	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	28/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## Práctica 5

### Movimiento rectilíneo uniformemente variado

#### Introducción

Se llama movimiento rectilíneo uniformemente variado a aquel movimiento rectilíneo de una partícula en el cual el valor de la aceleración es constante.

Este tipo de movimiento se presenta en la caída libre, el tiro vertical y en el movimiento de cuerpos bajando por un plano inclinado.

Es relativamente fácil de reproducir en el laboratorio, y es por ello que frecuentemente se le escoge para verificar el comportamiento cinemático de los cuerpos con dicho movimiento.

La fuerza de fricción seca es una fuerza tangencial entre dos superficies que tiende a oponerse al **movimiento relativo** de dichas superficies.


El comportamiento de esta fuerza lo establecen relaciones empíricas determinadas por las leyes de *Coulomb-Morin*, las cuales no constituyen leyes físicas científicas fundamentales como las leyes de Newton.

El coeficiente de fricción cinética depende principalmente de la naturaleza de las superficies en contacto, es relativamente grande cuando son muy ásperas y pequeño cuando están razonablemente pulidas; además, varía algo con la velocidad relativa y es más o menos independiente del área en contacto.

La determinación del coeficiente de fricción cinética de manera experimental es muy importante para la comprensión y el análisis de los fenómenos en los que se presenta.

#### 1 Objetivos

- 1 Determinar la magnitud de la aceleración de un carro que se desplaza de forma rectilínea sobre un plano inclinado, mediante la caracterización de la variación de su posición con respecto al tiempo, con el empleo de Maple Clásico.
- 2 Calcular a partir del valor de la aceleración, la constante  $g$  del campo gravitatorio terrestre, conocido el ángulo de inclinación del plano de movimiento.
- 3 Con base en la caracterización de la variación de la posición de un bloque con respecto al tiempo que se mueve sobre un plano inclinado con dos coeficientes de fricción diferentes, obtener el valor del coeficiente de fricción cinética que se establece entre las superficies en contacto.
- 4 Trazar con Maple Clásico las gráficas posición vs. tiempo, rapidez vs. tiempo, aceleración vs. tiempo y rapidez vs. posición, que representan el comportamiento de los movimientos estudiados en esta práctica.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	29/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

## 2 Elementos conceptuales

- a) Segunda ley de Newton
- b) diagrama de cuerpo libre
- c) coeficiente de fricción cinética
- d) ecuaciones de movimiento
- e) movimiento rectilíneo uniformemente variado
- f) gráficas de las variables cinemáticas.

## 3 Equipo empleado

- 1 Rampa de aluminio
- 2 carro dinámico
- 3 interfaz Science Workshop 750
- 4 sensor de movimiento (sonar) con accesorios
- 5 goniómetro (medidor de ángulo)
- 6 computadora personal o PC
- 7 riel de aire
- 8 base de altura ajustable
- 9 carro para riel de aire
- 10 compuertas optoelectrónicas
- 11 cronómetro digital.

## 4 Primer experimento

Coloque la rampa de aluminio de manera que forme un ángulo menor de  $10^\circ$ , y verifique dicho valor con el goniómetro.

Encienda la PC y ejecute la aplicación Data Studio. Seleccione la opción *Crear experimento*, posteriormente seleccione el canal 1 de la interfaz para la cual se deberá habilitar la opción *Sensor de movimiento*.

Asimismo, seleccione los cuadros que corresponden a medición de tiempo y medición de posición, deshabilitando los de rapidez y de aceleración.


Establezca una frecuencia de muestreo de 50 Hz, es decir, 50 muestras por segundo. Posteriormente, en la caja de *Opciones de muestreo*, establezca en la opción *Tiempo retardado* un tiempo de 0 s, y en la opción de *Paro automático* un tiempo de 1.5 s.

Finalmente, en la ventana del ángulo superior izquierdo seleccione *Medición de posición*, y habilite en la ventana inferior la opción que abre la ventana de *Tabla*.

Luego de todos los preparativos mencionados, el equipo está listo para realizar las mediciones.

Uno de los integrantes del equipo se hará cargo de oprimir con el ratón el botón de inicio, y un momento después, un segundo integrante, quien estará manteniendo al carro inmóvil sobre la rampa de aluminio a una distancia del sonar de cuando menos 0.2 m, lo suelte desde el reposo. Es muy importante que se suelte después de que se escuchen los chasquidos de funcionamiento del sonar, para que pueda ser detectado sin lugar a duda el inicio del movimiento.

Finalmente, un tercer integrante se encargará de recibir al carro en la parte inferior de la

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	30/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

rampa, evitando que choque con el tope o se caiga de la mesa de trabajo.

Se realizarán, cuando menos, cinco mediciones de las posiciones del carro, cuidando que la posición inicial donde se suelte el carro sea el mismo, cuando mucho con una discrepancia de  $\pm 1$  mm.

Guarde los datos válidos en archivos con extensión \*.txt, para reconocerlos como archivo ASCII. Se sugiere poner como nombre de dichos archivos *p5\_1d#.txt*, de manera que indiquen archivos de datos de la Práctica 5, primer experimento, con identificador # (# es cualquier número de 0 a 9).

## 5 Segundo experimento

Ahora coloque el riel de aire sobre la base de altura ajustable, de manera que el tubo de la compresora quede arriba y que el ángulo del riel con la horizontal sea de unos  $15^\circ$ . No es necesario medir este ángulo.

Con el empleo de cinta canela, tape los orificios de este riel por ambos lados, unos 0.80 m desde su parte inferior.

Enseguida coloque el cronómetro digital debajo del riel de aire cerca de su extremo más alto, y sobre él coloque una compuerta optoelectrónica (photogate) y ajuste su altura de manera que la parte superior del carro interrumpa de forma adecuada al haz de la compuerta, lo cual se puede verificar por medio del encendido y apagado del led que se encuentra en su parte superior.

Luego, ponga la otra compuerta optoelectrónica justo donde empieza la cinta canela. Mida, con base en el flexómetro pegado al riel, la distancia entre las compuertas.


Ya que haya hecho todos los preparativos indicados, coloque el carro justo en donde se encuentra la compuerta optoelectrónica superior, de manera que el led indicador esté a punto de encenderse. Verifique varias veces que si mueve el carro un poco más abajo, el led se enciende. Con esto, se pretende que el carro inicie su movimiento con una rapidez inicial prácticamente nula.

Antes de soltar el carro, asegure que el cronómetro digital está encendido y que haya oprimido el botón de reinicio (reset), de manera que despliegue puros ceros.

Posteriormente, coloque la perilla de la compresora entre el 2 y el 3, enciéndala, espere un par de segundos, y suelte con cuidado el carro, el cual, tan pronto inicie su movimiento deberá provocar que en el cronómetro empiece a correr el tiempo.

Podrá observar que el carro adquiere cada vez más rapidez, hasta el punto en el que los orificios del riel están tapados, y a partir de este punto, el carro empieza a disminuir su rapidez hasta detenerse por completo.

Mida la distancia recorrida por el carro, desde el punto en el que se encuentra la compuerta inferior, donde inicia la cinta canela, así como el tiempo transcurrido en su primera etapa de movimiento.

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	31/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

Repita el experimento unas cinco veces, con objeto de mejorar la estimación de los valores medidos.

Finalmente, mida las alturas con respecto al plano de la mesa de los dos extremos inferiores del riel de aire, con objeto de tener una estimación del ángulo que forma con respecto a la horizontal.

## 6 Informe

Con el empleo del Bloc de notas de Windows, o algún programa similar, abra cada uno de los archivos de datos y realice los siguientes pasos:

- 1 Elimine el encabezado, que son por lo regular las dos primeras líneas que no son datos.
- 2 En todos los archivos se tendrán dos columnas de números; la primera corresponde a medidas de tiempo, en segundos, y la segunda columna establece las posiciones, en metros. Verifique que en la segunda columna los primeros datos son iguales (o con una pequeña discrepancia). Encuentre en dicha columna la posición en la que empieza a incrementarse su valor. Elimine todos los datos, incluyendo los valores de tiempo correspondientes, anteriores a dicha posición menos la inmediata anterior.
- 3 De forma similar, encuentre en la segunda columna la medida de posición en la que empieza a disminuir el valor, o a mantenerse constante. Retroceda y determine las diferencias con los valores

precedentes. Determine el último valor para el cual su diferencia con el anterior sea igual o mayor que el precedente. Elimine todos los demás datos posteriores, incluyendo los datos de tiempo.


4 Asimismo, detecte todos los renglones en los que el valor de la posición es completamente diferente a la inmediata anterior e inmediata posterior, y elimínelos incluyendo el valor de tiempo.

5 Coloque el cursor en el último renglón válido, seleccione la opción Ver (View) del menú de cortina, y active la Barra de estado (Status bar). Anote el número del renglón final, N1, que corresponderá al número de parejas de datos válidos.

6 Guarde el archivo de preferencia con otro nombre, y colóquelo en la raíz de alguna unidad de disco o memoria USB; tenga el cuidado de no asignar el mismo nombre a dos archivos diferentes.

Ahora, abra Maple Clásico y realice las operaciones indicadas, suponiendo que el archivo de datos se encuentra en la raíz de la unidad C: y tiene el nombre y la extensión p5\_1d1.txt:

- a) Limpie la memoria de variables con el comando restart;
- b) Asigne a la variable N1 el número de parejas de datos válidos.
- c) Abra el archivo de datos para lectura con el comando  
`fd:=fopen("c:/p5_1d1.txt",READ,TEXT);`

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	32/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

d) Asigne a la variable `dat1` los datos del archivo `c:/datos1.txt` con el comando `dat1:=readdata(0,N1);`

e) Asigne a la variable `t0` el primer valor de tiempo de los datos obtenidos con el comando `t0:=dat1[1][1];`

f) Reasigne a la primera columna (columna de tiempos) su valor menos `t0`, con el comando `for i from 1 to N1 do dat1[i][1]:=dat1[i][1]-t0 end do;` y de esta forma, se tendrá un vector con tiempo inicial igual a cero.

g) De manera similar, asigne a la variable `pos0` el primer valor de posición de los datos obtenidos con el comando `pos0:=dat1[1][2];` y reasigne a la segunda columna (columna de posiciones) su valor menos `pos0`, con el comando `for i from 1 to N1 do dat1[i][2]:=dat1[i][2]-pos0 end do;` y de esta forma, se tendrá un vector con posición inicial igual a cero.

h) Habilite la biblioteca de dibujo de gráficos con el comando `with(plots):`

i) Asigne a la variable `A1` el gráfico de las parejas de datos `dat1` con el comando `A1:=pointplot(dat1);`

j) Habilite la biblioteca de ajuste de curvas con el comando `with(CurveFitting):`

k) Asigne a la variable `f1` el polinomio cuadrático que mejor se ajuste a los datos obtenidos con el comando `f1:=LeastSquares(dat1,t,curve=a*t^2+b*t+c);`

l) Para obtener los parámetros de la función `f1`, ejecute los siguientes comandos:

```
c1:=subs(t=0,f1);
v1:=diff(f1,t);
b1:=subs(t=0,v1);
a1:=diff(v1,t);
```

donde `a1`, es el valor estimado de la aceleración del carro.

m) Asigne a la variable `B1` el gráfico de la función `f1` con el comando `B1:=plot(f1,t=0..dat1[N1][1]);`

n) Para visualizar los gráficos obtenidos, escriba el comando `display(A1,B1);` y verifique que los puntos de los datos coincidan razonablemente con la curva de la función `f1`.

o) Asigne a una variable `x_aj1` todos los valores de la función `f1` valuados en los tiempos de las parejas ordenadas de `dat1`.

p) Asigne a una variable `x_exp1` todos los valores de posición de las parejas ordenadas de `dat1`.


q) Determine el error medio cuadrático para el ajuste a la función cuadrática, y asígnelo en la variable `Erms1`. Para lograrlo, se requiere emplear la expresión:

$$Erms1 = \sqrt{\frac{1}{N1} \sum_{k=1}^{N1} (x_{aj,k} - x_{exp,k})^2}$$

donde  $x_{aj,k}$  son los valores de las posiciones sobre la curva de ajuste (`f1`),  $x_{exp,k}$  corresponde a las posiciones experimentales (`dat1`), y `N1` es el número total de puntos considerados.

r) Repita todos los pasos de la a a la q con todos las parejas de datos que haya obtenido durante el primer experimento, y si tiene



	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	33/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

cinco o más conjuntos de datos válidos, descarte los conjuntos que tengan el máximo y el mínimo valor de error medio cuadrático. Si cuenta con cuatro conjuntos de datos válidos, sólo descarte el que tenga el mayor valor de dicho error.

s) Posteriormente, obtenga el promedio de los coeficientes  $a_i$ ,  $b_i$  y  $c_i$  de las funciones cuadráticas de ajuste,  $f_i$ , y establezca la función de posición que representa a todo el experimento, como:

$$f_{e1} = a_{prom}/2 * t^2 + b_{prom} * t + c_{prom}.$$

t) Ahora dibuje la gráfica de la rapidez,  $v_{e1}$ , vs. tiempo, con base en la derivada de  $f_{e1}$ .

u) De manera similar, obtenga la gráfica de aceleración,  $a_{e1}$ , vs. tiempo, que se puede obtener derivando la expresión  $v_{e1}$  con respecto al tiempo.

v) Establezca una ecuación,  $ec$ , que relacione la posición,  $x_{e1}$ , con la expresión de  $f_{e1}$ , con el comando  $ec:=x_{e1}=f_{e1}$ ;

w) Despeje de  $ec$  el tiempo  $t$ , y sustitúyalo en la expresión de la rapidez,  $v_{e1}$ , para obtener la ecuación que relaciona la rapidez y la posición. Dibuje la gráfica correspondiente, la cual se conoce como “plano de fase”.

x) Guarde el archivo con el nombre CD\_P05\_E1\_???, en lugar de ??? escriba la primera letra del nombre, y de los apellidos paterno y materno, del integrante de la brigada encargado de la obtención de las gráficas.

## 7 Desarrollo teórico

### Los siguientes incisos los puede desarrollar de forma manuscrita.


1 Considere el carro dinámico sobre la rampa de aluminio que se suelta desde el reposo. Dicha rampa tiene la inclinación  $\theta$  con respecto a la horizontal medida con el goniómetro, y puede considerarse que no existe fricción entre las superficies en contacto. Dibuje el diagrama de cuerpo libre de dicho móvil.

2 Con base en el diagrama de cuerpo libre, establezca las expresiones para la aceleración, constante, así como la rapidez y la posición en función del tiempo. Compare estas expresiones con las obtenidas en los incisos  $t$ ,  $s$  y  $u$  del apartado anterior, y haga los comentarios que considere interesantes.

3 Suponiendo que el valor de la aceleración del campo gravitatorio terrestre,  $g$ , es desconocido, obténgalo luego de igualar la expresión de la aceleración con el valor de  $a_{e1}$  obtenida en el inciso  $u$ . Compare el valor obtenido con el conocido, y haga los comentarios que crea que son interesantes.

4 Ahora, considere el carro sobre el riel de aire que se suelta desde el reposo. Dicho riel tiene la inclinación  $\theta$  con respecto a la horizontal, y se puede considerar que no existe fricción entre las superficies en contacto. Dibuje el diagrama de cuerpo libre de dicho carro.

5 Establezca las ecuaciones de movimiento del carro, es decir, las expresiones para la

	<b>Manual de prácticas del Laboratorio de Mecánica Experimental</b>	Código:	MADO-04
		Versión:	01
		Página	34/49
		Sección ISO	7.3
		Fecha de emisión	6 de junio de 2016
Secretaría/División: División de Ciencias Básicas		Área/Departamento: Laboratorio de Mecánica Experimental	
La impresión de este documento es una copia no controlada			

aceleración, rapidez y posición, en función del tiempo. A partir de dichas expresiones, calcule el ángulo de inclinación del riel,  $\theta$ , con base en el tiempo medido con el cronómetro digital, considerando conocida la aceleración de la gravedad,  $g = 9.78 \text{ m/s}^2$ .

6 Ahora dibuje el diagrama de cuerpo libre del carro sobre el riel en donde los orificios están tapados, y por consiguiente se generará una fuerza de fricción cinética, la cual provoca que dicho carro se detenga.

7 Luego, establezca las ecuaciones de movimiento del carro en el intervalo anterior, en función del tiempo, considerando como condiciones iniciales, las condiciones finales del intervalo de movimiento anterior.

8 Con base en el valor de  $g$  mencionado, obtenga el valor del coeficiente de fricción cinética,  $\mu_k$ , al sustituir los valores de posición y rapidez finales en las expresiones cinemáticas en este intervalo de movimiento.

9 Cada uno de los integrantes de la brigada deberá escribir sus propias las conclusiones, sugerencias y comentarios sobre esta Práctica. Recuerde que este inciso es uno de los más importantes del informe.

## 8 Conclusiones, sugerencias y comentarios

---



---



---

## 9 Bibliografía

- Hibbeler R. C., **Ingeniería Mecánica, Estática**, 12ª edición, Pearson Educación, México, 2010.
- Redfern, D., *"The Maple Handbook"*, Springer Verlag, EUA, 1996.

*Hugo Serrano Miranda  
Yukihiko Minami Koyama*