Mínima División del Instrumento/2

Esta cuantificación se aplica a instrumentos de medición de **Escala Fija.** Cuando se trata de instrumentos de **Escala Móvil** se tiene que:

E.E. = Máxima Aproximación del Instrumento/2

Para los instrumentos digitales, la señal que proporciona obviamente ya no esta sujeta a la interpretación del observador. Pero el resultado de la medición con un instrumento digital tiene implícito un error por su limitación de proporcionar un determinado número de dígitos. Por ejemplo, considere un contador digital que mide las vueltas en una audiocasettera, al utilizar este instrumento se obtiene, por ejemplo el número 345, significando que el audiocasette giró 345 vueltas. Pero como el instrumento no es capaz de

medir fracciones de vuelta, este resultado tiene un error. No es posible distinguir si se trata de una medición de 345.0 vueltas o de 345.9 vueltas. Por lo anterior, los instrumentos digitales tiene un error que por su naturaleza de le denomina **Error de Aproximación (E.AP).**

Cuantificación del Error de Aproximación = E.AP.

E.AP. = Máxima Aproximación/2

1.5.a .- ERROR SISTEMÁTICO (E.S.).

El error sistemático se presenta cuando se utiliza un instrumento que no esta calibrado, es decir que por defecto en el instrumento, la señal que envía al observador no sea confiable. Por ejemplo, para un cronómetro no calibrado éste puede registrar los segundos con una



duración menor o mayor que el valor de referencia. La característica de este tipo de error es que tiene una magnitud constante, es invariante con respecto al número de mediciones. Es conveniente establecer que es necesario revisar y calibrar el instrumento cuando sea posible. En caso contrario **NO** efectuar mediciones cuando se sabe que el instrumento no esta calibrado. Respecto a este tipo de error, se define **Exactitud** de un instrumento como la proximidad de sus señales respecto a la magnitud de la intensidad real de la propiedad.

Por lo tanto el **Error Total** al medir una cantidad [Y] se expresa como :

$$\mathbf{E.T_y = E.A_y + E.E_y \ (Para\ instrumentos\ Analógicos).}$$

$$\mathbf{E.T_y = E.Ay + E.AP_y \ (Para\ instrumentos\ Digitales).}$$

Finalmente se expresan las magnitudes de las cantidades medidas, con un nivel de confianza del 68%, por medio de un intervalo dado en los términos siguientes:

$$[\bar{Y} - E.T_y,\ \bar{Y} + E.T_y]$$

1.5.b.- TRABAJO PROPUESTO.

1.- Exponer la técnica, especificar el instrumento y explicar la percepción para realizar la medición de las tres cantidades fundamentales: Masa, Longitud y Tiempo.

2.- Calcular el error total al medir cada una de las cantidades físicas de los tres experimentos estudiados: **Caída Libre ($E.T._t$, $E.T._h$), Movimiento sobre un Plano Inclinado ($E.T._{H1}$, $E.T._{H2}$, $E.T._T$), Choque Unidimensional ($E.T.x_1$, $E.T._{X2}$).**

1.6 .- PROPAGACIÓN DE ERRORES.

En el fenómeno del movimiento Pendular Simple, una de las características del objeto suspendido **es** su **Forma Esférica** y su cuantificación se realiza por la medición de su diámetro (D). Con el conocimiento de su diámetro es posible **Calcular** (No Medir) el volumen del objeto, esto mismo sucede con la superficie y el perímetro de dicha esfera. Consideremos la superficie del objeto esférico (S) como la propiedad desconocida y que se desea conocer su valor. Como se sabe, una de las formas para cuantificar esta propiedad es utilizando una expresión que relaciona la cantidad desconocida **(Cantidad Física Indirecta)** con la cantidad medible **(Cantidad Física Directa),** esta expresión es la siguiente:

Superficie = S = U * D^2



Para calcular la superficie de la esfera se*D* necesita conocer el valor de su diámetro (D) y sustituirlo en la expresión anterior, pero no se conoce el valor verdadero del diámetro, solo se conoce su valor más probable ($\overline{D}$), entonces es posible calcular el valor más probable de la superficie de la esfera $S = \pi * (\overline{D})^2$. Es de suponer que la superficie calculada tendrá un error que debe estar relacionado con el error del diámetro. Se dice entonces, que el error de la cantidad física medida se propagó a la cantidad física calculada. A este concepto se le conoce como **Propagación de Errores.**

La magnitud del error propagado en la cantidad calculada puede ser mayor, menor o igual que el error de la cantidad medida, esto depende de la forma analítica de la relación utilizada para hacer el cálculo.

1.6.a.- PARA UNA FUNCIÓN DE UNA SOLA VARIABLE Z=F(y).

Supóngase que Z es función de una sola cantidad física directa (y). El Error Aleatorio Propagado al Calcular Z (E.A.z) está dado por:

$$E.A._Z = \frac{S_Z}{\sqrt{n}} = \frac{Desviacion\ Cuadratica\ Media\ Propagada\ de\ Z}{\sqrt{n}}$$

$$E.A_Z = \sqrt{\left(\frac{dF(y)}{dy}\right)^2_{y\,\bar{y}} * (E.A_y)^2} = \left(\frac{dF(y)}{dy}\right)_{y\,\bar{y}} * (E.Ay) \quad \text{.....ec.1.1}$$

Donde :

$\left(\ \right)^2_{y\,\bar{y}}$ = *El cuadrado de la derivada evaluada en los valores promedios.*

De forma análoga el Error de Escala Propagado al Calcular Z (E.E.z) está dado por:

$$E.E.z = \left|\left(\frac{dF(y)}{dy}\right)_{y\,\bar{y}}\right| * E.E.y \quad \text{.....ec.1.2}$$



Para formar el denominado:

Error Total al Calcular Z = E.T.Z = E.A.Z + **E.E.Z**

Y por tanto se dice que el valor calculado de Z se encuentra dentro del intervalo [*Z - E.T.z , Z + E.Tz]* con un nivel de confianza del 68%.

1.6.b.- EJEMPLO NUMÉRICO.

Considere el conjunto de 20 mediciones repetitivas del diámetro de la esfera con un instrumento de escala fija con divisiones mínimas de lmm. De este conjunto se obtiene un valor promedio ($\overline{D}$) de 3.5 cm. y una desviación cuadrática media (S_D) de 0.3 cm. Se desea calcular el valor esperado de la superficie (S) de la esfera y el error total propagado al calcular S:

$S_D^2 = 0.09\ cm^2$

$$E.A.d = \frac{0.3}{\sqrt{20}} = 0.06708cm.$$

$$E.E.d = \frac{1.0}{2.0} = 0.05cm$$

$$E.T.d = 0.11708cm$$

Para la cantidad Física Indirecta se tiene :

$$S = F(D) = \prod * D^2$$

$$S = \prod * \overline{D}^2 = 3.1416 * (3.5)^2 = 38.4846\ cm^2$$

Utilizando la Ecuación 1.1

$$E.A.s = \left(\frac{dF(D)}{dD}\right)_{D=\overline{D}} * E.A_D = \left(\frac{d}{dD}(\prod * D^2)\right)_{\overline{D}} * E.A_D$$

$$E.A.s = \left(2\prod \overline{D}\right) * E.A_D = \left(2 * 3.1416 * 3.5\right) * 0.06708$$

$$Por\ lo\ tanto : E.A..s = 1.4752cm^2$$

Para el error de Escala Propagado se tiene:

$$E.E.s = \left|\left(\frac{dF(D)}{dD}\right)_{D=\overline{D}}\right| * E.E._D = 2\prod \overline{D} * E.E_D = 2 * 3.1416 * 3.5 * 0.05 = 1.0995cm^2$$

El error total propagado al calcular S es :

$E.Ts = 1.4752 + 1.0995 = 2.5747\ cm^2$

Entonces, existe un nivel de confianza del 68% *que el valor calculado de la superficie se encuentre dentro del intervalo* :

[38.4846-2.5747, 38.4846 + 2.5747]



1.6.c- PARA UNA FUNCIÓN DE DOS VARIABLES Z = F(x,y)

Cuando la cantidad física calculada requiere de dos cantidades físicas directas X,Y, es decir, que Z = F(x, y), las expresiones para el cálculo de los errores propagados son:

$$E.A_Z = \sqrt{\left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}\right)^2_{\overline{x},\overline{y}} * (E.A_X)^2 + \left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial y}\right)^2_{\overline{x},\overline{y}} * (E.A_Y)^2}$$

$$E.E.z = \left|\left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial x}\right)_{\overline{x},\overline{y}}\right| * E.E.x + \left|\left(\frac{\partial F(x,y)}{\partial y}\right)_{\overline{x},\overline{y}}\right| * E.E.y$$

Estas expresiones se pueden proyectar en forma análoga para cantidades físicas indirectas que requieran de tres o más cantidades físicas directas.

1.6.d.- TRABAJO PROPUESTO.

1.- Determine los errores propagados de la aceleración de la gravedad (g), para el experimento de caída libre, utilizando la expresión $\mathbf{g = 2h/t^2}$. Utilice los datos medidos de **h** y **t**

2.- Determine los errores propagados de la aceleración de la gravedad (g), para el experimento de Movimiento sobre un Plano Inclinado, utilizando al expresión

Utilice los datos medidos de H_1,H_2,,T y considere que el valor de L es igual a 150 cm.

3.- Determine los errores propagados del coeficiente de restitución (e), para el experimento de choque unidimensional, utilizando la expresión: $e = +\sqrt{\frac{X_2}{X_1}}$ Utilice los datos de las mediciones de X_1, X_2,.



CAPITULO 2
HIPÓTESIS CIENTÍFICAS Y SU CONTRASTACIÓN

Después de analizar el concepto de aleatoriedad en las mediciones y establecer que el conjunto de mediciones forman lo que se conoce como la descripción del fenómeno. El trabajo científico continua cuando existe alguna **Inquietud, Pregunta, Duda,** referente al fenómeno, a su comportamiento de alguna de sus facetas o a sus elementos que lo constituyen. Esta fase esta definida en el **2ª Párrafo** descrito por R. Descartes el cual establece las bases del llamado **Pensamiento Reduccionista** que consiste en desmembrar en sus partes más simples un todo más complicado, con el propósito de conocer con mayor detalle cada una de ellas y de esa forma conocer el todo original.

Con cada una de estas facetas o partes mas simples se debe estructurar una **Hipótesis,** que debe tener la forma de una **Aseveración o Negación** que reúna la o las inquietudes o dudas originales. La falsedad o veracidad de la hipótesis y sus implicaciones se deben probar mediante la llamada **Contrastación Formal** o mediante la **Contrastación Empírica.** Con la primera, se utilizan las estructuras teóricas referente al fenómeno y con la segunda se utilizan los hechos como única forma de validar las implicaciones o aseveraciones contenidas en las hipótesis y es esto precisamente lo que se emplea en la metodología de la Física Experimental. La respuesta a las diversas preguntas, la validez o falsedad de aseveraciones se deben encontrar en la naturaleza misma, mediante procedimientos que conduzcan a los fenómenos o hechos a la dirección adecuada o deseada. Este procedimiento se le denomina **Experimentación,** que consiste de una serie de pasos que tienen como propósito final el de verificar la hipótesis planteada, pero para esto es necesario determinar previamente la **Ley Física o Ley Empírica.** Esta ley física especifica el comportamiento observado por el fenómeno en uno de sus aspectos y entonces realizar una comparación de lo afirmado en la hipótesis y lo encontrado como respuesta en el fenómeno o en los hechos. El resultado de la comparación, ya sea verificando lo establecido en la hipótesis o



contradiciendo la misma, se considera como un conocimiento adicional que será incluido en el marco de conocimiento del fenómeno. Este capítulo se desarrolla en el siguiente orden: En la sección 2.1 se introduce el concepto de Hipótesis Científica y su relación con el 2ª Párrafo dado a conocer por R. Descartes; En la sección 2.2 se especifican, en forma breve, cada una de los pasos que forman el proceso de Experimentación. En la sección 2.3 se desarrolla el paso denominado **Interpretación** utilizando un procedimiento **Gráfico** que servirá como antecedente para el desarrollo y la mejor comprensión del mismo paso de **Interpretación** pero utilizando conceptos **analíticos.** En la sección 2.4 se aplican los conceptos de la interpretación gráfica a un fenómeno de la cinemática. Para la sección 2.5 y 2.6 se expone la interpretación analítica y su aplicación a un fenómeno de la cinemática, respectivamente. Con el propósito de dosificar los temas a exponer, se abordarán los dos últimos pasos del proceso de experimentación (definición de la ley física y su comprobación) en el capítulo siguiente.

2.1.- HIPÓTESIS CIENTÍFICA.

Una hipótesis científica es una suposición que permite establecer relaciones entre hechos, la cual debe ser susceptible de verificarse, de tener un poder predictivo o explicativo y ser sencilla. Estas hipótesis son las que dirigen la investigación y con ellas se han construido valiosas guías que se han utilizado para la formulación de teorías científicas. La formulación de una hipótesis no es una tarea fácil porque requiere de capacidad creativa para expresar lo relevante de los hechos; requiere del conocimiento de otros hechos ya confirmados, para plantear nuevos aspectos de los hechos y de una capacidad de observación para detectar propiedades o características no investigadas.

Al observar la caída libre de un objeto, se puede plantear la siguiente hipótesis científica:" **La velocidad de caída de los cuerpos depende de la masa de ellos".** Esta hipótesis plantea un aspecto del fenómeno de la caída libre que parece equivocado, pero sin importar esto, su verdadero valor radica en las posibilidades experimentales para verificar su falsedad o veracidad ya que las hipótesis son tan valiosas para la investigación que aún las que se



consideran falsas o incorrectas, se abandonan para formular otra hipótesis que la reemplace

y de esta forma se inicia otra vez el proceso. El concepto fundamental que se debe considerar en el planteamiento de las hipótesis está expresado en el 2ª párrafo de R. Descartes en los siguientes términos:

> " **La división de cada una de las dificultades con que tropieza la inteligencia al investigar la verdad, en tantas partes como fuera necesario para resolverlas** ".

De lo anterior se desprende que para entender toda una problemática, es necesario dividir a la problemática total en problemáticas más pequeñas, que sea posible entender sus características, sus propiedades y sus comportamientos. El fenómeno puede presentar varias facetas que pueden estar involucradas todas o algunas de las cantidades físicas contenidas en la descripción del fenómeno. Un intento por dividir al fenómeno en sus partes fundamentales es:

"Proponiendo interrelaciones entre cantidades físicas Directas"

Esto significa que se propone una **Hipótesis** que establece una relación entre dos cantidades físicas directas (X,Y) como una interrelación importante y predominante en el comportamiento y desarrollo del fenómeno. Es conveniente decir, que las interrelaciones son solo escalones, la finalidad es obtener un conjunto de relaciones funcionales que representen estructuras. Estas interrelaciones son antorchas que ilumina la búsqueda de estructuras, pero no es la única antorcha en la búsqueda del conocimiento ni tampoco es infalible.

2.2.- CONTRASTACIÓN EMPÍRICA.

La contrastabilidad es la propiedad metodológica, que permite determinar si una hipótesis es verdadera o falsa. Existen dos formas de contrastar una hipótesis, la formal y la empírica. La contrastación formal consiste en fundamentar las hipótesis con bases teóricas ya



establecidas, en cambio la contrastación empírica se apoya en los hechos. Es la contrastación empírica la que se utiliza en la física experimental y al procedimiento para constratar una hipótesis se le conoce como **Experimentación.** Este procedimiento está formado por los siete pasos siguientes:

1°) Definición de Variables.- Definir las cantidades relevantes y de interés del fenómeno. En esta etapa de desarrollo metodológico, se considera solo dos cantidades físicas que pueden cuantificarse directamente (cantidades físicas que sean posible medir).

2°) Diseño del Dispositivo.- Diseñar un dispositivo donde sea posible controlar y cuantificar alguna de las dos variables y ésta considerarla como la variable independiente (X) y al mismo tiempo sea posible cuantificar la otra variable considerada como variable dependiente (Y). La variable independiente es aquella que será posible cambiarla en forma controlada **(Causa o Estímulo)** y la variable dependiente es aquella que se considerará como **Respuesta o Efecto.**

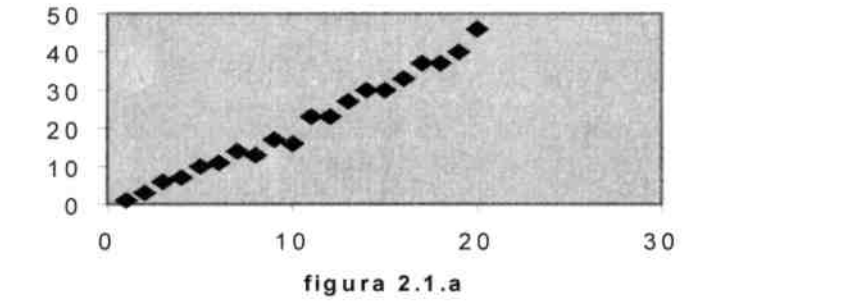
3°) Reproductividad del Fenómeno.- Este paso consiste en reproducir varias veces el fenómeno físico cambiando los valores de la cantidad física independiente y registrando los valores de la cantidad física dependiente. Es importante destacar que es necesario mantener durante este proceso de repetición, las condiciones externas sin variación y de esa forma reunir los resultados en la tabla 2.1.

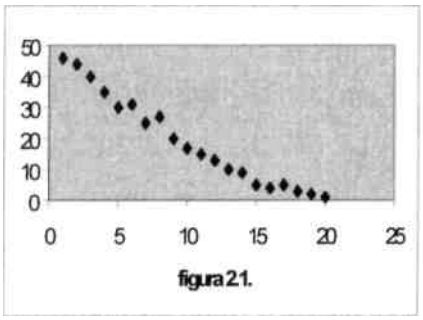
CANTIDAD FÍSICA INDEPENDIENTE (U.R.)	CANTIDAD FÍSICA DEPENDIENTE (U.R.)
$\mathbf{X_1}$	Y_1
$\mathbf{X_2}$	Y_2
$\mathbf{X_3}$	Y_3
$\mathbf{X4}$	Y_4
$\mathbf{X_5}$	Y_5
$\mathbf{X_6}$	Y_6
$\mathbf{X_7}$	Y_7
$\mathbf{X_8}$	Y_8

X_9	Y_9
X_{10}	Y_{10}

Tabla 2.1.- Tabla de Resultados.

4º) Gráfica de Dispersión.- Consiste en construir una Gráfica de Dispersión tri-dimensional formada por puntos en un plano que son determinados por las parejas ordenadas de la tabla de resultados. En el eje horizontal se gráfica la cantidad física Independiente y en el eje de las ordenadas la cantidad física Dependiente. En esta etapa ya es posible observar en forma general el tipo de interrelación que existe entre las dos cantidades físicas. Este tipo de interrelación puede ser de relación **Directa** cuando el aumento de la cantidad física independiente ocasiona un aumento de la cantidad física dependiente (figura 2.1.a). También se puede observar una relación inversa cuando el aumento de la cantidad independiente ocasiona una disminución de la cantidad física dependiente (figura 2.1.b). Es posible observar que existe un comportamiento de indefinición de la cantidad física dependiente cuando la gráfica de dispersión tiene el aspecto general mostrado en la figura 2.1.c.





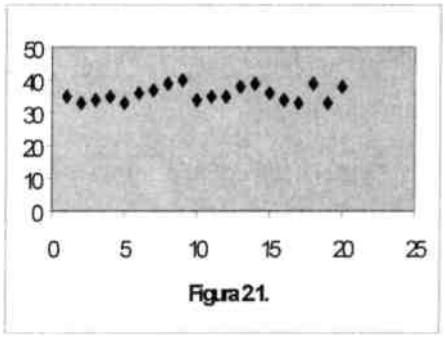


Figura 2.2 (a, b, c).- Gráficas de Dispersión



5º) Interpretación.- Este paso consiste en interpretar en forma analítica la interdependencia entre las dos variables, mediante la determinación de una relación lineal utilizando el procedimiento de **"Ajuste de los valores experimentales a una Línea Recta".**

6º) Definición de la Ley Física.- Se conoce como una Ley Física o Ley Empírica a una expresión matemática que represente "adecuadamente" el comportamiento de un proceso físico. Si se logra obtener, en forma clara y contundente, una relación entre las variables involucradas, como la obtenida en la línea de mejor ajuste, entonces ésta será considerada como una posible Ley Física. Es decir, si la línea de mejor ajuste representa adecuadamente el comportamiento del fenómeno, entonces esta línea será considerada como Ley Física. En este curso se utilizarán dos criterios de aceptación que permite definir la ley física con un nivel de confianza adecuado. Estos criterios se aplican según las características aleatorias de las variables involucradas.

7º) Comparación de Resultados.- Este paso consiste en comparar lo expresado o inferido de la hipótesis con lo establecido por la Ley Física, de tal forma que se pueda concluir la falsedad o veracidad de la hipótesis planteada.

En las dos siguientes secciones se desarrolla el concepto de "ajuste de valores experimentales a una línea recta", en la primera sección bajo el titulo de **Interpretación Gráfica** se aborda el concepto y se utilizan fenómenos sencillos para su aplicación. En la segunda sección con el titulo de **Interpretación Analítica** se utiliza el concepto gráfico para dar un sentido práctico al método analítico, así también se utilizan fenómenos físicos sencillos para ejemplificar dicho método.

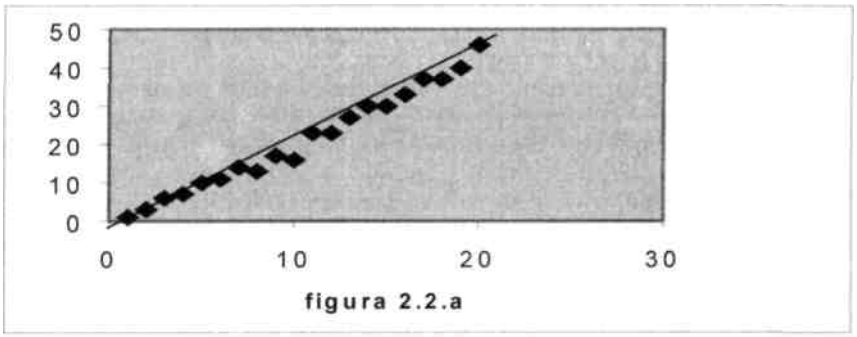
Es conveniente aclarar en este momento, que el propósito de este curso es exponer cada uno de los pasos que se siguen en la física experimental y hasta este momento falta exponer los criterios estadísticos de aceptación para definir la ley física y la comparación de resultados, que serán desarrollados en el capítulo siguiente.

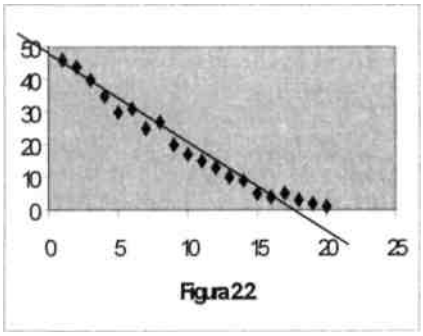
2.3.- INTERPRETACIÓN GRÁFICA (Método Gráfico)

Esta interpretación se basa principalmente en el aspecto que presenta la gráfica de dispersión. Consiste en expresar en forma clara y sencilla el comportamiento del fenómeno, por ejemplo, si en una gráfica de dispersión se observa una relación de proporcionalidad directa en las variables graficadas, entonces una forma sencilla de expresar esta relación de proporcionalidad es por medio de la ecuación de una línea recta de pendiente positiva. Se puede decir que esta interpretación consiste en determinar la ecuación de la línea recta que represente el comportamiento del fenómeno. El procedimiento para obtener los parámetros de la ecuación de esta línea recta es el siguiente:

a.- *Trazar* una línea recta sobre la gráfica de dispersión procurando que ésta pase por los puntos experimentales lo mas cerca posible, como se muestra en la figura 2.2 (a, b, c).

b.- Considere dos puntos sobre la línea recta trazada (figura 2.7), sean estos el punto A de coordenadas ($X_1°$, $Y_1°$) y el punto B de coordenadas (X_2^0, Y_2^0), donde es necesario que $X_1°$ sea menor que X_2^0. Debido a que estos dos puntos están sobre la línea recta trazada y ésta tiene una pendiente m° y una ordenada b°, entonces se pueden establecer las igualdades siguientes:





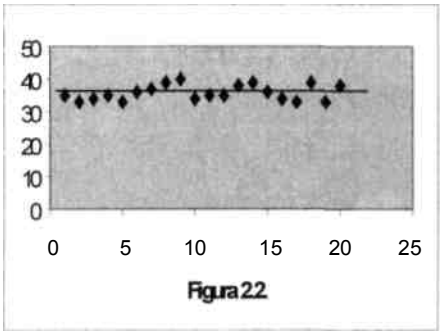


Figura 2.2(a, b, c).- Ajuste de los Valores Experimentales a una Línea Recta



Para el primer punto $y_x = m°x_x + b° \ldots\ldots\ldots ec.2.1$

Para el segundo punto $y_2 = m°x_2 + b° \ldots\ldots\ldots ec.2.2$

Re *stando la ec.2.1 menos la ec.2.2, se tiene* :

$$y_2 - y_1 - m°x_2 - m°x_1 = m°(x_2 - x_1)$$

Despejando $: m° = \dfrac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \ldots\ldots\ldots ec.2.3$

Ahora, sustituyendo la ec.2.3 en la ec 2.2, *se tiene*:

$$y_2 = \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} x_2 + b^0, \text{ despejando } \quad b^0 = y_2 - \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} x_2 \ldots ec.2.4$$

Con las ecuaciones ec.2.3 y ec.2.4, es posible calcular los parámetros de una línea recta que pasa lo más cerca posible de los puntos experimentales. A este proceso se le conoce como **"Ajustar los Puntos Experimentales a una Línea Recta"** o también se le conoce como la determinación de " **La Línea de Mejor Ajuste".** Por lo tanto, la línea de mejor ajuste esta dadapor:Y = m°X + b°.

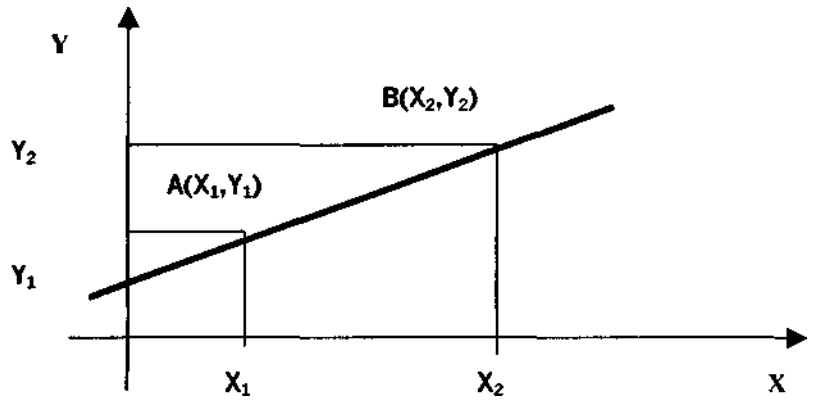


Figura 2.3.- Cálculo de la Pendiente en el Método Gráfico

2.4.- TRABAJO EXPERIMENTAL PROPUESTO.

2.4.a.- Deformación de un Resorte.

Material Utilizado

1.- Dinamómetro.

2.- Varilla de 50 cm.

3.- Una base de tipo A.

4.- Un marco de pesas.

1.- Considere un dispositivo mostrado en la figura 2.4, que consiste de un resorte colocado en posición vertical, con el extremo superior sujeto a un punto fijo y el otro extremo **a** un soporte con una pesa.

2 .- Describa con todos los detalles posibles el dispositivo y obtenga la mayor cantidad de datos cuantitativos de diferente naturaleza y en caso necesario incluir datos cualitativos.

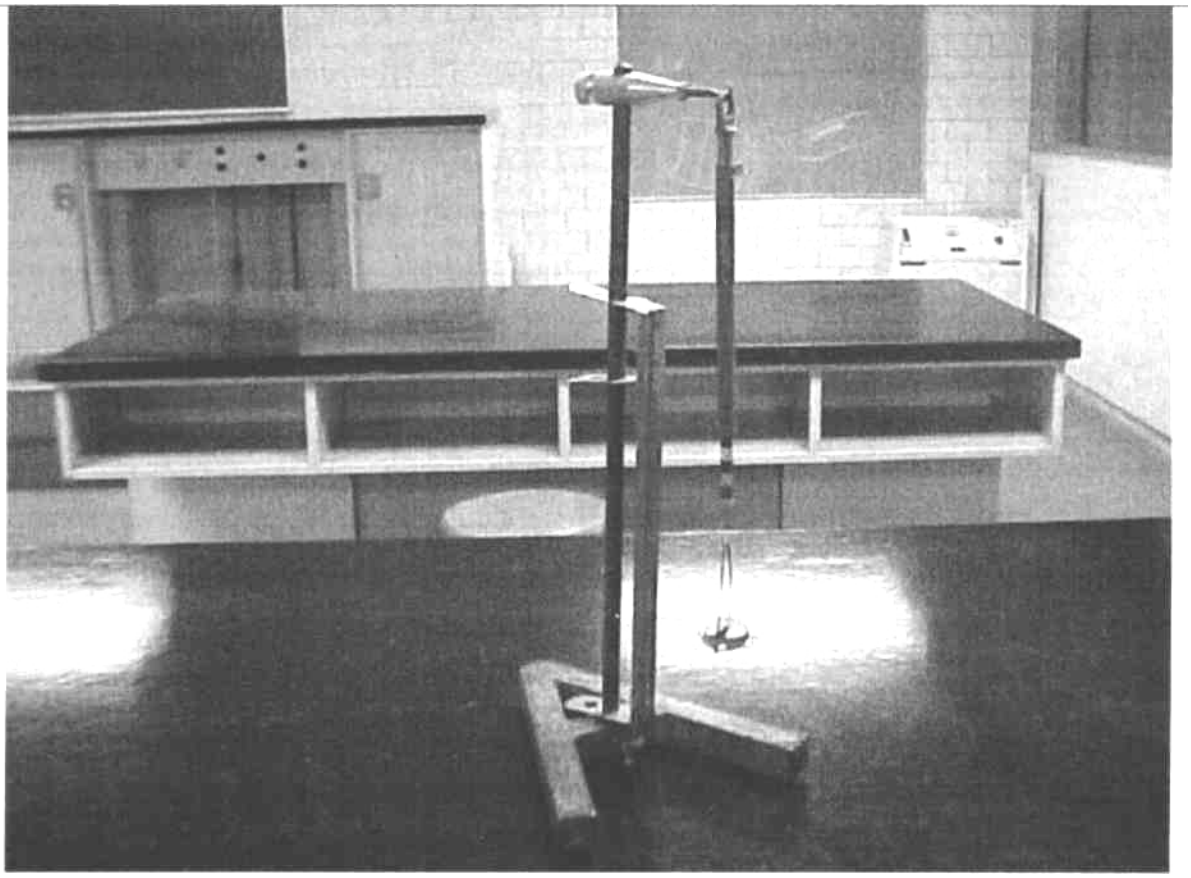


Figura 2.4.- Deformación de un Resorte.

3 .- Desarrolle el proceso de **Experimentación** en sus primeros cinco pasos para encontrar la línea recta de mejor ajuste utilizando la interpretación gráfica. Proceda en el orden siguiente:



1°) Considere las cantidades físicas directas del fenómeno:
Longitud del Resorte (ΔL). y Masa de los objetos colocados en la parte inferior del Resorte
(M).

2°) Considere a la masa de los objetos (M) como cantidad física independiente y a la longitud del resorte (ΔL) como la cantidad física dependiente. Ensamble el dispositivo y verifique la posición vertical del resorte.

3°) Reproduzca el fenómeno variando en forma ordenada las magnitudes de las masa y registre las longitudes del resorte. Anote sus mediciones en una tabla de resultados.

4°) Construya la gráfica de dispersión.

5°) Utilice la interpretación gráfica para obtener los parámetros de la línea recta de mejor ajuste y exprese la ecuación de esta línea recta.

2.5.- INTERPRETACIÓN ANALÍTICA.

El propósito de esta interpretación analítica es el mismo que la interpretación gráfica, pero aquí se utilizan conceptos matemáticos que pertenecen al cálculo diferencial para obtener los parámetros de la línea de mejor ajuste. A este procedimiento se le conoce como el **Método de los Mínimos Cuadrados** y se basa en el concepto denominado Desviación (d). El concepto de Desviación se muestra en la gráfica de dispersión de la Figura 2.5, en donde se ha trazado una línea recta cualesquiera (no es la línea de mejor ajuste) cuya ecuación es Y = mX+ b. En esta gráfica aparece la desviación en el punto experimental i-ésimo (d_i), definida por la diferencia de la ordenada del punto experimental Y_i menos la ordenada definida por la línea recta $\hat{Y}_i$ dada por $\hat{Y}_i = mX_i + b$ de tal forma que la desviación está dada por la expresión: $d_i = Y_i - \hat{Y}_i = Y_i - mX_i - b$. Estas desviaciones pueden ser positivas, negativas o nulas, dependiendo de que los puntos experimentales se encuentren arriba, abajo o sobre la línea trazada. Basándose en lo anterior se puede establecer que: La línea de mejor ajuste, expresado en términos de desviaciones, es aquella que logra anular la suma de todas las desviaciones.

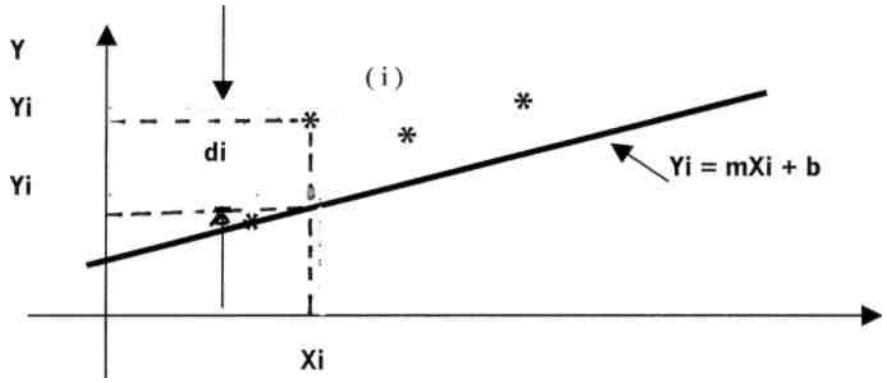


Figura 2.5 .- El concepto de Desviación.

Si la suma de las desviaciones se representa por F ($F = f(m,b) = \sum_{i=1}^{n}(Y_i - mX_i - b)$), se observa que esta función F es una función de dos variables (m, b) ya que (X_i, Y_i) son los valores experimentales contenidos en la tabla de resultados, entonces resulta inmediato que el encontrar los valores de (m, b) para los cuales la función F es igual a cero equivale a determinar las raíces de una función en el espacio de dos dimensiones (m, b). Existen varios métodos para encontrar las raíces de una función, pero tienen la particularidad de que son métodos de aproximación que se pueden aplicar a cualquier tipo de función pero su convergencia, en algunos casos, es muy lenta, es decir, se requieren de muchas iteraciones numéricas para encontrar una buena solución. Para evitar estas complicaciones y otras referentes a la existencia de raíces múltiples de la función F, se considera una expresión equivalente a esta función F, que está formada por la suma de los cuadrados de las desviaciones ($G = g(m,b) = \sum_{i=1}^{n}(Y_i - mX_i - b)^2$). Entonces la condición de mejor ajuste $F(m,b) = \sum_{i=1}^{n}(Y_i - mX_i - b) = 0$, se transforma en:

$$Minimo\ de\ G(m,b) = Minimo\ de \left\{ \sum_{i=1}^{n} (Y_i - mX_i - b)^2 \right\}$$

El problema del Mínimo de una Función es un problema clásico del cálculo diferencial, el cual se resuelve en forma exacta utilizando conceptos sencillos de aplicar, siempre y cuando la función sea doblemente diferenciable.

Este método consiste en determinar el punto M (en el espacio de dos variables (m,b)) que cumpla con las dos condiciones siguientes:

$$\frac{\partial G(m,b)}{\partial m} = 0 \, , \quad \frac{\partial G(m,b)}{\partial b} = 0$$

Entonces, se dice que el punto M es un punto crítico y si este punto M también cumple con la condición de segundo grado, entonces se dice que el punto M es el punto donde la función G (m,b) adquiere su valor mínimo. Para mayor detalle de la condición del segundo grado consulta el apéndice A.

Efectuando operaciones algebraicas en las expresiones anteriores se obtienen las ecuaciones siguientes:

$$\left.\begin{cases} m\sum_{i=1}^{n} X_i^2 + b\sum_{i=1}^{n} X_i = \sum_{i=1}^{n} X_i Y_i \\ m\sum_{i=1}^{n} X_i + b(n) = \sum_{i=1}^{n} Y_i \end{cases}\right\} \text{ec. 2.5}$$

Esto quiere decir, que el punto M donde la función G (m,b) adquiere un mínimo es aquel que satisface las ecuaciones 2.5. Entonces, si sustituimos los valores de las sumatorias utilizando la tabla de valores, se obtienen dos ecuaciones con dos incógnitas m (pendiente) y b (ordenada al origen). La solución simultánea de estas dos ecuaciones dan como resultado un valor para m (m*) y otro valor para b (b*) que son las coordenadas del punto M donde la función G (m,b) adquiere un mínimo.

Estos valores de los parámetros (m*,b*) definen una recta que minimiza la función G (m,b) y como consecuencia esta línea recta anula la función F (m,b). Por lo tanto, se ha encontrado la línea recta que más se ajusta a los puntos experimentales: Y = m*X + b*.

Una forma de comprobar que los parámetros m* y b* fueron correctamente calculados, consiste en graficar la línea recta de mejor ajuste sobre la gráfica de dispersión y se debe observar claramente que dicha línea recta pasa por los puntos experimentales lo más cerca



posible como lo establece el método de la interpretación gráfica. Finalmente se puede decir, que la línea de mejor ajuste obtenida por el método gráfico y la obtenida por este método analítico, deben tener los valores de sus parámetros muy semejantes.

2.6.- TRABAJO EXPERIMENTAL PROPUESTO.

2.6.a) Movimiento Rectilíneo de un móvil sobre un Plano Horizontal(5).

Material Utilizado.

1.- Riel de Colchón de Aire.

2.- Deslizador Amarillo con Acrílico.

3.- Compresor.

4.- Cinta Registradora.

5.- Generador de Descargas.

Procedimiento.

1.- Considere el dispositivo formado por un riel de colchón de aire horizontal y un deslizador que pueda desplazarse a todo lo largo del riel (ver figura 2.6).

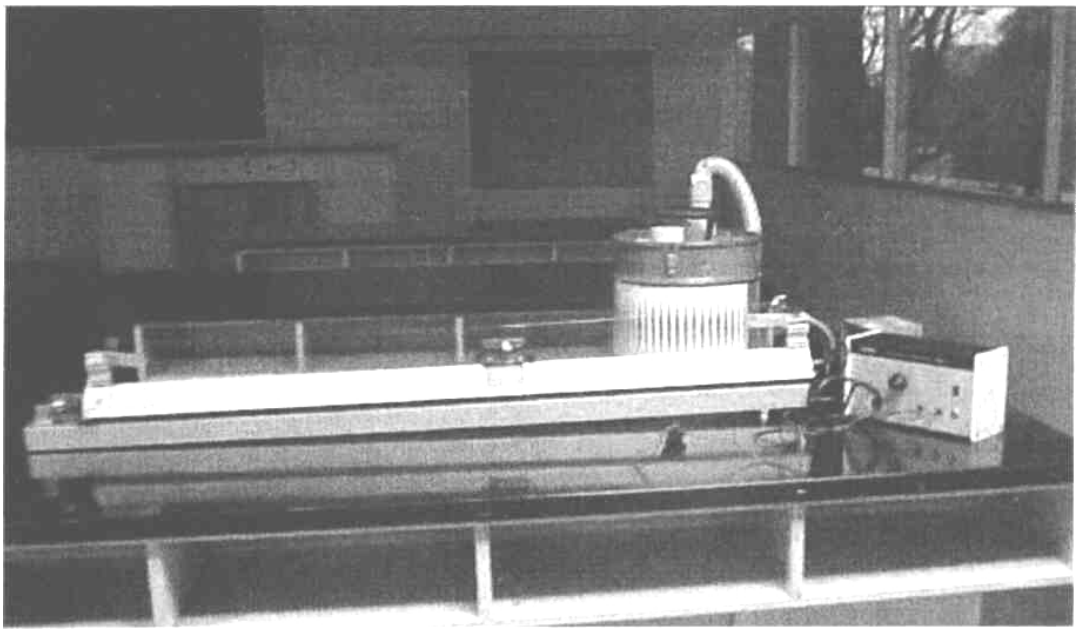


Figura 2.6.- Movimiento sobre un Plano Horizontal



2.- Coloque la cinta registradora a lo largo del riel. Seleccione una frecuencia en el generador entre 10 y 30 Mhz.

3.- Encienda el generador de descarga y accione el compresor.

4.- Dé un impulso al deslizador y cuando se encuentre en movimiento el deslizador, accione el generador de descargas para registrar por lo menos 10 puntos.

5.- Apague el generador y el compresor antes de retirar la cinta registradora.

6.- Describa en todos los detalles posibles el fenómeno que se desarrolla. Aquí es necesario obtener la mayor cantidad de datos cuantitativos de diferente naturaleza y en caso necesario incluir datos cualitativos.

7.- Desarrolle el proceso de **Experimentación** en sus primeros cinco pasos para encontrar la línea recta de mejor ajuste, conforme al orden siguiente:

1°) Considere las cantidades físicas directas del fenómeno: **Desplazamiento Horizontal del Deslizador y Tiempo**

2°) Considere al tiempo como cantidad física independiente (X). Y como cantidad física dependiente (Y) al desplazamiento horizontal del deslizador.

3°) La reproducción del fenómeno se realizó registrando las posiciones en la cinta registradora. La medición de las posiciones del deslizador (Y_i) debe ser desde el primer punto registrado y el tiempo (X_1) mediante el inverso de la frecuencia utilizada en el generador de descarga, como ilustra la figura 2.7

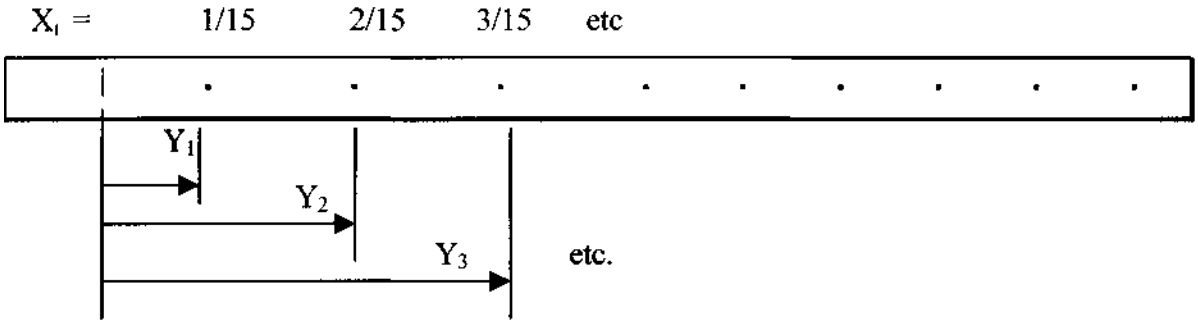


Figura 2.7.-Toma de datos de la cinta registradora con frecuencia del generador de 15 MHz

Anote sus mediciones en una tabla 2.2.



N	x_i	Y_i
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		

Tabla 2.2.- Datos de Desplazamiento y tiempo del movimiento del deslizador

4º) Construya la gráfica de dispersión.

5º. a) Utilice la interpretación gráfica para obtener los parámetros de la línea recta de mejor ajuste.

5°.b) Aplique la interpretación analítica para obtener los parámetros de la línea recta de mejor ajuste. Grafique la línea recta de mejor ajuste sobre la gráfica de dispersión.