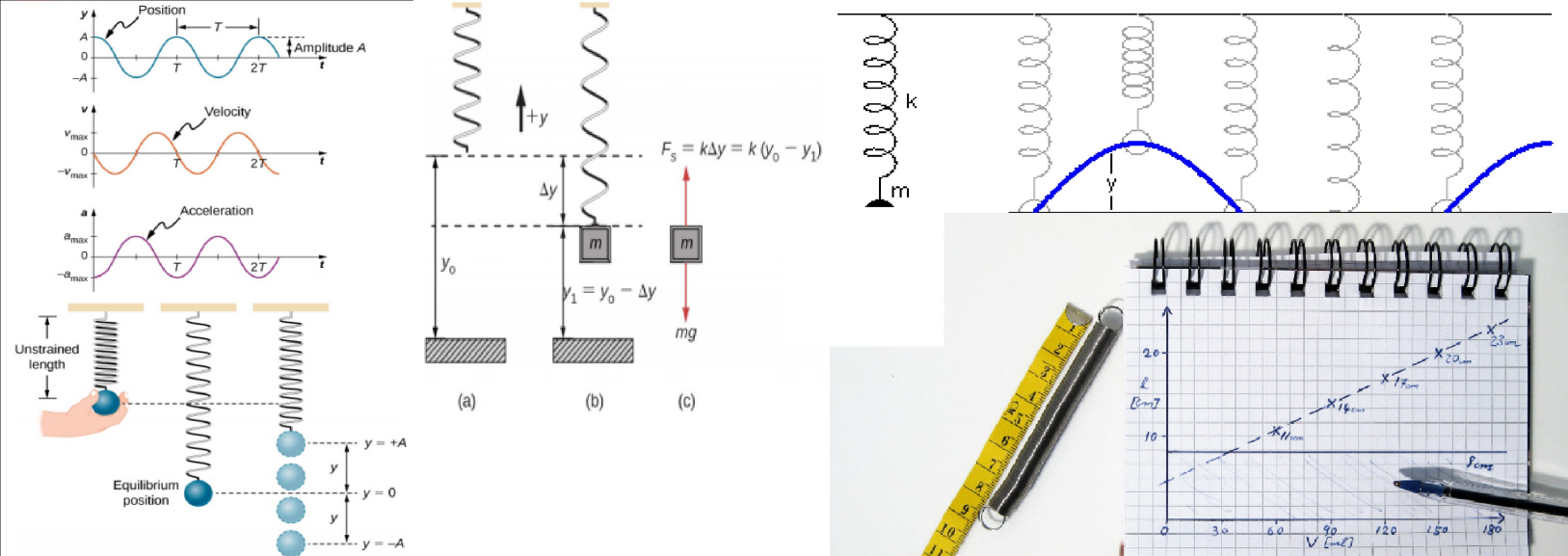




4. Oscilador Amortiguado: Péndulo de Pohl

4.1 Objetivos

4.1.1 General

Estudiar la dinámica de un movimiento amortiguado en un péndulo torsional.

4.1.2 Específicos

- Determinar experimentalmente de forma indirecta la frecuencia de amortiguamiento.
- Medir experimentalmente el factor de calidad de un oscilador.

4.2 Referentes Conceptuales y Marco Teórico

El péndulo de Pohl es un sistema que puede tener un movimiento periódico, en general consta de un disco de cobre unido a un muelle helicoidal que rota alrededor de un eje horizontal denominado varilla excitadora como se observa en la figura 4.1. Es posible frenar el disco gracias a las corrientes de Foucault¹ que se producen mediante un campo magnético generado por un electroimán (círculo naranja representado en la figura 4.1).

¹Fenómeno eléctrico que se produce cuando un conductor atraviesa un campo magnético variable, o viceversa causando una corriente inducida dentro del conductor que crea electroimanes con campos magnéticos que se oponen al efecto del campo magnético aplicado. Para más información vea: <http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/electromagnet/induccion/foucault/foucault.htm>

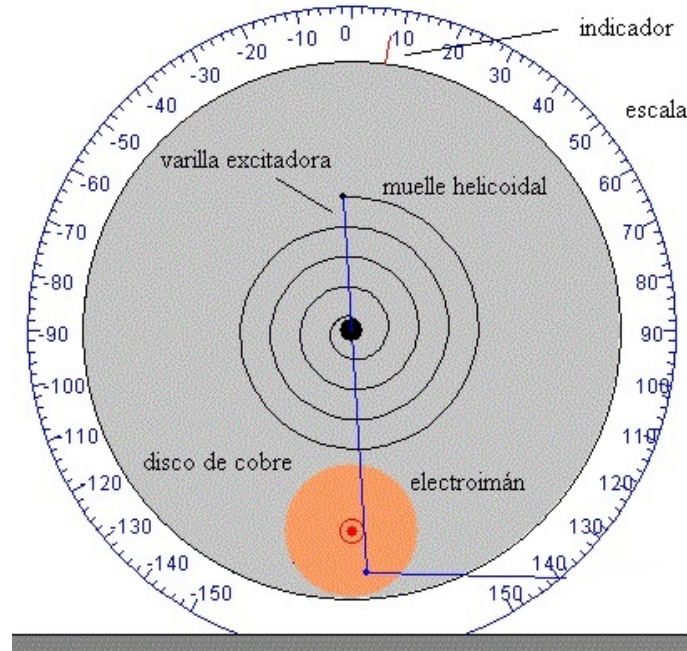


Figura 4.1: Esquema de un Pendulo de Pohl.

La escala indicador permite conocer la posición de equilibrio del péndulo. Correspondiente al cero que se observa en la parte más alta de la circunferencia externa en la figura 4.1. Esta medición es una posición angular del disco, si se mueve la posición inicial del disco a un punto diferente de $\theta = 0$, estableciendo así una condición inicial, y se libera el sistema conseguiríamos una oscilación de torsión del muelle helicoidal respecto a la posición de equilibrio, el indicador cero en la escala graduada.

A medida que el tiempo evoluciona el campo magnético que genera el electroimán frena gradualmente el movimiento del disco, amortiguando las oscilaciones del mismo. Esto lleva rápidamente al disco a comportarse como un oscilador amortiguado.

De acuerdo a la teoría de las oscilaciones amortiguadas podemos asumir la rotación en función del tiempo para un tipo de oscilaciones subamortiguadas, quedando totalmente descrito por la ecuación 4.1.

$$\theta = \theta_0 e^{-\gamma t} \cos(\omega t + \alpha) \quad (4.1)$$

Siendo θ_0 la amplitud angular medida en radianes, ω la frecuencia de oscilación, γ la frecuencia de amortiguamiento, α la constante de fase y e el número euler. En general el comportamiento de un oscilador amortiguado se puede observar en la figura 4.2, en ella se puede observar que a medida que aumenta el número de oscilaciones disminuye la amplitud de las mismas con una envolvente exponencial.

4.3 Actividades Previas al Laboratorio

31

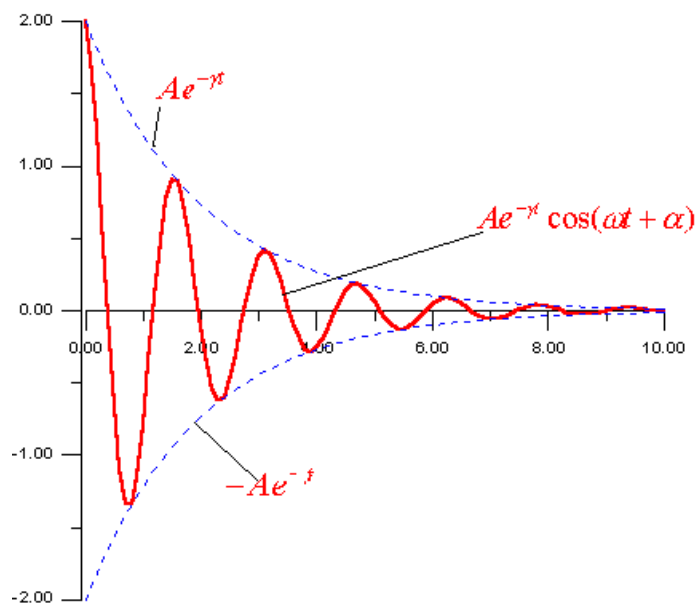


Figura 4.2: Evolución en el tiempo de un oscilador amortiguado.

Por otra parte la consecuencia mas importante del decaimiento de la amplitud en las oscilaciones, esta estrechamente relacionada con una perdida de la energía en el oscilador; para este caso particular de estudio es debida a las a las corrientes de Foucault que permiten frenar el disco. Esa perdida de energía esta bien determinada mediante la ecuación 4.2 .

$$E(t) = E_0 e^{-2\gamma t} \quad (4.2)$$

Donde E_0 es la energía inicial, justo cuando comienza a oscilar el sistema y $E(t)$ la energía que tiene un tiempo t después. Dependiendo de con que rapidez pierda energía el sistema, se puede determinar que tan buen oscilador es el mismo. Una manera de medir de forma experimental la calidad de un oscilador es determinar el factor de calidad Q de un oscilador definido como $Q = \frac{\omega}{\gamma}$.

4.3 Actividades Previas al Laboratorio

Use sus apuntes de clase, lecturas adicionales, referencias bibliográficas propuestas en esta guía y/o adicionales, para contestar en forma adecuada las situaciones propuestas a continuación:

1. Calcule cuanto tiempo le toma a un oscilador con un factor de calidad $Q = 1$ y periodo de oscilación $T = 1 \text{ s}$ disipar la mitad de su energía inicial. Use la ecuación 4.2, la definición de factor de calidad $Q = \frac{\omega}{\gamma}$. Recuerde que el periodo de oscilación se define como $T = \frac{2\pi}{\omega}$.
2. Repita el cálculo del numeral anterior con $Q = 10$, $Q = 100$ y $Q = 1000$. ¿Qué puede concluir al comparar todos los resultados anteriores?

3. Investigue como realizar una regresión exponencial utilizando la herramienta de Microsoft Excel.

4.4 Herramienta virtual

Para la práctica de laboratorio descargue los siguientes archivos desde el repositorio.:

1. Descargue aquí el software Tracker Video Análisis. Para realizar las mediciones.
2. Descargue aquí el conjunto de vídeos para analizar.

4.5 Toma y análisis de Datos

1. Instale el software Tracker Video Analysis usando el instalador descargado en el apartado anterior.
2. Descomprima en un carpeta de su computador los cinco vídeos descargados en el apartado anterior. Verifique que cada uno de ellos tiene por nombre Pohl1, Pohl2, Pohl3, Pohl4 y Pohl5, respectivamente.
3. Abra el software Tracker Video Analysis, desde el menú principal seleccione la opción vídeo, importar... Busque el vídeo Pohl1.mp4 y haga clic en abrir. Espere con calma, tal vez se demore unos segundos cargando el vídeo en el programa. El resultado final se observa en la figura 4.3.

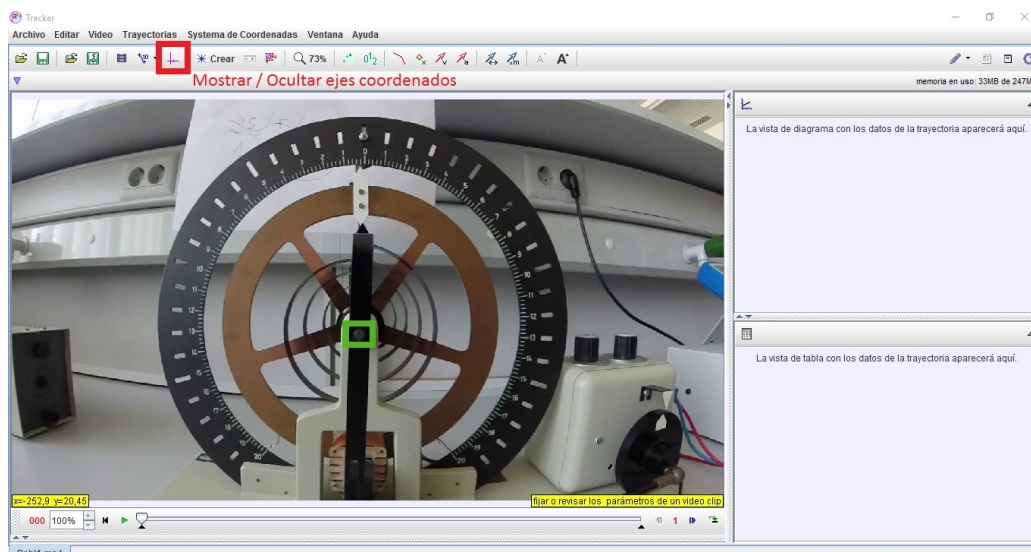


Figura 4.3: Carga de vídeo en Tracker Video Analysis

4. Utilizando el control de la barra superior Mostrar/Ocultar los ejes coordenados (recuadro rojo en la figura 4.3). Active el sistema de referencia y arrástrelo con el mouse (clic sostenido)

4.5 Toma y análisis de Datos

33

desde el origen del mismo hasta que coincida con el eje resaltado por el recuadro verde en la figura 4.3.

5. Una vez activado el sistema de referencia se debe rotar, para ello use el mouse con un clic sostenido desde el eje x positivo. Este eje se puede identificar porque es el único con una línea vertical un poco mas adelante del origen del sistema cartesiano. Configure el eje X positivo (X+) de tal forma que coincida con el cero en la escala del péndulo de pohl (en color negro). El eje Y coincide con el número 13 de la escala tanto a izquierda como derecha de la imagen. En la figura 4.4 se observa como debe quedar el sistema coordenado después de ajustarlo. Los círculos verdes muestran como deben coincidir y la flecha roja muestra la marca que facilita la identificación del eje X positivo (X+).

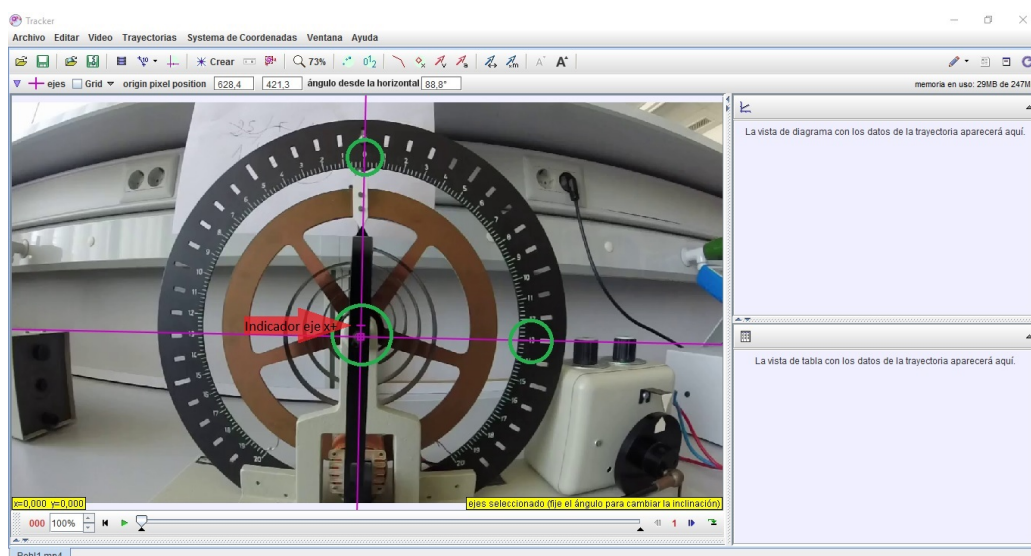


Figura 4.4: Ajuste de los ejes del plano cartesiano para la toma de mediciones.

6. Un vídeo es una colección de fotografías que se toman con lapsos de tiempo muy cortos, a cada una de ellas se le denomina fotograma y en un segundo pueden ser entre 15 y 30 para una cámara convencional. Sin embargo pueden llegar a hacer hasta 90 o mas fotogramas en cámaras de un nivel mas profesional. El programa tracker Video Analysis facilita moverse fotograma a fotograma en el vídeo, facilitando la toma de datos con una alta fidelidad.
7. En la parte inferior del programa se tienen controles específicos para navegar entre los fotogramas. De derecha a izquierda en la figura 4.5, control número de fotograma (recuadro azul), control de retorno al primer fotograma (recuadro rojo), un botón de play en color verde, una barra de desplazamiento para ubicarse en fotogramas específicos (recuadro violeta) y controles para avanzar fotograma por fotograma (recuadro verde).
8. Regularmente para la toma de datos es innecesario seleccionar todos los fotogramas, en este caso específico nos interesan las oscilaciones en la rotación del disco. Si se revisa el vídeo con cuidado, al inicio existen fotogramas que no aportan mayor información en nuestras



Figura 4.5: Controles de navegación en los fotogramas - Tracker Video Analysis

mediciones. Usando los triángulos negros que se encuentran en la barra de desplazamiento de fotogramas (recuadro violeta de la figura 4.5) puede ajustarse el rango de fotogramas en el que realizaremos nuestras mediciones, bastan con desplazar los triángulos con el mouse (clic sostenido). En el caso de este primer vídeo ajustaremos el triángulo izquierdo en el fotograma de 417 y el derecho en el fotograma 832 como se observa en la figura 4.6. En ese lapso tendremos un total de seis o siete oscilaciones.

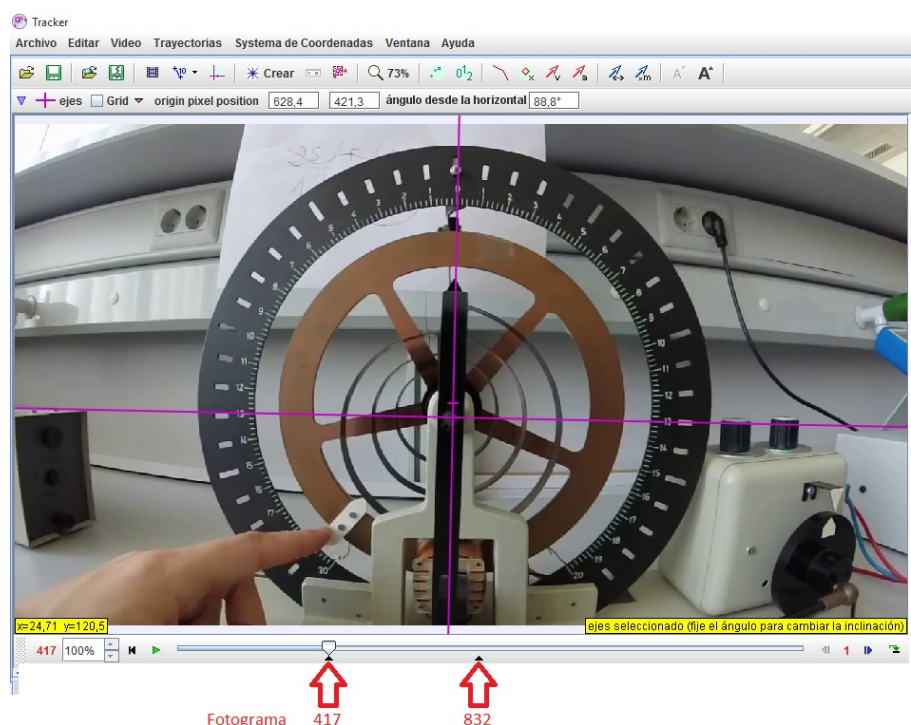


Figura 4.6: Ajuste de los fotogramas inicial y final

9. Para la toma de datos; haga clic en control de retorno al primer fotograma (recuadro rojo de la figura 4.5). Ubique en el menú superior la opción crear, masa puntual como se observa en la figura 4.7

4.5 Toma y análisis de Datos

35

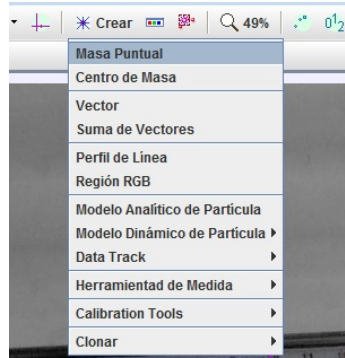


Figura 4.7: Creación de masa para la toma de medidas

10. Antes de iniciar con las mediciones vamos a cambiar la variable de medición a ángulo de rotación. Haga clic en Datos (recuadro azul de la figura 4.8) y de las variables que muestra el cuadro de dialogo que aparece, seleccione únicamente ángulo de rotación. Asegúrese que en las columnas de datos solo aparezca tiempo $t(s)$ y θ (recuadro violeta en la figura 4.8).

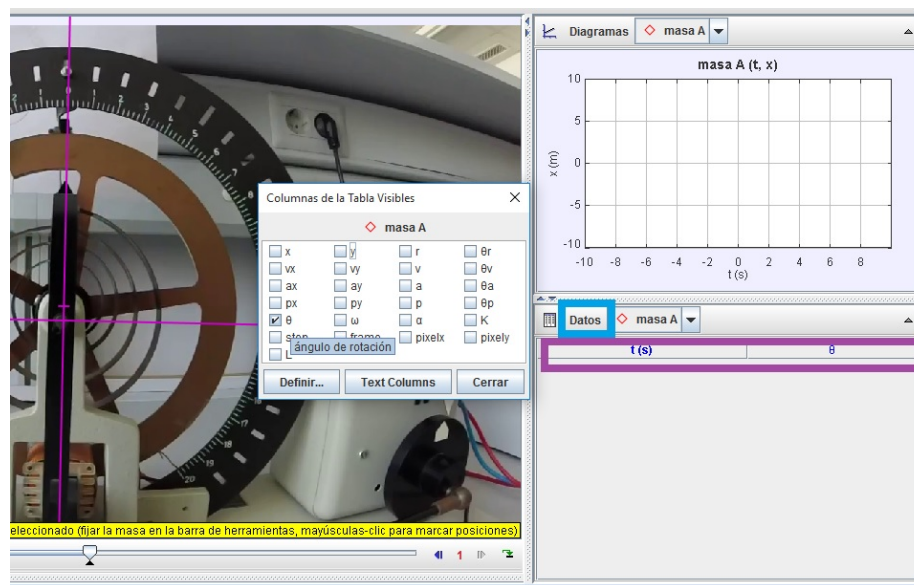


Figura 4.8: Ajuste de los fotogramas inicial y final

11. Una vez este listo pulse la tecla shift y note que el cursor del mouse cambia su forma original (flecha blanca) a un recuadro de bordes blancos siempre y cuando se encuentre sobre la región del vídeo, por fuera de ella continuara teniendo la forma original.
12. SIN SOLTAR LA TECLA SHIFT haga clic sobre uno de los dos tornillos plateados que se encuentran sobre el indicador de color blanco de fondo, note que el fotograma avanza,

siga cuidadosamente el movimiento de ese punto haciendo clic nuevamente sobre el punto una y otra vez en cada fotograma. **¡OJO! SI SUELTA LA TECLA SHIFT** la medición se terminará y debería volver a iniciar creando otra masa.

13. Una vez llegue al último fotograma, fíjese que en la parte derecha de la ventana, todos los datos han queda almacenados en una tabla (vease figura 4.9). Seleccione en el menú Systema de Coordenadas la opción units... y marque la opción radianes como se muestra en el circulo rojo de la figura 4.9 y haga clic en Aceptar. Copie los datos de las columnas $t(s)$ y θ , llévelas a Microsoft Excel y construya una gráfica θ vs $t(s)$.

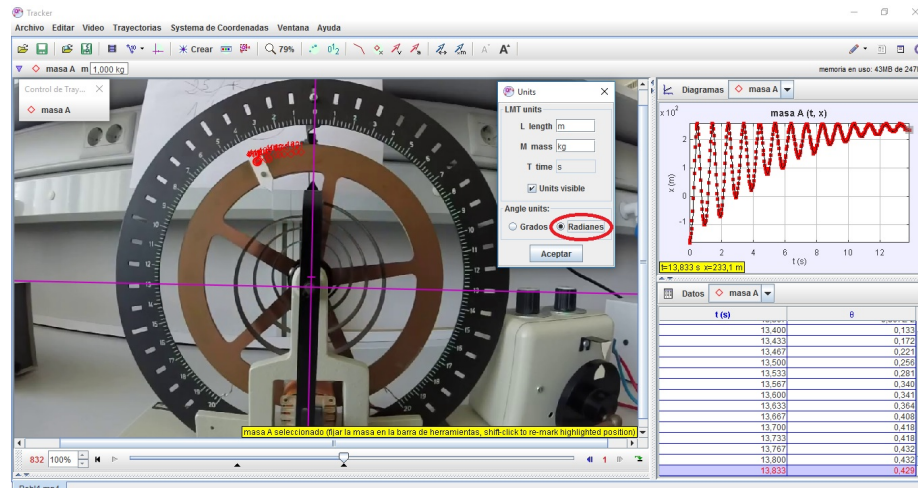


Figura 4.9: Tabla de datos almacenada después de tomar las medidas.

14. De la gráfica construida en Microsoft Excel, utilice los datos para encontrar cinco puntos máximos y medir cinco periodos de las seis o siete oscilaciones que se tomaron inicialmente. Consigne todos esos valores en la tabla 4.1. En la última columna consigne en promedio de los cinco periodos medidos.

Oscilador	$T_1(s)$	$T_2(s)$	$T_3(s)$	$T_4(s)$	$T_5(s)$	$T(s)$
Pohl1						

Tabla 4.1: Datos experimentales de periodo de oscilación.

15. Con el periodo promedio T determine la frecuencia de oscilación ω .
16. Usando los datos representados en Microsoft Excel, seleccione los seis ó siete valores máximos de las oscilaciones conseguidas y extraiga los datos de amplitud θ y tiempo $t(s)$. Consígnelos en en tabla 4.2

$t(s)$	$\theta(rad)$

Tabla 4.2: Datos experimentales de posición angular máxima y tiempo.

17. Con los valores de la tabla 4.2 realice una gráfica θ vs $t(s)$ y realice una regresión exponencial que le permita encontrar la ecuación de la envolvente de la amplitud del movimiento. Con esa ecuación determine la frecuencia γ de amortiguamiento.
18. Determine el factor de calidad del oscilador.
19. Repita todo el procedimiento anterior con cada una de las osciladores (vídeos suministrados), teniendo presente que usted definirá el lapso de fotogramas que usara para tomar las medidas en cada vídeo respetando el criterio que garantiza la medición de al menos seis ó siete oscilaciones. Registre todos sus datos de manera ordenada en tablas.
20. ¿Cuál de los osciladores estudiados es el mejor oscilador? Explique su respuesta.
21. De acuerdo con la ecuación 4.2 y con el trabajo realizado en las actividades previas. ¿A cuál oscilador le llevara mas tiempo disipar la mitad de su energía? ¿A cuál oscilador le llevara menos tiempo disipar la mitad de su energía?.
22. Realice un análisis experimental de todo el procedimiento realizado y de los resultados conseguidos.

4.6 Referencias

1. Gutiérrez, Carlos (2005). «1». Introducción a la Metodología Experimental (1 edición). Editorial Limusa. p. 15. ISBN 968-18-5500-0.
2. Tipler, P.A. Física Vol 1. Ed Reverté, México, (1985)