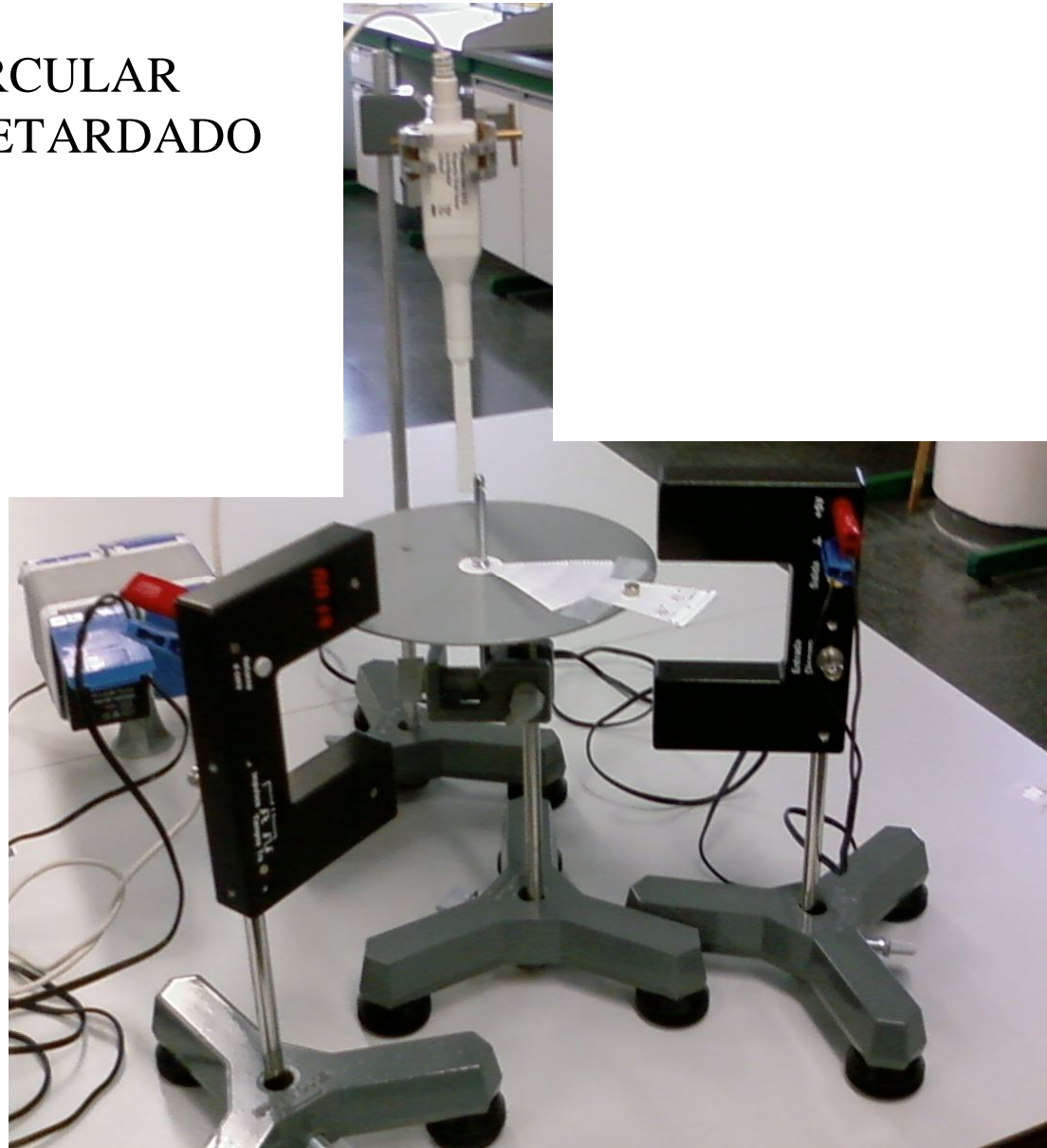


MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

Antonio J. Barbero
Mariano Hernández
Alfonso Calera
Pablo Muñiz
José A. de Toro
M^a Mar Artigao
Dpto. Física Aplicada. UCLM.

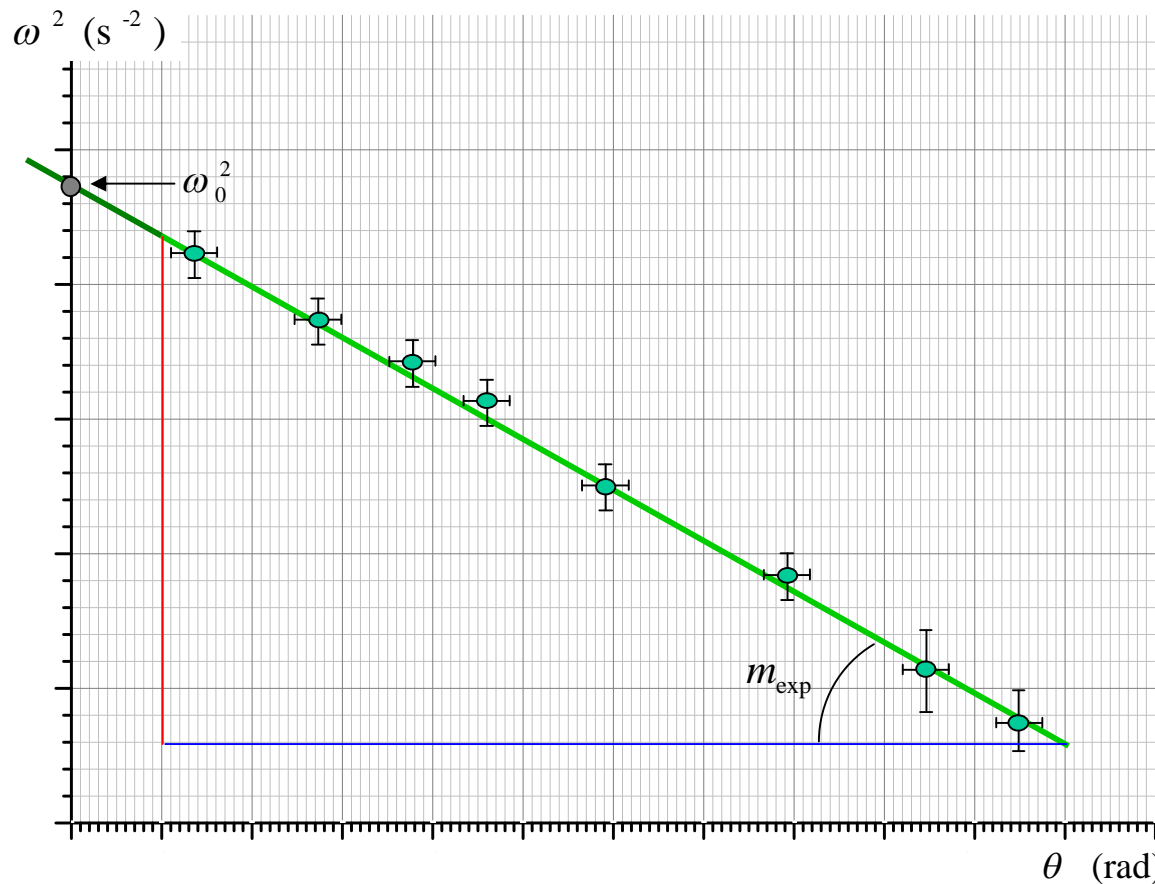
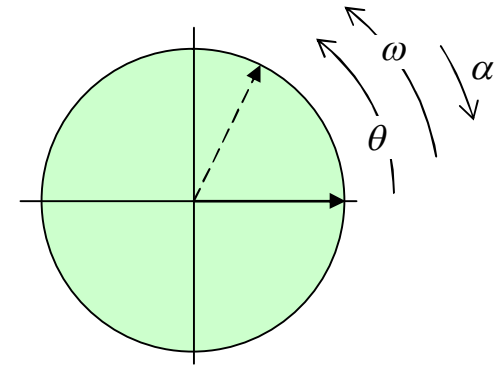


MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2\alpha\theta$$

Medidas del cuadrado de la velocidad angular en función del ángulo

A medida que θ crece, ω decrece $\rightarrow \alpha$ es negativa $\rightarrow m_{exp}$ es negativa



Midiendo la pendiente experimental determinamos la aceleración angular

$$\alpha = \frac{m_{exp}}{2}$$

Midiendo la ordenada en el origen determinamos la velocidad angular inicial

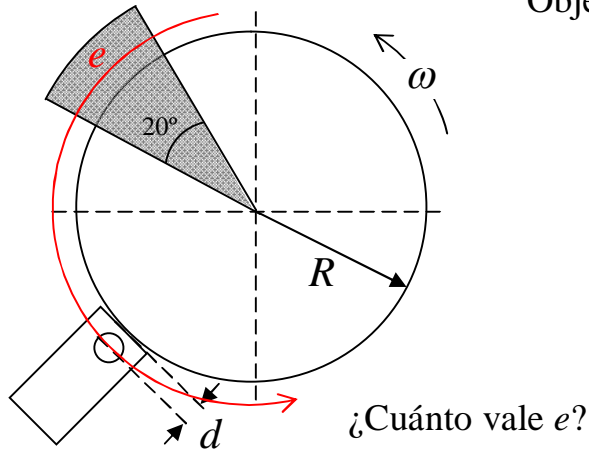
Hay que determinar la aceleración angular del disco y la velocidad angular inicial, cada una con su error correspondiente.

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

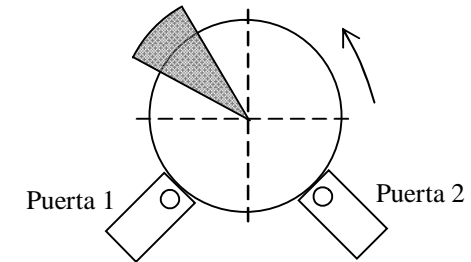
1. MEDIDAS USANDO PUERTAS FOTOELÉCTRICAS → DESCRIPCIÓN y FUNCIONAMIENTO

Objetivo: Medir la velocidad angular para distintos ángulos recorridos

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha \theta$$



Uso de dos puertas:
la puerta 1 para medir
tiempos de
interrupción, la
puerta 2 para control
del número de vueltas



Tiempo de paso de la lengüeta a través del haz fotoeléctrico: tiempo de interrupción t

→ Cada vuelta consecutiva incrementa el ángulo en 2π rad

Medimos velocidad lineal de la periferia

$$v = \frac{e}{t}$$

Calculamos velocidad angular del disco

$$\omega = \frac{v}{R+d} = \frac{e}{(R+d) \cdot t}$$

Cálculo de errores

$$\Delta\omega = \left| \frac{\partial\omega}{\partial e} \right| \Delta e + \left| \frac{\partial\omega}{\partial(R+d)} \right| \Delta(R+d) + \left| \frac{\partial\omega}{\partial t} \right| \Delta t$$

$$\Delta\omega = \frac{1}{(R+d) \cdot t} \Delta e + \frac{e}{(R+d)^2 t} \Delta(R+d) + \frac{e}{(R+d) t^2} \Delta t$$

$$\Delta\omega^2 = 2\omega \Delta\omega$$

¿Hay error en θ ?

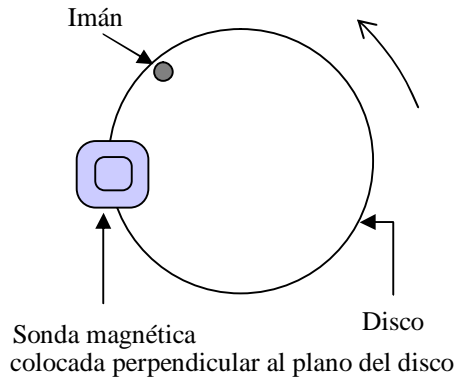
nº vuelta	t (ms)	Δt (ms)
1	15	1
10	17	1
18	19	1
27	23	1
31	26	1
35	30	1



Procesado de datos para obtener ω^2 , θ

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

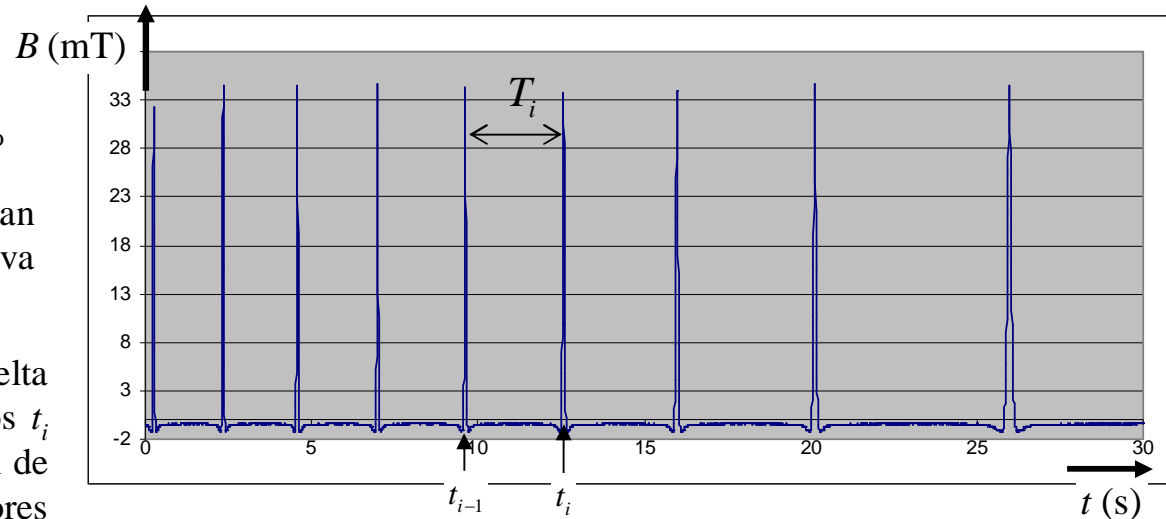
2. MEDIDAS USANDO SONDA DE CAMPO MAGNÉTICO → DESCRIPCIÓN y FUNCIONAMIENTO



Objetivo: Medir la velocidad angular para distintos ángulos recorridos

$$\omega^2 = \omega_0^2 + 2 \alpha \theta$$

La lectura del campo magnético en función del tiempo da una serie de picos agudos, cada uno corresponde a un paso del imán bajo la sonda



Los picos consecutivos se van espaciando a medida que se va ralentizando el movimiento.

Medida del periodo de cada vuelta por diferencia entre los tiempos t_i y t_{i-1} . El sistema de adquisición de datos permite exportar los valores numéricos a un fichero excel que deberá procesarse.

¿Hay error en θ ?

t (s)	B (mT)	n	T (s)	ΔT (s)	θ (rad)	
0	0,495	39,20				
1	1,980	38,80	1	1,485	0,01	6,28319
2	3,545	39,10	2	1,565	0,01	12,5664
3	5,215	39,20	3	1,670	0,01	18,8496
4	7,005	39,20	4	1,790	0,01	25,1327
5	8,940	38,90	5	1,935	0,01	31,4159

$$\omega = \frac{2\pi}{T} \quad \omega^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} \quad \Delta\omega^2 = \frac{8\pi^2}{T^3} \Delta T$$

Procesado de datos para obtener ω^2 , θ

Observación: debe discutirse la influencia del intervalo entre dos medidas consecutivas en el error en el periodo.

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

MEDIDAS A REALIZAR (todas con su cota de error correspondiente)

Con puertas fotoeléctricas

Características generales del sistema

Radio del disco R , distancia desde el borde del disco hasta la abertura fotoeléctrica d , espesor de la lengüeta e (se mide directamente si ésta es rectangular, o mediante

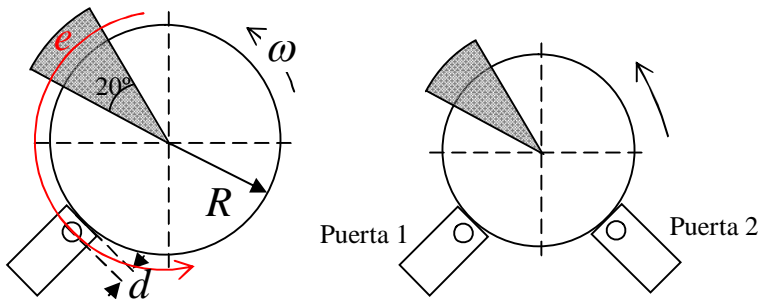
$$e = \frac{20}{180} \pi \cdot (R + d)$$

si se trata de un sector circular de 20°)

Medidas del movimiento (no menos de 8 datos)

- * Número de vuelta
- * Tiempo de interrupción con su error

A partir de estas medidas, cálculo de velocidades angulares y procesado para obtener α , ω_0 .



Con sensor de campo magnético

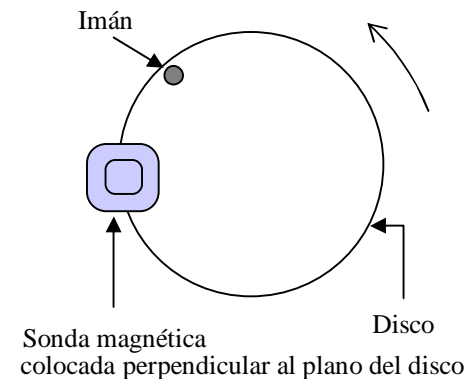
Medidas del movimiento (no menos de 8 datos)

- * Campo magnético en función del tiempo.



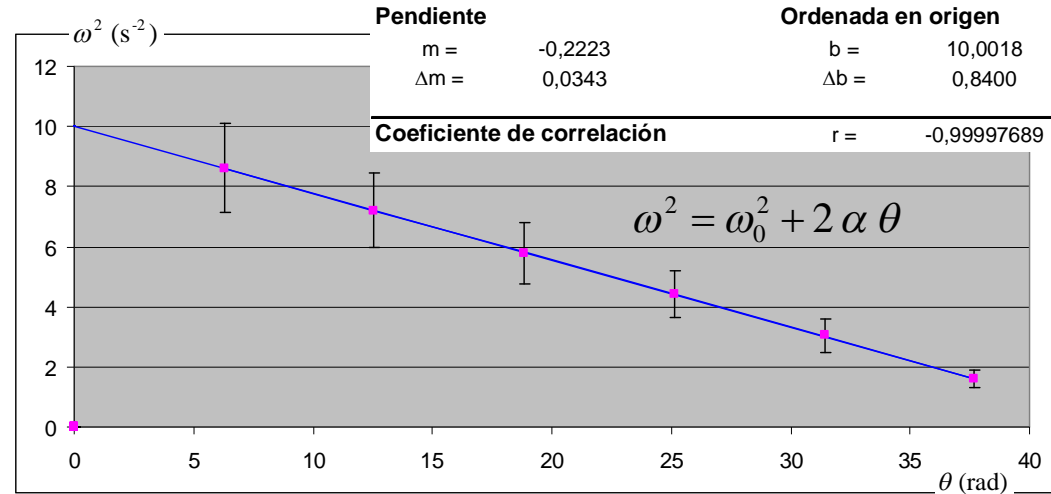
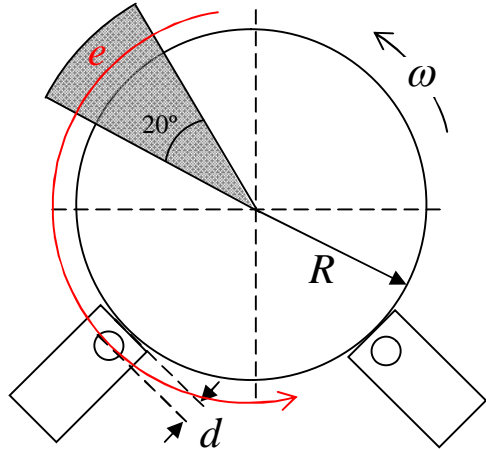
Procesado de datos a partir del fichero generado por el sistema data harvest para obtener los tiempos correspondientes a los máximos de B y de ahí los periodos de rotación.

A partir de estas medidas, cálculo de velocidades angulares y procesado para obtener α , ω_0 .



MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

EJEMPLO DE MEDIDA: 1) Con puertas fotoeléctricas



Valor de e

$$e = \frac{20}{180} \pi \cdot (R + d)$$

$$\Delta e \approx \Delta R + \Delta d$$

$$\alpha \text{ (rad/s}^2\text{)} = -0,1112 \quad \%$$

$$\Delta\alpha \text{ (rad/s}^2\text{)} = 0,0172 \quad 15,4$$

$$\omega_0 \text{ (rad/s)} = 3,16$$

$$\Delta\omega_0 \text{ (rad/s)} = 0,13$$

$$\omega_0^2 = b \quad \omega_0 = \sqrt{b}$$

$$\Delta\omega_0 = \frac{1}{2\sqrt{b}} \Delta b$$

$N = 6$

		Δ		Δ		Δ					
Radio del disco R (cm)	=	9,25	0,1	R (m)	=	0,0925	0,001	$R + d$ (m)	=	0,0995	0,002
Distancia hasta borde disco d (cm)	=	0,7	0,1	d (m)	=	0,007	0,001				
Espesor de la lengüeta e (cm)	=	3,473205	0,2	e (m)	=	0,03473	0,002				

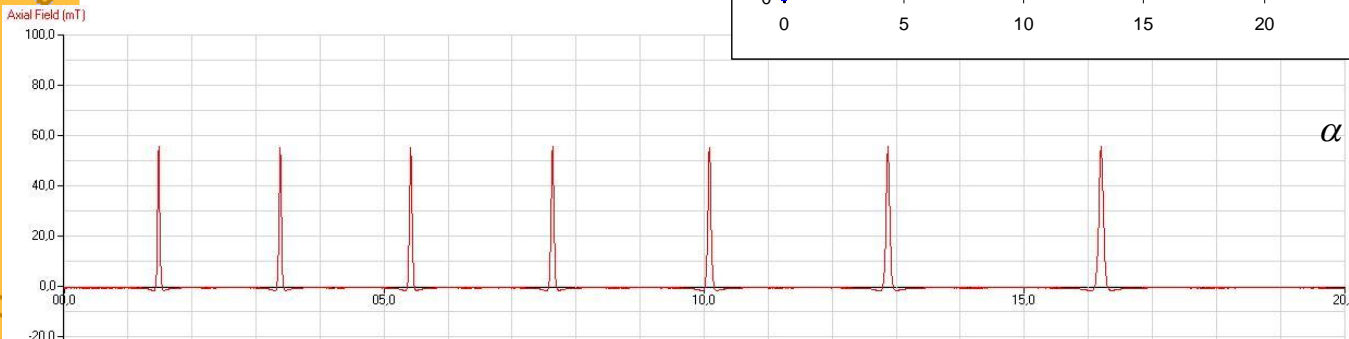
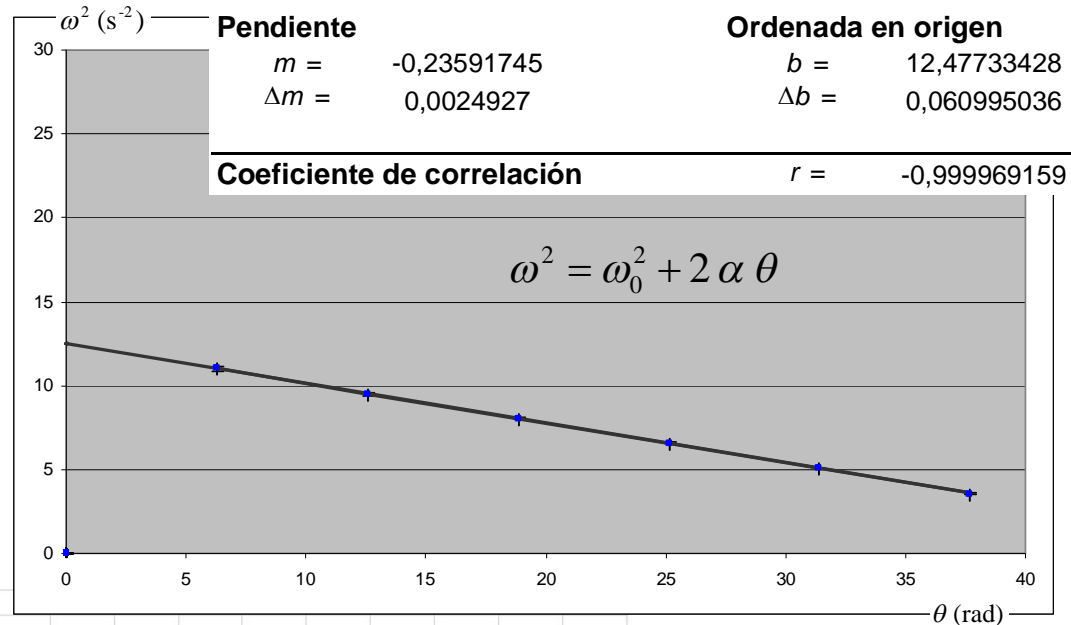
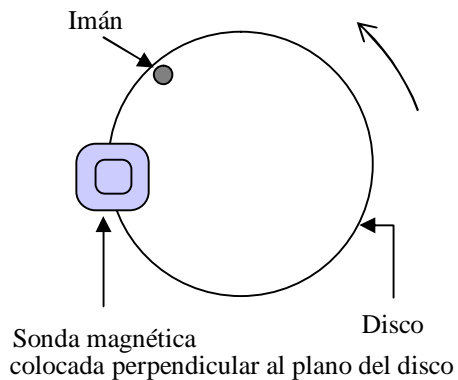
MEDIDAS

	(20°)		
n° vuelta	t (ms)	Δt (ms)	
1	119	1	
2	130	1	
3	145	1	
4	166	1	
5	200	1	
6	276	1	

n	t (s)	Δt (s)	v (m/s)	θ (rad)	$\Delta\theta$	ω (s ⁻¹)	$\Delta\omega$	ω^2 (s ⁻²)	$\Delta\omega^2$
1	0,119	0,001	0,291866	6,28319	0	2,93333	0,25252	8,6044	1,48146
2	0,130	0,001	0,26717	12,5664	0	2,68512	0,23324	7,20988	1,25256
3	0,145	0,001	0,239531	18,8496	0	2,40735	0,21166	5,79534	1,01909
4	0,166	0,001	0,209229	25,1327	0	2,10281	0,188	4,42179	0,79067
5	0,200	0,001	0,17366	31,4159	0	1,74533	0,16023	3,04617	0,55932
6	0,276	0,001	0,125841	37,6991	0	1,26473	0,1229	1,59955	0,31087

MOVIMIENTO CIRCULAR UNIFORMEMENTE RETARDADO

EJEMPLO DE MEDIDA: 2) Con sonda magnética



$$\alpha = m/2 \quad \omega_0 = \sqrt{b} \quad \Delta\omega_0 = \frac{\Delta b}{2\sqrt{b}}$$

α (rad/s ²)	$\Delta\alpha$	%
-0,118	0,001	1,1
ω_0 (rad/s)	$\Delta\omega_0$	%
3,53	0,01	0,2

MEDIDAS

$N = 6$ (Número de medidas excl)

Sensibilidad medidas (s) = 0,005

	t (s)	B (mT)
0	1,480	55,3
1	3,375	54,8
2	5,415	55,0
3	7,630	55,5
4	10,080	55,2
5	12,870	55,5
6	16,200	55,6

n	T (s)	ΔT (s)	θ (rad)	$\Delta\theta$	ω (s ⁻¹)	ω^2 (s ⁻²)	$\Delta\omega^2$
1	1,895	0,01	6,28319	0	3,31567	10,9936	0,11603
2	2,040	0,01	12,5664	0	3,07999	9,48636	0,093
3	2,215	0,01	18,8496	0	2,83665	8,0466	0,07266
4	2,450	0,01	25,1327	0	2,56457	6,577	0,05369
5	2,790	0,01	31,4159	0	2,25204	5,07167	0,03636
6	3,330	0,01	37,6991	0	1,88684	3,56017	0,02138