



GRUPO DE EXPERIMENTACIÓN ARFLAT

INFORME TÉCNICO

LE PENDULE IMMOBILE

| | |
|------------------------------|---------------|
| Código del Documento: | INF.04.08.LPI |
| Fecha de vigencia: | 04/05/2020 |
| Informe: | 04 |
| Revisión: | 08 |
| Páginas | 28 |

La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación, operación y divulgación, quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación Científica ArFLat cualquier cambio en los procesos y/o en la operatoria.

© Copyright 2020 Grupo ArFLAT | Todos los derechos reservados | Prohibida su reproducción, total o parcial y/o copia. Prohibida su exposición pública y/o privada sin la autorización explícita y expresa de Grupo ArFLAT – Experimentación Científica.

Historial de Revisiones:

Revisión: 01 / Vigencia: 15/01/2020 / INF.04.01.LPI

- Primera versión original

Revisión: 02 / Vigencia: 25/01/2020 / INF.04.02.LPI

- Demostración del error relativo para el cálculo y corrección.

Revisión: 03 / Vigencia: 28/02/2020 / INF.04.03.LPI

- Incorporación del detalle de consideración la rotación terrestre.
- Corrección de la descomposición del vector aceleración de acuerdo a la inclinación terrestre.
- Corrección de cálculo de propagación de error en una fórmula.
- Se agregaron gráficos descriptivos para detallar aún más la experiencia.
- Corrección de ortografía en diferentes párrafos.

Revisión: 04 / Vigencia: 01/03/2020 / INF.04.04.LPI

- Incorporación de presentación del experimento y citas bibliográficas.

Revisión: 05 / Vigencia: 08/03/2020 / INF.04.05.LPI

- *Modificación el orden de los textos, agregado de citas y bibliografías.*
- *Cálculos específicos de aceleración de traslación para los extremos de equinoccios y solsticios.*
- *Incorporación de las proyecciones de las aceleraciones centrípetas para los equinoccios y solsticios en AutoCAD.*

Revisión: 06 / Vigencia: 13/03/2020 / INF.04.06.LPI


- Incorporación de mejoras y detalles en los gráficos en CAD de las proyecciones.

Revisión: 07 / Vigencia: 17/04/2020 / INF.04.07.LPI

- Reordenamiento de los ítems detallados.
- Cambio redacción de textos.
- Incorporación de citas bibliográficas.


Revisión: 08 / Vigencia: 04/05/2020 / INF.04.08.LPI

- Corrección de la cita 7 reemplazando el periodo de precesión mostrado de 23.000 años a 25.776 años.

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|---------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 2 de 28 |

Índice:

| | |
|--|----|
| Presentación..... | 4 |
| 1) Introducción..... | 7 |
| 2) Objetivo del informe..... | 8 |
| 3) Difusión..... | 8 |
| 4) Hipótesis..... | 8 |
| 5) Desarrollo de la experimentación..... | 8 |
| 6) Datos utilizados..... | 10 |
| 7) Cálculos..... | 11 |
| 8) Análisis de errores..... | 18 |
| 9) Experiencias con el péndulo..... | 21 |
| 10) Resultados de las experiencias..... | 24 |
| 11) Conclusiones..... | 26 |
| Participantes y agradecimientos..... | 27 |
| Bibliografía..... | 28 |

| | | | | | | |
|---|----|------------------|---------------|---------------------|--------------|-----------------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: 3 de 28 |

Presentación

Desde la más remota antigüedad los pensadores, filósofos y físicos -tomemos en cuenta que estas categorías divisorias en diversas áreas aparecen con la modernidad- han puesto en consideración diferentes modelos en los que se ha intentado demostrar, o refutar, el movimiento de la Tierra. Ya en la Grecia antigua, según cuenta la historia, se generó un interesante debate cuando Aristarco de Samos planteó la posibilidad de una Tierra móvil, desafiando el sentido común de la época, teniendo en cuenta que, además, contradecía la percepción directa de nuestros sentidos. Bajo el paradigma heliocéntrico podemos explicar hoy en día, a partir del desarrollo de la física clásica, de qué modo la tierra puede estar rotando sobre sí misma cada 24 horas, a la vez que gira alrededor del sol cada 365 días, sin que sintamos absolutamente nada, debido a que las variaciones de velocidad (aceleraciones) son muy pequeñas, y lo único que podemos detectar dentro de un marco de referencia inercial son estos cambios.

Vamos a clarificarlo un poco, supongamos que estamos dentro de un automóvil o un avión moviéndonos a gran velocidad. Mientras éste se mueva de manera constante en línea recta no vamos a sentir absolutamente nada, hasta podríamos quedarnos dormidos yendo a mil kilómetros por hora. Pero si el auto o el avión frenaran, aceleraran o giraran, sentiríamos el efecto.

Ahora bien, la pregunta es:


¿Sería posible entonces construir un dispositivo que sea capaz de detectar esos pequeños cambios de movimiento debido a los giros de la tierra sobre su eje y alrededor del sol?

En el siglo XIX León Foucault se preguntó lo mismo, e ideó un péndulo con el que, gracias a la capacidad oscilar durante mucho tiempo, detectaría el movimiento de la tierra ya que la masa conservaría su dirección (inercia) mientras la tierra rotaba debajo. Si bien, cuenta la historia que Foucault detectó un movimiento, notó que no coincidía con la velocidad de rotación de la tierra... y esto suele atribuirse¹ a que desconocía la descomposición trigonométrica sobre una esfera en base a la latitud, que hoy sabemos calcular perfectamente, lo que lo llevó a desarrollar el giroscopio, cuya propia etimología significa “observar el giro” para observar la rotación terrestre². (párrafo aparte merecería atención nuestra experimentación con un péndulo de Foucault realizada en una facultad, en donde no coincidió absolutamente en nada con los resultados esperados).

A fines del año 2018, el equipo de ArFlat buscaba aprovechar el potencial tecnológico de los teléfonos móviles, ya que las especificaciones técnicas de los mismos señalan entre sus características que poseen un “giroscopio”, el cual se pretendía utilizar en sus experimentaciones. Fue en ese entonces que comenzamos a pensar cómo podríamos explotar el potencial de los acelerómetros para realizar experimentación, y sobre la detección del movimiento de la tierra lo que nos llevaba inmediatamente al péndulo de Foucault.

¹ <https://es.wikipedia.org/wiki/Gir%C3%B3scopo> (recurso web disponibles al 6/03/2020)

² <http://etimologias.dechile.net/?giroscopio> (recurso web disponible al 6/03/2020)

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|---------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 4 de 28 |

Esto mismo con magnitudes muy pequeñas (por eso necesitamos un gran péndulo para detectarlas) es lo que sucede debido a la rotación de la tierra. Ahora bien, en un giro constante la masa se mantendrá en una posición constante (de equilibrio) desplazada una distancia hacia afuera, o sea, si estando dentro de la calesita colocáramos una referencia (también apoyada sobre la calesita) debajo de la masa, veríamos que la masa no se mueve vista desde adentro. Pero ¿qué pasa si variamos la velocidad de la calesita? Veríamos que la masa del péndulo se va más hacia afuera cuando la velocidad es mayor y vuelve más hacia adentro cuando la velocidad es menor, es decir oscilaría visto desde un sistema de referencia colocado debajo del péndulo.


En eso se basa este experimento, como hay un giro dentro de otro giro, esto hará que la masa vaya más rápido cuando la rotación vaya solidaria a la traslación (12 de la noche) y más lento cuando vaya en contra (12 del mediodía), produciéndose una pequeña oscilación con un período de 12 horas. Lo que nos conducía a dos posibles resultados:

1. Que el péndulo oscilara según lo calculado, y fuera la primera vez en la historia de la física en que se detectara este movimiento.
2. Que el péndulo permaneciera inmóvil, lo que demostraría que la tierra no realiza un movimiento de rotación y traslación según lo describe el modelo heliocéntrico⁷.

Hasta aquí, todo muy lindo sobre el papel, pero quedaba por delante la gran tarea de llevar acabo la experimentación, a lo que se ha abocado el maravilloso equipo de personas del grupo ArFlat, todo a pulmón, hecho por gente común con trabajo, linaje y demás ocupaciones, logrando conseguir tiempo extra para llevar adelante desde la fabricación del péndulo mismo, encontrar un lugar factible para realizar el experimento y montar el mismo hasta la confección del presente informe....

Bienvenidos a “Le Pendule Immobile”...

⁷ N. del A.: No fue tenido en cuenta cualquier otro movimiento ya que resulta insignificante en comparación, por ejemplo la precesión de los equinoccios tiene un período de 25.776 años, por lo que resulta despreciable en un período de 12 horas como se plantea en el experimento.

| | | | | | | | |
|---|----|------------------|------------|---------------|---------------------|---------|---------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 6 de 28 |

1) Introducción

El presente documento en su revisión N° 8, propone una *hipótesis*, continuando con el desarrollo en el cual se encuentra una explicación de la experiencia, incluyendo los datos en los cuales nos basamos, así como su formulación matemática y análisis de errores, exponiendo entonces los resultados de la experimentación, finalizando con las conclusiones, agradecimientos y bibliografía de consulta.

Además, esta revisión amplía detalles que fueron considerados para la realización de la experiencia, pero no fueron detallados en su completitud en versiones anteriores.


Luego de plantear varios proyectos entre los integrantes del grupo, se decide realizar la experiencia y se pone en marcha la construcción de una masa cónica, a modo de ser utilizada como péndulo. Este proyecto constó de utilizar un molde cónico y hacer la misma de concreto, logrando en su fabricación insertarle un sistema de anclaje fijo de hierro para desde allí poder colgar la plomada a diferentes alturas, utilizando una línea de tensión de kevlar. En el extremo de esta masa cónica, se realiza una terminación centrada para la colocación de una aguja, elemento indicador que manifiesta medición sobre una grilla regulada.

La idea fue desde siempre realizar la experiencia lo más simple y concreta posible, ajustando todo a que sea lo más preciso en cuanto al mecanismo de medición y comparación, sin la intervención de ningún artilugio electrónico de medición que desarrolle quizás interferencias electromagnéticas o altere la funcionalidad de lo construido.

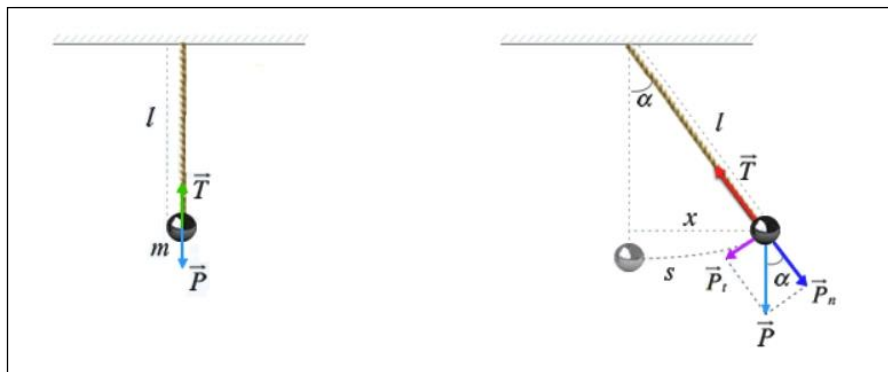
Para esta experiencia se ha propuesto utilizar como imagen un dibujo propuesto por un integrante del grupo, Walter Parada:



Fig. 2

| | | | | | | |
|---|----|------------------|---------------|---------------------|--------------|-----------------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: 7 de 28 |

Por ejemplo, podemos observar en un péndulo colgado (*fig. 5*).



Sin embargo, la velocidad de la masa variará según gire en la traslación solidaria a la dirección de rotación o en contra de la misma, sumándose o restándose como observamos (a modo de ejemplo) en el juego de las tazas de un parque de diversiones (*Fig 6.*), experimentando los momentos de mínima velocidad al mediodía, y máxima velocidad a media noche¹⁰.



Fig. 6

¹⁰ N. del A.: Nótese que son velocidades de rotación, por lo que existen aceleraciones que pueden ser calculadas aplicando las leyes de Newton, y detectadas como se propone en esta experiencia.

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|---------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 9 de 28 |


6) Datos utilizados


- Leyes de Newton¹¹
- Coordenadas geográficas de la realización de la experiencia
- La rotación de la Tierra, el radio medio terrestre, e inclinación del eje terrestre¹²
- La órbita de traslación de la Tierra alrededor del sol¹³
- Longitud del péndulo: $30 \text{ m} \pm 0,001 \text{ m}$ (medido con distanciómetro laser)
- Masa del péndulo: $27,4 \text{ Kg} \pm 0,1 \text{ kg}$ (pesado con balanza electrónica) *(si bien en principio no es necesario este dato para el experimento, lo incluimos a título informativo)*

¹¹ ROBERT RESNICK, DAVID HALLIDAY, KENNETH S. KRANE (2001) *Física Vol. 1*, Cuarta edición (tercera en español), México: Compañía Editorial Continental (pág. 87)

¹² WILLIAM F. RILEY; LEROY D. STURGES (1996) *Ingeniería mecánica: Estática*, Reverte. (pág. 7)

¹³ JUAN JOSE DE ORUS NAVARRO; M. ASUNCIÓN CATALÁ POCH; JORGE NÚÑEZ DE MURGA (2007) *Astronomía esférica y mecánica celeste*, Universitat de Barcelona (pág. 153)

| | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|--------------|---------------------|--|--|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | | | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | | | PÁGINA: | 10 de 28 |

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 11 de 28 |

Ahora, deberemos calcular previamente la velocidad angular ω_r en la rotación; para ello en este caso redondeamos a tomar un ciclo de rotación como de 24 horas, por lo tanto:

$$\begin{aligned} 24 \text{ horas} & \quad \quad \quad 360^\circ \quad \quad \quad 2\pi \\ 86400 \text{ seg} & \quad \quad \quad \quad \quad \quad 2\pi \end{aligned}$$

De lo que conseguimos que la velocidad angular: $\omega_r \cong 7,2722 \cdot 10^{-5} \frac{r}{s}$

Una vez obtenida esta velocidad angular, procedemos a calcular la aceleración centrípeta de la rotación de la Tierra sobre su eje.

Para ello tomamos el Radio Medio Terrestre, lo consideramos $r = 6.371 \text{ km} = 6.371.000 \text{ m}$

$$Ac_r = \omega_r^2 \cdot r \cdot \cos(34,59^\circ)$$

$$Ac_r = (7,2722 \cdot 10^{-5} \text{ r/s})^2 \cdot 6371000 \text{ m} \cdot 0,8232$$

$$Ac_r \cong 0,02773 \frac{m}{s^2}$$

Una vez obtenida esta aceleración centrípeta, procedemos a calcular la componente perpendicular a la dirección \vec{g} de la aceleración:


$$Ac_{rx} \cong 0,02773 \frac{m}{s^2} \cdot \sin(55,41^\circ)$$

$$Ac_{rx} \cong 0,02773 \frac{m}{s^2} \cdot 0,8232$$

$$Ac_{rx} \cong 0,0228 \frac{m}{s^2} \cong 2,3 \frac{cm}{s^2}$$

Se podría detectar esta aceleración. Y ésta debido a la rotación terrestre, y que no cambia el lugar de la experiencia ya que el péndulo está posicionado en el mismo lugar, es constante.

Por lo tanto, para nuestra experiencia la consideramos constante, que es la que nos dejará el péndulo en posición de equilibrio siempre (ejemplo de la fig. 5). Por lo tanto, será nuestra posición de equilibrio INICIAL la cual cuando se le sume o reste la aceleración por traslación, el péndulo deberá tener un desplazamiento respecto a este punto.

| | | | | | | | |
|---|----|------------------|---------------|---------------------|--------------|---------|----------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 12 de 28 |

7.2 Traslación terrestre

Utilizaremos el cálculo de la aceleración centrípeta en este caso como:

$$Ac_t = \omega_t^2 \cdot r$$

Ahora, deberemos calcular previamente la velocidad angular ω_t en la traslación; para ello en este caso redondeamos a tomar un ciclo de traslación como de 365 días, por lo tanto:

365 días x 24 horas _____ 360° _____ 2π
 365 días x 86400 seg _____ 2π

De lo que conseguimos que la velocidad angular: $\omega_t \cong 1,992 \cdot 10^{-7} \frac{r}{s}$

Una vez obtenida esta velocidad angular, procedemos a calcular la aceleración centrípeta de la traslación de la Tierra alrededor del sol, para ello tomamos la distancia de la Tierra al Sol, obtenido de fuentes oficiales, donde $r = 1,5 \cdot 10^{11} \text{ m}$ (lo llamaremos radio promedio de la órbita, ver fig. 7 siguiente fuera de escala)

Y entonces, finalmente:

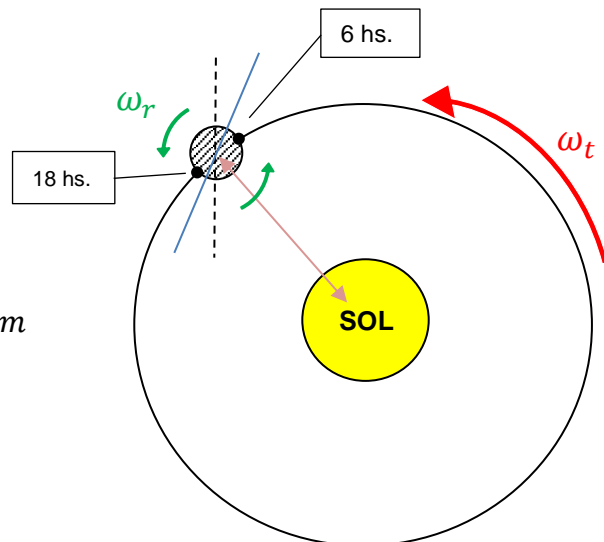


Fig. 7

$$Ac_t = \omega_t^2 \cdot r$$


$$Ac_t = (1,992.10^{-7} \text{ r/s})^2 \cdot 1,5.10^{11} \text{ m}$$

$$Ac_t = 0,0059 \frac{m}{s^2} \cong 0,006 \frac{m}{s^2}$$


Tomamos el modelo “simplificado” de la órbita terrestre alrededor del sol con un radio promedio, aproximándolo a una órbita circular, ya que la física se basa en modelos que se aproximan a la realidad que nos permiten hacer cálculos y predicciones. Más adelante veremos que el error es menor al 2% (excentricidad de la órbita), y eso en el cálculo final de desplazamiento es una magnitud despreciable¹⁷


¹⁶ YOUNG, HUGH D. y ROGER A. FREEDMAN (2009) *Física Universitaria volumen 1*, Decimosegunda edición, México: PEARSON EDUCACIÓN (pág. 268)

¹⁷ Ver análisis de error órbita terrestre (pág. 18)

| | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------|------------|---------------------|----------------------------|----------------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 13 de 28 |

Este diagrama ilustra la órbita de la Tierra alrededor del Sol y cómo la inclinación de su eje causa las estaciones. El Sol está en el centro, etiquetado como 'Sol'. La Tierra orbita en una trayectoria elíptica, con cuatro posiciones clave marcadas: 'Equinoccio de primavera' (arriba), 'Equinoccio de otoño' (abajo), 'Solsticio de verano' (izquierda) y 'Solsticio de invierno' (derecha). En cada posición, se muestra un globo terráqueo con su eje inclinado a un ángulo de $23,5^\circ$ respecto a una línea perpendicular a la línea que conecta la Tierra con el Sol. Las estaciones se indican en cada hemisferio: Primavera y Otoño en el equinoccio superior, Verano e Invierno en los solsticios. En el solsticio de invierno (derecha), el hemisferio sur está sombreado y etiquetado como 'Invierno', mientras que el norte es 'Verano'. En el solsticio de verano (izquierda), el hemisferio norte está sombreado y etiquetado como 'Invierno', mientras que el sur es 'Verano'. Las flechas verdes indican la dirección de la órbita, y las flechas rojas en los ejes indican la rotación terrestre.

| | | | | | | | |
|---|----|------------------|------------|---------------|---------------------|---------|----------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 14 de 28 |

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 18 de 28 |

8.2) Cálculo del desplazamiento en el equinoccio

Calculamos solamente en un sentido, ya que por lo que hemos visto, desde el punto central debería desplazarse en igual magnitud para ambos sentidos.

$$dx = \frac{Ac_t}{g} \cdot L$$


$$dx = \frac{3,34 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2} \pm 0,16 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2} \pm 0,1 \frac{m}{s^2}} \cdot 30 m \pm 4,3 \cdot 10^{-3} m$$


$$dx = 1,021 \cdot 10^{-2} m \pm 0,066 \cdot 10^{-2} m = 10,21 mm \pm 0,66 mm$$

Podemos visualizar que el error **es despreciable** frente al valor del desplazamiento.

De lo observado durante las experiencias, la amplitud de la vibración que se observa de la masa colgante queda contenida dentro de los 2 mm respecto al centro patrón (observado con detalle por las cámaras de alta definición dispuestas durante los timelapses), por lo tanto, a pesar de tener una grilla milimétrica en la base impresa de contrastación, con escalas divisorias de 1 mm, este error por vibración estará presente.

Se detalla que, con el nivel de calidad de las cámaras, se puede observar la ubicación de la punta de la aguja con una exactitud por debajo del milímetro.

| | | | | | | |
|---|----|------------------|---------------|---------------------|--------------|------------------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: 20 de 28 |

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|--------------|---------------------|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 21 de 28 |

Entonces, a la hora de realizar la experiencia, lo que nos debería marcar la aguja indicadora en el **solsticio** entre las 00 hs. y las 12 hs., es un desplazamiento entre los extremos de su amplitud de aproximadamente **18,6 mm**

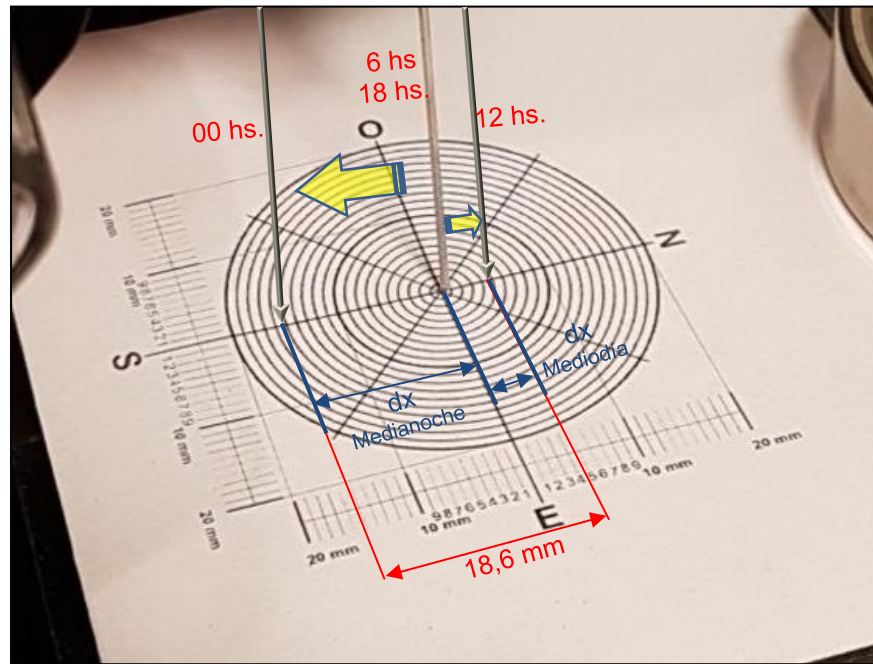


Fig. 13

9.3) Cálculo del desplazamiento para la medianoche en el Equinoccio

$$dx = \frac{Ac_t}{g} \cdot L$$

$$dx = \frac{3,34 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2}} \cdot 30 m$$


$$dx \cong 1,021 \text{ cm} = 10,2 \text{ mm}$$

9.4) Cálculo del desplazamiento para el mediodía en el Equinoccio

$$dx = \frac{Ac_t}{g} \cdot L$$

$$dx = \frac{3,34 \cdot 10^{-3} \frac{m}{s^2}}{9,81 \frac{m}{s^2}} \cdot 30 m$$

$$dx \cong 1,021 \text{ cm} = 10,2 \text{ mm}$$

| | | | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|--------------|---------------------|--|--|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | | | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | | | PÁGINA: | 22 de 28 |

10) Resultados de las experiencias con el péndulo

Luego de recolectar todas las videograbaciones de las diferentes cámaras dispuestas se realizó la compaginación y edición para juntar todos los puntos de vista de las cámaras de manera sincronizada.

De la visualización de todos los videos y fotografías, podemos evidenciar que la aguja indicadora del péndulo ha manifestado vibraciones (inferimos que, por producto de la vibración del edificio, uso del ascensor, vientos sobre la estructura exterior del edificio, etc.), que las tuvimos en cuenta a la hora de realizar repetidamente las experiencias, y son muy difíciles de aislar para nosotros dado el lugar donde podemos colgar el péndulo; **mas no podemos evidenciar un desplazamiento notable por fuera del punto inicial de la aguja**, seteado a las 18 hs. (hora local) en el centro de la grilla para tener como patrón.

Las experiencias fueron realizadas siempre en la misma ubicación geográfica, utilizando los mismos elementos. La hemos repetido, el 17 de noviembre de 2019, llegando al mismo resultado.

Si el péndulo se hubiese desplazado, estas vibraciones seguirían estando, pero alrededor del punto central de la nueva posición desplazada, **suceso que no ocurrió en ninguna de las repeticiones de la experiencia.**

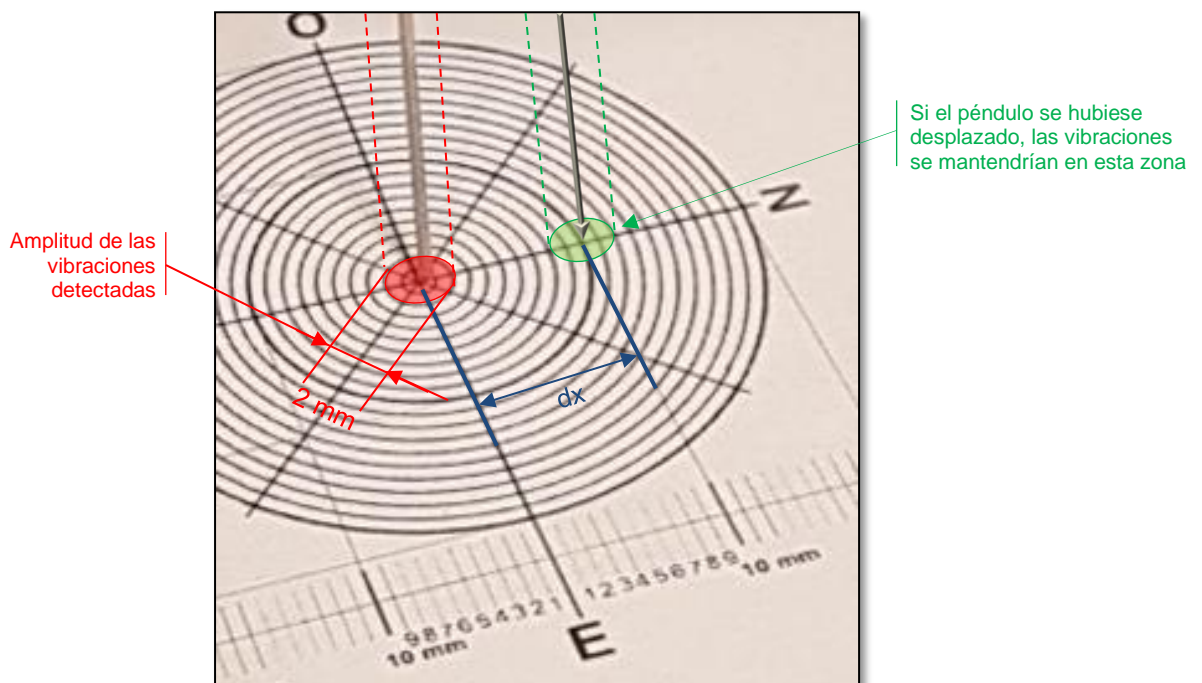




Fig. 15


| | | | | | | |
|---|----|------------------|---------------|---------------------|--------------|------------------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: 24 de 28 |

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 25 de 28 |

11) Conclusiones

De acuerdo a las experiencias realizadas, con los cálculos fundamentados a partir de la hipótesis inicial, encontramos que, según la matemática y la física, la masa debería haberse desplazado dentro de una magnitud mensurable, **pero en la práctica no se observó dicho desplazamiento, por lo que la hipótesis es falsa.**

Si la tierra realiza un movimiento de rotación y traslación el péndulo debería haber oscilado según las leyes de Newton consideradas válidas, por lo tanto, como el péndulo no osciló, la tierra no realiza el movimiento de rotación y traslación descrito en la hipótesis.


| | | | | | | | |
|---|-------------------------|------------------|------------|---------------------|----------------------------|----------------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 26 de 28 |

Participantes y agradecimientos

Las experiencias realizadas para poder concluir explícitamente en este informe han sido posible gracias al compromiso de los participantes de la Agrupación ArFlat, por la entrega, dedicación y aporte de su tiempo, en el que colaboran para que todos los seres humanos realicemos el ejercicio de dudar y discernir.

Para esta experiencia nos hemos dividido algunas tareas particulares:

| | |
|--|-------------------------|
| Idea original y cálculo: | Pablo (Profe de física) |
| Construcción y armado del Péndulo: | Marcelo Seralvo |
| Logística y preparación edificio: | Sebastián Martins |
| Documentación, CAD, grabación experiencia y análisis de video: | Alejandro Tarsia |
| Redacción literaria y correcciones textuales: | Andrés Ferrante |
| Diseño de arte Placa redes sociales: | Walter Parada |
| Locución para los videos y anuncios: | Leonardo Mesa |
| Adquisición de materiales, buenas vibras, buenas charlas y tiempo: | Grupo ArFlat |

| | | | | | | |
|---|----|-------------------------|---------------|----------------------------|---------------------|-------------|
|  | | INFORME TÉCNICO | | LE PENDULE IMMOBILE | | |
| | | Código del Doc.: | INF.04.08.LPI | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | PÁGINA: | 27 de 28 |

Bibliografía

D.W. KURTZ (2004)

Transit of Venus: New Views of the Solar System and Galaxy
International Astronomical Union, Cambridge University Press

ISAÍAS ROJAS PEÑA (2013)

Astronomía Elemental, Volumen 1: Astronomía Básica
Primera edición, Editorial USM

JUAN JOSE DE ORUS NAVARRO, M. ASUNCIÓN CATALÁ POCH, JORGE NÚÑEZ DE MURGA
(2007)

Astronomía esférica y mecánica celeste
Universitat de Barcelona

FREDERICK J. BUECHE, EUGENE HECHT (2007)

Física General Schaum
 Décima edición, México: McGraw-Hill / Interamericana

MARCELO ALONSO y EDWARD J. FINN (1995)

Física
Wilmington, Delaware, Estados Unidos de América: Addison-Wesley Iberoamericana

NAUTICAL ALMANAC OFFICE US (2019)

The Astronomical Almanac for the year 2019
U.S. Government Publishing Office

ROBERT RESNICK, DAVID HALLIDAY, KENNETH S. KRANE (2001)

Física Vol. 1
Cuarta edición (tercera en español), México: Compañía Editorial Continental


WILLIAM F. RILEY; LEROY D. STURGES (1996)

Ingeniería mecánica: Estática,
Reverte

YOUNG, HUGH D. y ROGER A. FREEDMAN (2009)

Decimosegunda edición, México: PEARSON EDUCACIÓN

--- FIN DEL DOCUMENTO ---

| | | | | | | | |
|---|------------------|-----------|---------------|---------------------|--------------|---------|----------|
|  | INFORME TÉCNICO | | | LE PENDULE IMMOBILE | | | |
| | Código del Doc.: | | INF.04.08.LPI | | | | |
| REVISIÓN: | 08 | VIGENCIA: | 04/05/2020 | EMITIDO POR: | GRUPO ARFLAT | V°B° | |
| La Responsabilidad de cumplir y hacer cumplir el presente es de todos los responsables de la experimentación y divulgación quienes deberán comunicar a la dirección del Grupo de Experimentación ArFlat, cualquier cambio en la operatoria. | | | | | | PÁGINA: | 28 de 28 |