

15. Diavolo Normal. DINÀMICA.



CONCEPTES
Força normal.
Moviment circular.
Acceleració normal i tangencial.



CONEIXEMENTS PREVIS
Mesura de distàncies.
Mesures d'acceleracions.



MATERIAL
Inclinòmetre.

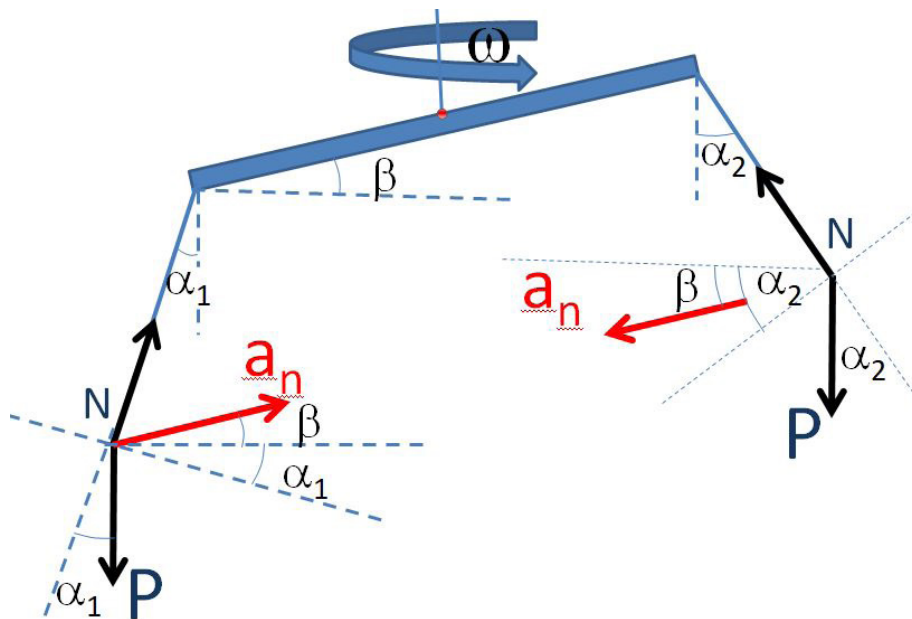


APPS & MÒBIL
Acceleròmetre.
ImageMeter.

Alguna cosa més que girar...

Les cadiretes voladores del Tibidabo fan més coses que no pas només donar voltes. Si ens fixem, el suport de les cadiretes no gira horitzontalment. El seu eix de gir està lleugerament inclinat. Aquest petit angle fa que la normal, que no permet que travessem les cadiretes, vagi canviant: en el punt més baix ens sentim una mica esclafats contra la cadira, i en el punt més alt sentim un petit efecte semblant al d'ingravedesa. I un cop a terra intentarem esbrinar si podem calcular aquests canvis amb l'ajuda de Newton.

Abans de res, intentem esbrinar si l'increment de la normal que ens esclafa contra la cadireta i la seva disminució que ens fa volar és real. Per fer això dibuixem el diagrama de forces que actua sobre una persona asseguda en una cadireta en aquests dos punts. Alerta, la beta de la dreta agafa tot l'angle!:



Al diagrama de forces hem afegit també l'acceleració normal que sempre està dirigida cap al centre de rotació.

Escrivim ara les equacions de Newton en un eix paral·lel a la normal. Això ho farem per les dues posicions de la cadireta:

Per la cadira que està a baix:

$$- P \cos \alpha_1 + N_{\text{baix}} = m \cdot a_n \cdot \sin (\alpha_1 + \beta)$$

$$N_{\text{baix}} = P \cos \alpha_1 + m \cdot a_n \cdot \sin (\alpha_1 + \beta)$$

Per la cadira al punt més alt:

$$- P \cos \alpha_2 + N_{\text{dalt}} = m \cdot a_n \cdot \sin (\alpha_2 - \beta)$$

$$N_{\text{dalt}} = P \cos \alpha_2 + m \cdot a_n \cdot \sin (\alpha_2 - \beta)$$

Per últim, si tenim en compte que l'acceleració normal es pot calcular a partir de la velocitat angular ($a_n = R \omega^2$) obtenim els següents valors per la normal:

$$N_{\text{baix}} = P \cos \alpha_1 + m R \omega^2 \sin (\alpha_1 + \beta)$$

$$N_{\text{dalt}} = P \cos \alpha_2 + m R \omega^2 \sin (\alpha_2 - \beta)$$

Donat que els angles α_1 i α_2 són molt semblants el terme $P \cos \alpha$ serà molt semblant per les dues posicions. En canvi el terme relatiu a l'acceleració normal és molt diferent. En el cas del punt més baix el sinus està afectat per dos angles: el del desplaçament de la cadira i el d'inclinació de l'eix. En canvi, en el punt més alt, només està afectat pel desplaçament de les cadiretes. Donat que el sinus és proporcional a l'angle (per angles petits), efectivament la normal és més gran en el punt més baix que en el punt més alt. L'efecte és real.

En el nostre experiment el que voldrem mesurar és la diferència entre la normal als punts més alt i més baix de la trajectòria de la cadireta. Per fer les coses fàcils suposarem que els angles α_1 i α_2 són iguals. Si ara restem les normals al punt més baix i més alt obtenim:

$$N_{\text{baix}} - N_{\text{dalt}} = m R \omega^2 [\sin (\beta + \alpha) - \sin (\alpha - \beta)] N = m (v^2 / R + g)$$

Si tenim en compte les expressions que ens donen la suma i resta d'angles en funció de cosinus i sinus següents:

$$\sin (\alpha + \beta) = \sin \alpha \cos \beta + \sin \beta \cos \alpha$$

$$\sin (\alpha - \beta) = \sin \alpha \cos \beta - \sin \beta \cos \alpha$$

podem escriure la darrera equació com:

$$N_{\text{baix}} - N_{\text{dalt}} = 2m R \omega^2 \sin \beta \cos \alpha$$

EXPERIMENTA!**Què farem?**

Volem calcular la normal quan estem asseguts a les cadiretes en els punts més alt i més baix de la trajectòria. Per fer això necessitarem primer calcular els angles que participen en el càlcul. També necessitarem mesurar el radi de gir i el període de gir. I amb tot això mirarem de calcular la normal. Sort!

E1: MESUREM LA VELOCITAT ANGULAR.*Fora de l'atracció*

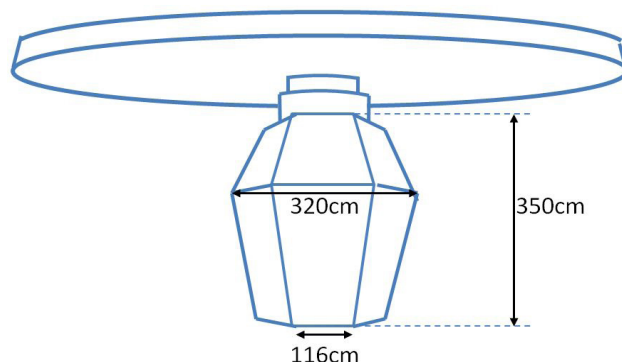
1. Una de les cadiretes té un llaç de forma que tinguem una referència per tal de comptar voltes.
2. En un primer moment l'atracció comença a girar i pujar. En aquesta primera part el moviment no és circular uniforme.
3. Quan les cadiretes són a dalt de tot, el moviment ja es pot considerar circular uniforme.
4. Prenem el temps que tarda a fer una volta.
5. Repetim aquesta mesura quatre cops. Si veieu que en un moment donat l'atracció comença a aturar-se, no tingueu aquesta mesura en compte. A les mesures les anomenarem T_1, T_2, \dots
6. La velocitat angular es pot calcular a partir de la relació: $\omega = 2\pi/T$

Període (s)	T_1	T_2	T_3	T_4	$T_{mitjana}$
Velocitat Angular ω (rad/s)					

E2: TRAJECTÒRIA DE LES CADIRETES.*Fora de l'atracció*

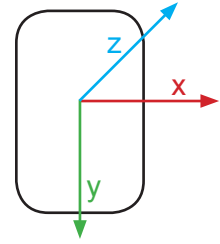
1. El diàmetre de l'eix inferior del Diavolo és de 320 cm (vegeu figura inferior).
2. Fem una fotografia de l'atracció quan estigui girant a velocitat constant.
3. A partir de l'aplicació ImageMeter, i tenint en compte la mesura de referència podem trobar el radi amb què giren les cadiretes.
4. Amb la mateixa aplicació també podem mesurar els angles α i β que caracteritzen el moviment de les cadiretes.

$R =$ m ; $\alpha =$ ° ; $\beta =$ °



EXPERIMENTA!**E3: MESUREM LA FORÇA NORMAL***Dins de l'atracció*

1. Pugem a l'atracció amb l'acceleròmetre encès i ficat dins el porta-mòbils. Tal com es veu a la fotografia.
2. Un cop s'ha acabat l'atracció podeu treure el mòbil de la seva funda i comprovar l'acceleració que heu obtingut.

**QÜESTIONS?**

1. La mesura de la diferència de la normal al punt més alt i més baix amb el mòbil, es correspon amb els vostres càlculs a partir dels valors del radi R , la velocitat angular ω i els angles α i β ?

$$N_{\text{baix}} - N_{\text{dalt}} = 2m R \omega^2 \sin \beta \cos \alpha = \quad \text{N}$$

2. Podem determinar el període a partir de la mesura amb l'acceleròmetre? Us dona un resultat similar?

3. Quina és la velocitat lineal de les cadiretes més externes?

$$v = \omega R = \quad \text{m/s}$$

+A L'AULA!

1. En quins eixos podem veure l'acceleració normal? Calcula l'acceleració normal de les cadiretes a partir de les dades de l'acceleròmetre i l'angle α . Fes també el càlcul a partir de la velocitat i el radi obtinguts als experiments. Compara els dos resultats
2. Hem fet l'aproximació que els angles α_1 i α_2 són iguals. Però no ho són. De fet els podem calcular a partir de les equacions de Newton, si descomponem les forces amb els eixos paral·lels a la força normal i a l'acceleració normal. Calcula els angles tenint en compte els valors mesurats al Tibidabo. Com són de diferents? Són semblants als que podeu mesurar amb les fotografies?
3. De fet, encara hem fet una altra aproximació... el moviment no és circular. Però el seu càlcul és molt complicat. De totes maneres si sou prou valents, ho podeu intentar...

"Basically, I have been compelled by curiosity". Mary Leakey.