



PÉNDULO DE FOUCAULT EN CIUDAD JUÁREZ

Reporte Técnico

DESCRIPCIÓN BREVE

Se presenta un reporte técnico sobre el proyecto Péndulo de Foucault, que es un proyecto de divulgación científica para Ciudad Juárez. El proyecto fue logrado exitosamente gracias al apoyo económico del Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua, al Espacio Interactivo de La Rodadora, la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez y la Sociedad Americana de Estudiantes de Física. Se dan detalles técnicos del diseño, construcción, funcionamiento y puesta en marcha, así como cuestiones importantes del proyecto.

Autores

Dr. Abdiel Ramírez Reyes



ANEXO 1.

1. REPORTE TÉCNICO: PROYECTO PÉNDULO DE FOUCAULT

- **Detalle de la actividad general realizada.**

Se diseña, construye e instala un *Péndulo de Foucault* en Ciudad Juárez, Chihuahua, el cual es una exhibición científica de carácter lúdica, que tiene la finalidad de difundir conocimientos de la Física a niños, jóvenes y público en general de Ciudad Juárez. El *Péndulo de Foucault* es considerado uno de los diez experimentos más bellos en la historia de la Física, ejecutado por primera vez por el físico francés León Foucault en 1851, para mostrar experimentalmente y por primera vez que el planeta Tierra está girando sobre su eje. El presente proyecto fue desarrollado por estudiantes y profesores de UACJ, financiado principalmente, en un 85% por el Instituto de Innovación y Competitividad del Estado de Chihuahua, financiado en menor grado, en un 15%, por la Sociedad Americana de Estudiantes de Física y es exhibido, conservado y operado por el Museo Interactivo de La Rodadora de Ciudad Juárez. Es importante mencionar que el proyecto ganó en 2019 en Estados Unidos, un reconocimiento por parte de la Sociedad Americana de Estudiantes de Física. Actualmente el proyecto está completamente funcional y exhibido dentro del Museo Interactivo de La Rodadora desde el 24 de septiembre del 2021, y a pesar de la contingencia sanitaria, cada semana es visitado por aproximadamente 1800 personas. Vistas generales del *Péndulo de Foucault* se muestran en Fig. 1 y Fig. 2. Ver Anexo para detalles más específicos de un *Péndulo de Foucault*.



Fig. 1. Vista general del Péndulo de Foucault dentro del área de Paleontología de la Rodadora.



Fig. 2. Vista del *Péndulo de Foucault* junto con testigos tipo “colmillos” que dan evidencia de la rotación de la Tierra.



- **Las actividades específicas realizadas.** Se indican a continuación todas las actividades realizadas en el proyecto en orden cronológico, incluyendo aquellas que originaron el proyecto y que anteceden al apoyo económico del Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua. Esta sección se complementa con la información mostrada en los anexos al final del presente documento.

Periodo	Actividades
Oct 2018 a Dic 2018	Se plantea en UACJ la idea de construir un <i>Péndulo de Foucault</i> para Ciudad Juárez, Chihuahua. Se elabora un pre-proyecto al respecto por parte de los estudiantes Julio López Ibarra, Fernando Daniel Hidalgo García, Raúl Quiñones Cuellar, Gabriel Murguía Morales y los profesores Sergio Flores García y Abdiel Ramírez Reyes, todos ellos miembros del Programa de Ingeniería Física de la UACJ (equipo UACJ). El pre-proyecto tiene por objetivo principal que el <i>Péndulo de Foucault</i> sea exhibido en un lugar público para que sea accesible para el mayor número posible de niños y jóvenes, y así transmitirles cultura científica y despertar vocaciones científicas o tecnológicas.
Dic 2018	El pre-proyecto de la construcción de un <i>Péndulo de Foucault</i> , al ser considerado un buen proyecto de ciencias para Ciudad Juárez por parte de los autores, se somete a un concurso ante la Sociedad Americana de Estudiantes de Física (Society of Physics Students o SPS por sus siglas en inglés), sociedad miembro del prestigioso Instituto Americano de Física. Se realizan los trámites administrativos correspondientes para el concurso por parte de los autores (pagos de membresías, llenado de formatos, redacción del pre-proyecto en inglés, etc.). Es importante mencionar que la Sociedad Americana de Estudiantes de Física (SPS en lo subsecuente), año con año convoca



	<p>a estudiantes universitarios de física de todo el mundo a someter proyectos de física al concurso que dicha sociedad organiza, y apoya económicamente a las mejores pre-propuestas de proyectos.</p>
Ene 2019	<p>La Sociedad Americana de Estudiantes de Física, selecciona y reconoce por primera vez a un equipo mexicano: el proyecto del <i>Péndulo de Foucault</i> de UACJ. El pre-proyecto de UACJ es premiado por casi \$40,000 pesos mexicanos para que sea construido en parte, dado que hay elementos o procedimientos en este tipo de proyecto que son de manufactura complicada o costosa. Ver Fig. 3.</p> <div data-bbox="597 814 1295 1270" data-label="Image"></div> <div data-bbox="699 1304 1175 1453" data-label="Image"></div> <p>Fig. 3. Equipo inicial UACJ que obtiene el reconocimiento de la SPS por el proyecto Péndulo de Foucault.</p>
Feb 2019	<p>El equipo de la UACJ se reorganiza y se establece una estrategia más específica para el desarrollo del proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>, donde destacan los siguientes puntos:</p>



	<ul style="list-style-type: none">a. El equipo UACJ propone formalmente al <i>Espacio Interactivo La Rodadora</i> (La Rodadora en lo subsecuente) exhibir el proyecto por desarrollar, dado que este lugar es el ideal dentro de Ciudad Juárez para el proyecto.b. El equipo UACJ establece conveniente dividir el proyecto en dos partes: la primera parte que concierne a la manufactura del <i>Péndulo de Foucault</i> (una esfera de 60 kg, con características y manufactura especializada) cuyos costos son apenas cubiertos por el apoyo económico de la SPS y una segunda parte que concierne a un concepto artístico-museográfico que complemente al péndulo tal que permita obtener una exhibición apropiada y decorosa.c. El equipo de UACJ inicia una búsqueda de apoyo económico sustancial que permita la elaboración de todo el proyecto.d. El equipo de UACJ propone a colegas del programa de <i>Diseño Industrial del Instituto de Arquitectura, Diseño y Arte</i> (IADA en lo subsecuente) que desarrollen un concepto artístico/museográfico apropiado y decoroso para el proyecto, acorde a los requerimientos del equipo UACJ, compatibles con los requerimientos dentro del espacio La Rodadora.
Mar 2019	La Rodadora acepta oficialmente asignar un espacio, aún por definir, dentro de sus instalaciones, que permita exhibir el proyecto <i>Péndulo de Foucault</i> en elaboración. Tentativamente se propone el área de Paleontología, debido a los requerimientos técnicos de una gran altura para el colgar el Péndulo. Ver Fig. 4.



Fig. 4. Espacio tentativo para colocar el *Péndulo de Foucault*. Ubicado dentro de Paleontología de la Rodadora (posee la altura para sostener el péndulo).

El equipo de UACJ inicia la construcción de un prototipo de *Péndulo de Foucault* que permita definir experimentalmente los parámetros físicos del péndulo final. Ver Fig. 5.

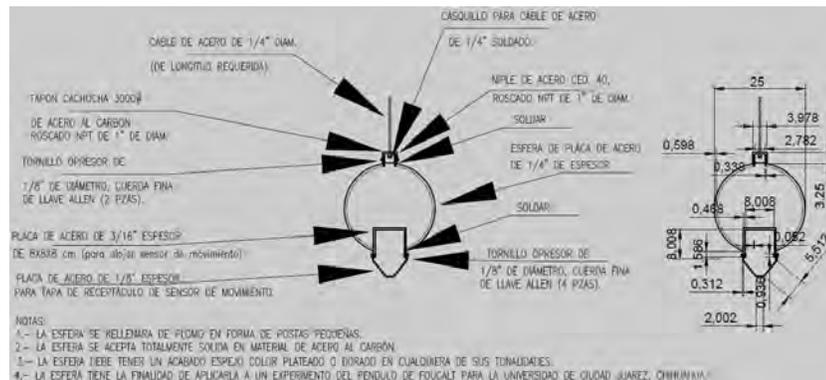


Fig. 5. Detalles técnicos y render preliminar de la esfera de que formará parte del péndulo, exterior de acero A-36 e interior de Plomo.



Abr 2019	<p>Colegas del <i>Programa de Diseño Industrial</i> de IADA se comprometen a apoyar al equipo UACJ en proponer diseños artísticos-museográficos para el <i>Péndulo de Foucault</i>, de los cuales se escogerá el más viable para el proyecto. El equipo de IADA es organizado por el Mtro. Sergio Villalobos Saldaña junto con varios estudiantes.</p>
May 2019	<p>Se busca apoyo económico para el proyecto con CONACYT mediante la "<i>Convocatoria para Proyectos de Apropiación Social del Conocimiento de las Humanidades, Ciencias y Tecnologías 2019</i>", sin embargo, el apoyo solicitado (solicitud número 0000298608) no fue autorizado lo cual se da a conocer en julio de 2012.</p> <p>Se busca apoyo económico para el proyecto con el Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua (I2C en lo subsecuente) mediante el apoyo del departamento de Vinculación-UACJ. Se obtiene una respuesta positiva no oficial en el verano del 2019.</p>
Jun 2019	<p>Colegas del <i>Programa de Diseño Industrial</i> de IADA entregan al equipo UACJ diversas propuestas de diseños artísticos-museográficos para el <i>Péndulo de Foucault</i>, de los cuales se escoge el más viable para el proyecto, propuesto principalmente por Adrián Alonso Menchaca Martínez, quien además inicia su proyecto de tesis con dicho proyecto para adecuaciones y mejoras del proyecto. Ver Fig. 6</p>

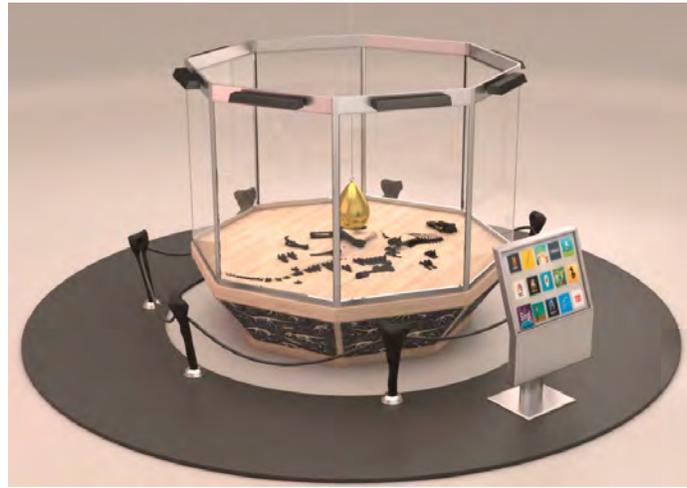


Fig. 6. Algunos diseños preliminares para el *Péndulo de Foucault* propuesto por IADA-UACJ.

Respecto al apoyo solicitado por parte del equipo UACJ al I2C, se obtiene una respuesta positiva no oficial de apoyo económico en el verano del 2019. El I2C solicita al equipo UACJ presentar cotizaciones formales de todo lo requerido para el proyecto *Péndulo de Foucault*. Se presentan cotizaciones, sin embargo, hay dificultades por parte del equipo de UACJ para conseguir las adecuadas cotizaciones con los requerimientos administrativos solicitados.



El equipo UACJ elabora un prototipo del péndulo vía impresión 3D, plomo y cemento y con esto realiza pruebas preliminares dentro de UACJ obteniendo resultados alentadores y estableciendo parámetros técnicos necesarios para el péndulo final. Ver Fig. 7 y 8.



Fig. 7. Elaboración de prototipo de un péndulo a escala 3:1 mediante impresión 3D, plomo y cemento, masa de 12 kg y diámetro de 20 cm.



Fig. 8. Realización de pruebas dentro de UACJ con el prototipo realizado. Se mide y caracteriza el movimiento de rotación de la Tierra.

Jul 2019

Periodo vacacional.

Ago 2019

El equipo de UACJ, con resultados experimentales del prototipo previamente elaborado del *Péndulo de Foucault*, se procede al diseño final y la manufactura de la esfera del péndulo, así como su cromado el cual es de tipo automotriz (sustrato de cobre y cromo para toda la superficie). Adicionalmente se diseña y manufactura en impresión 3D la “punta” del péndulo que tiene la función específica de derribar los “testigos” (parte del concepto artístico), ver Fig. 9, 10 y 11.

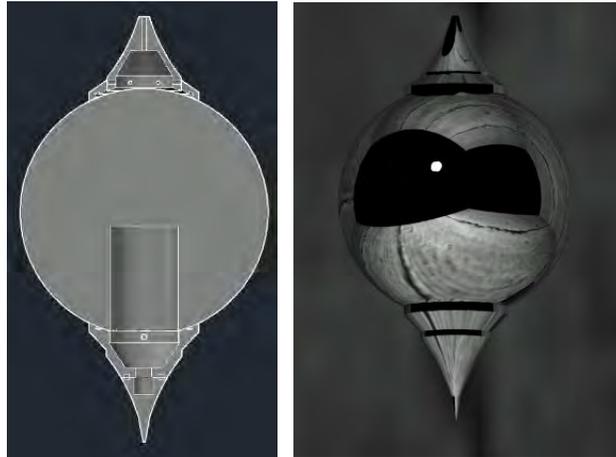
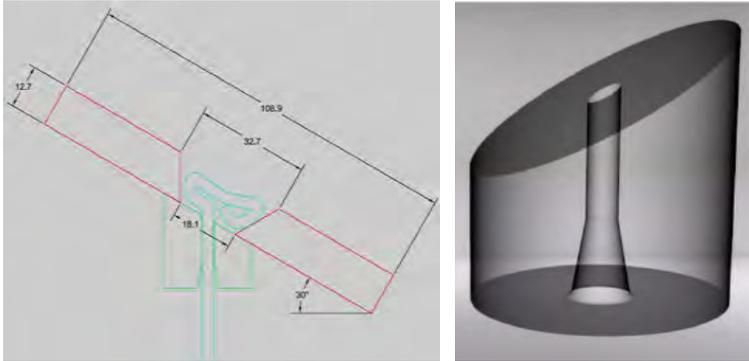


Fig. 9. Diseño final del péndulo.



Fig. 10. Plomo interno del péndulo. Se muestra preliminares de fabricación de esferas de Plomo y esferas de 2 mm de diámetro utilizadas.

	 <p>Fig. 11. Diseño final de punta del péndulo. La punta derriba los testigos y aloja el sensor de movimiento y su fuente de poder.</p>
<p>Sep 2019</p>	<p>El equipo de UACJ, con apoyo del Departamento de Vinculación de la UACJ, en conjunto con el Instituto de Innovación y Competitividad (I2C) y el Espacio Interactivo La Rodadora deciden realizar formalmente un convenio de colaboración en el que se establezcan los compromisos por las tres entidades participantes respecto al proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>.</p>
<p>Oct 2019</p>	<p>El equipo UACJ diseña un soporte preliminar para el péndulo, capaz de acoplarse a un punto en el domo del área de paleontología y el diseño considera la minimización de fricción mediante una curvatura en el pivote de salida del cable de acero. Ver Fig. 12.</p>  <p>Fig. 12. Diseño preliminar del soporte del péndulo. Primero se muestra un corte y después el pivote de salida del cable de acero.</p>



Nov 2019	El equipo UACJ inicia la redacción de un reporte técnico de los aspectos físicos del proyecto que será entregado a la SPS, de acuerdo con los lineamientos establecidos al principio del proyecto.
Dic 2019	<p>El equipo de la UACJ concluye la construcción del péndulo, una esfera de acero con cromado automotriz de masa 6.5 kg, cuyo contenido es de miles de diminutas esferas de plomo de aproximadamente 2 mm de diámetro cuya masa es de 53.5 kg, por lo que la masa total del péndulo es de 60 kg y posee un diámetro de 25 cm. Es importante mencionar que el péndulo, a diferencia de los que existen, es desmontable y desarmable lo que facilita su instalación, modificación de masa y mantenimiento. Cuenta con un diseño completamente único, original y estético.</p> <div data-bbox="625 909 1305 1325"></div> <div data-bbox="537 1341 1360 1726"></div> <p data-bbox="618 1745 1279 1774">Fig. 13. <i>Péndulo de Foucault</i> terminado y equipo UACJ.</p>

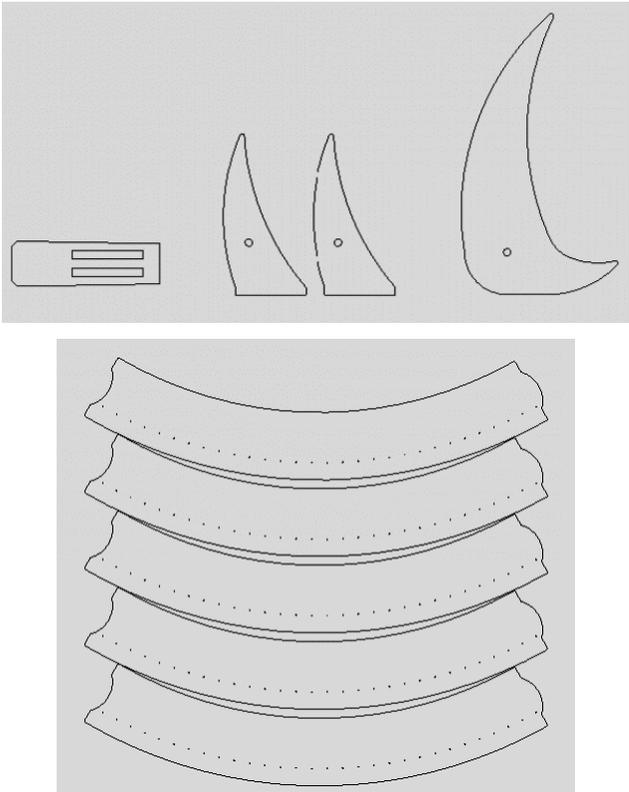


	<p>El equipo de la UACJ termina un reporte técnico de la construcción del <i>Péndulo de Foucault</i> y los avances del proyecto, lo entrega a la SPS, lo que permite la conclusión con el compromiso adquirido ante la SPS. Queda pendiente la construcción de concepto artístico-museográfico en torno al péndulo.</p>
Ene 2020	<p>La SPS libera oficialmente a los autores del proyecto del proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>.</p>
Feb 2020	<p>El equipo UACJ y el equipo de La Rodadora sostienen una reunión sobre los avances del proyecto. La Rodadora reafirma la aceptación del proyecto dentro de sus instalaciones. Se tratan en la reunión los detalles sobre el concepto artístico-museográfico del <i>Péndulo de Foucault</i>, quedando aún pendiente el lugar definitivo donde se colocaría el proyecto dentro del área de Paleontología, ver Fig. 14.</p> <div data-bbox="565 1108 1333 1688"></div> <p>Fig. 14. Equipo UACJ y Rodadora. Fotografía posterior a una reunión de trabajo en el área de paleontología.</p>

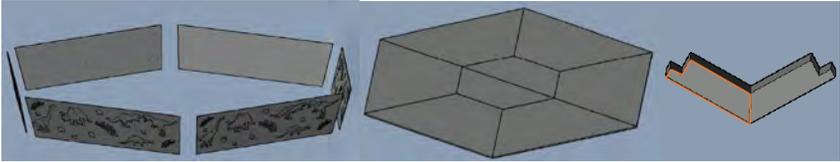


	<p>El equipo UACJ publica el artículo “<i>Building a “Prehistoric” Pendulum to Promote Curiosity</i>” en la revista estadounidense de la SPS, disponible en:</p> <p>https://www.spsnational.org/the-sps-observer/winter/2020/building-%E2%80%9Cprehistoric%E2%80%9D-pendulum-promote-curiosity.</p> <p>— BUILDING BLOCKS The Future of Physics —</p> <h2>Building a “Prehistoric” Pendulum to Promote Curiosity</h2> <p>by Julio López Ibarra, Fernando Daniel Hidalgo, Raúl Quiñones Quellar, Gabriel Murguía Morales, Adrian Menchaca Martínez, Dr. Abdiel Ramírez-Reyes, and Dr. Sergio Flores, SPS Members at Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, with Kendra Redmond, Editor</p> <p>Elementary school students are told that the Earth rotates on its axis. However, internalizing information like this requires a conceptual understanding. We believe that physical demonstrations, such as Foucault pendulums, can help people develop cognitive processes that will help them better interpret and understand information.</p> <p>The SPS chapter at the Universidad Autónoma de Ciudad Juárez received a 2019 SPS Chapter Research Award to design and construct a Foucault pendulum with trajectory-tracking sensors and a data display. Our goal is to develop this pendulum for our local science museum, La Rodadora. This will help raise scientific curiosity in the Juárez community and generate data to analyze in physics classes.</p> 
Mar 2020	Se suspenden actividades por contingencia sanitaria.
Abr 2020	Se inicia trabajo de redacción del convenio por parte de I2C, La Rodadora y UACJ.
May 2020	Por parte de UACJ se inicia la tesis “ <i>Diseño e implementación de un Péndulo de Foucault para el espacio interactivo La Rodadora</i> ” por parte del estudiante Adrián Alonso Menchaca Martínez, estudiante de IADA, para diseñar el concepto artístico-museográfico final del proyecto. Dicho diseño será el que será manufacturado e instalado en La Rodadora.



Jun 2020	<p>El equipo UACJ realiza el diseño correspondiente a los <i>testigos</i>, los cuales son piezas mecánicas que registrarán el paso del péndulo cuando este oscile y que permiten hacer evidente la rotación terrestre. Tales testigos son el resultado de trabajo previo al respecto en conjunción con el concepto artístico-museográfico, lo que concluyó en estructuras que hacen alusión a las garras y/o colmillos de dinosaurios, ver Fig. 15. Estos diseños tienen características físicas muy especiales que las hacen únicas para el propósito que tienen, resultando en 900 piezas de acrílico cortadas mediante láser.</p>  <p>Fig. 15. Diseños de testigos en forma de colmillos (no ensamblados). Se consideran 180 juegos, elaborados en acrílico de 6 mm con cortes laser.</p>
Jul 2020	Periodo vacacional.



Ago 2020	<p>Por parte del equipo UACJ, se inicia la tesis “Dinámica de Lagrange y Newtoniana un Péndulo de Foucault bajo condiciones reales” por parte del estudiante Gabriel Murgia Morales, miembro del equipo UACJ, para estudiar la física de un <i>Péndulo de Foucault</i> real desde un formalismo físico estricto, los resultados de la presente tesis complementan sólidamente los estudios previos sobre el presente péndulo. Nota: por cuestiones desconocidas, el estudiante de dicha tesis abandona el proyecto durante el 2020 y 2021, dejando pendientes varias actividades importantes que le correspondían dentro del equipo UACJ, lo cual ocasiona retrasos dentro del equipo y que afectan el tiempo de entrega del presente reporte técnico.</p>
Sep 2020	<p>El equipo UACJ realiza el <i>despiece</i> correspondiente a la estructura del conceto artístico-museográfico, requeridos para la cotización y fabricación de la plataforma hexagonal del <i>Péndulo de Foucault</i>, pieza clave y de manufactura de alta especialidad. Se definen las características y requerimientos técnicos de la fabricación de la mencionada plataforma, ver Fig. 16.</p>  <p>Fig. 16. Imágenes representativas del despiece de la plataforma hexagonal. En total se genera documento técnico de despiece de 30 hojas con medidas de todas las partes que integran la plataforma.</p>
Oct 2020	<p>El Instituto de Innovación y Competitividad del Estado de Chihuahua, el Espacio Interactivo de La Rodadora y La UACJ firman un convenio sobre el Proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>. En tal convenio de</p>



	<p>colaboración se establecen los compromisos por las tres entidades participantes respecto al proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>.</p> <p>El equipo UACJ realiza diseños preliminares sobre los mecanismos y/o procedimientos que permitan dar inicio al movimiento oscilatorio del péndulo durante su operación. Sin embargo, no se concreta ninguna de las propuestas debido a que es necesario una interacción directa con el péndulo ya instalado (lo cual no sucede aún).</p>
Nov 2020	<p>Se concluye la tesis “<i>Diseño e implementación de un Péndulo de Foucault para el espacio interactivo La Rodadora</i>” por parte del estudiante de IADA-UACJ, Adrián Alonso Menchaca Martínez, y principal diseñador del concepto artístico-museográfico. Dicho diseño será el final para ser manufacturado e instalado en La Rodadora, ver Fig. 17.</p> 



Fig. 17. Proyecto final del Péndulo de Foucault desarrollado por Arturo Alonso Menchaca Martínez.

El I2C transfiere a UACJ el recurso económico establecido en el convenio para la ejecución final total del proyecto Péndulo de Foucault.

Dic 2020	El equipo UACJ solicita los recursos económicos al área correspondiente de UACJ, sin embargo, por el calendario laboral de UACJ, el trámite se emplaza hasta enero del 2021.
Ene 2021	<p>El equipo UACJ solicita nuevamente los recursos económicos; el área correspondiente de UACJ menciona en lo general los requerimientos administrativos para ejercer el recurso.</p> <p>El equipo UACJ propone cotizaciones del proveedor ESCALA como proveedor único para que maneje de manera integral todos los componentes del proyecto. Lo anterior es debido a que es la mejor manera de ejecutar el proyecto, también debido a los altos costos por parte de algunos proveedores locales, o a la ausencia de proveedores especializados en los requerimientos de la elaboración del concepto artístico-museográfico y técnico requerido para el proyecto.</p>



Feb 2021	No se autoriza al proveedor ESCALA para ejecutar el proyecto. Se informa al equipo UACJ los requerimientos específicos que los proveedores deben cumplir, pero identificar proveedores adecuados es difícil para el equipo UACJ, lo cual dificulta y retrasa demasiado la ejecución del proyecto.
Mar 2021	<p>El I2C amablemente da una prórroga al equipo UACJ de 3 meses para culminar el proyecto. El equipo de UACJ continúa la búsqueda de los proveedores indicados; se identifican algunos y se inicia la recolección de documentación requerida para proceder al largo proceso de formalización de compra.</p> <p>El equipo de UACJ solicita la elaboración del soporte del péndulo, lo cual es una pieza y procedimiento clave en el proyecto. Esto se realiza mediante la empresa ERGOGRÁFICO.</p>
Abr 2021	Finalmente, el equipo UACJ logra conseguir las cotizaciones con los requerimientos administrativos internos de UACJ y con los requerimientos técnicos requeridos para el proyecto. Nota: el equipo UACJ no tiene referencias previas con los proveedores, solo las referencias de otras empresas-clientes que los mismos proveedores entregan.
May 2021	El equipo UACJ continúa con el proceso administrativo de compra con los proveedores identificados.



Jun 2021	<p>El 16 de junio La Rodadora asigna el espacio definitivo para el proyecto Péndulo de Foucault, lo cual permite al equipo UACJ y proveedores avanzar con la manufactura del proyecto. La razón de la tardanza en esta decisión es que existió la posibilidad de adicionar un recurso extra al presente proyecto, relacionado con la posición del proyecto en el centro del domo dentro del área de paleontología de la Rodadora, sin embargo, no se dieron las circunstancias.</p> <p>A finales de junio, La Rodadora termina la elaboración de la obra civil requerida para el proyecto; esta consistió en una plancha de concreto sólido de forma hexagonal de 5 cm de espesor que funciona de soporte para el <i>Péndulo de Foucault</i>.</p> <p>El equipo UACJ y proveedores se coordinan en la manufactura, instalación o compras de los elementos que a continuación se listan:</p> <ul style="list-style-type: none">• Elaboración de plataforma hexagonal (Proveedor: Carpintería la Patrona)• Sensor de movimiento IMU (Proveedor: Escala)• Computadora de trabajo (Proveedor: Sinapsis)• Barandal de acero inoxidable (Proveedor: Ergográfico)• Soporte en domo para el péndulo (Proveedor: Ergográfico)• Ornamentación y testigos (Proveedor: Amapola) <p>Nota: Evidencia fotográfica del desarrollo correspondiente de los elementos mencionados se muestran en “Anexos” al final del presente documento.</p>
----------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------



El equipo UACJ entrega el reporte financiero a I2C en junio en tiempo.

El equipo UACJ junto con el proveedor Ergográfico, instalan el soporte para el péndulo junto con cable de acero, ver Fig. 18. Se utiliza un cable de acero cuya carga máxima es de 771 kg (<https://gimbelmexicana.com/gimbel/store/articulo/6429>).



Fig. 18. Instalación de soporte de péndulo. La imagen muestra al instalador del soporte. Actividad de alto riesgo por la altura de 20 m y la difícil movilidad, pero la instalación fue un éxito.



El equipo UACJ recibe sensor de movimiento de Escala y equipo de cómputo de Sinapsis necesarios para trabajar y para la adquisición de datos físicos, ver Fig. 19.



Fig. 19. Sensor de movimiento IMU y computadora. Permiten hacer un seguimiento en tiempo real de la trayectoria del péndulo.

Jul 2021

Carpintería la Patrona inicia el trabajo de carpintería correspondiente a la plataforma hexagonal, sin embargo, surgen múltiples situaciones técnicas y operativas negativas originadas por dicho proveedor que se detallan brevemente:



- a) los empleados de dicha empresa no siguen reglas de seguridad ni las medidas sanitarias de la contingencia dentro de La Rodadora,
- b) algunos de los empleados son centroamericanos ilegales que trabajan en precarias condiciones de seguridad,
- c) la propietaria legal de la empresa es otra persona que funge de prestanombre,
- d) el trabajo solicitado no cumplía las especificaciones solicitadas,
- e) la empresa es sumamente informal con nula ética profesional respecto al trabajo solicitado,
- f) la empresa utilizó algunos materiales de baja calidad,
- g) las lluvias atípicas e intensas de julio estropearon 80% del trabajo por lo que se volvió a realizar el trabajo,
- h) no entregó el proyecto a tiempo, etc.

Es importante aclarar que todos los detalles negativos mencionados fueron subsanados, corregidos y mejorados por parte del equipo UACJ, quedando al final una plataforma hexagonal que cumple con los requerimientos previamente establecidos, quedando únicamente como aspectos negativos el retraso del proyecto y detalles estéticos menores. El equipo UACJ invirtió recursos humanos, tiempo y recursos materiales para lograr la calidad del proyecto contrarrestando los aspectos negativos mencionados por parte de Carpintería La Patrona; no se procedió legalmente para no comprometer aún más los tiempos de entrega del proyecto. Las imágenes de la Fig. 20 muestran algunos detalles de la manufactura de la plataforma hexagonal de soporte, la cual es resistente al agua, de alta resistencia mecánica y ya cumple con los requerimientos necesarios y solicitados por el equipo UACJ y La Rodadora.



Fig. 20. Plataforma hexagonal del *Péndulo de Foucault*, previo a un recubrimiento de poliuretano de y película plástica (se aprecia el barandal hexagonal y estructura interna de plataforma).

El equipo UACJ junto con el proveedor Ergográfico, instalan el barandal de acero inoxidable sobre la plancha de concreto, ver Fig. 21. Se adicionó un soporte extra al del diseño por seguridad y para garantizar la resistencia mecánica del barandal y brindar así la máxima seguridad a los visitantes del *Péndulo de Foucault*...





Fig. 21. Instalación de barandal hexagonal inoxidable.

Ago 2021

El equipo UACJ junto con el proveedor Amapola, elaboraron toda la ornamentación gráfica del *Péndulo de Foucault*, ver Fig. 22. El retraso de Amapola se debe al retraso previo de Carpintería La Patrona.



Fig. 22. Elementos ornamentales del *Péndulo de Foucault*. Elaborado en acrílico. El círculo sobre la plataforma corresponde a 180 testigos.



El equipo de la UACJ instala de manera definitiva la esfera de acero y la rellena de Plomo para tener finalmente completo el *Péndulo de Foucault*. Ver Fig. 23.



Fig. 23. Instalación y llenado final del *Péndulo de Foucault*.

El equipo UACJ instala los *testigos* en forma de colmillos, ver Fig. 24.





Fig. 24. Instalación final de testigos del Péndulo de Foucault.

El equipo UACJ define e identifica la zona de seguridad para las oscilaciones del *Péndulo de Foucault*, es decir, **el péndulo debe oscilar dentro de un círculo de radio máximo de 1.20 metros**. Ver puntos blancos en Fig. 25.

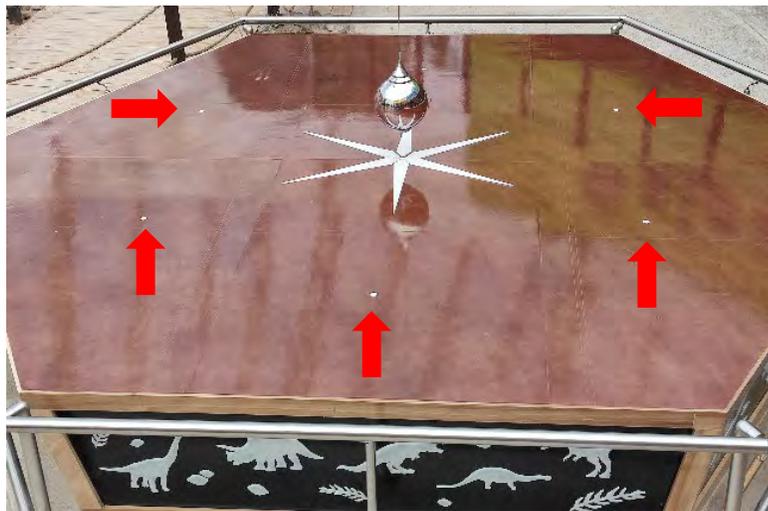


Fig. 25. Zona segura de oscilación del péndulo: corresponde a un círculo de radio de 1.25 metros definido por los puntos blancos.

El equipo UACJ y La Rodadora elaboran una *cédula museográfica* del proyecto, ver Fig. 26, que es colocada a un costado del *Péndulo de Foucault* dentro de la Rodadora.

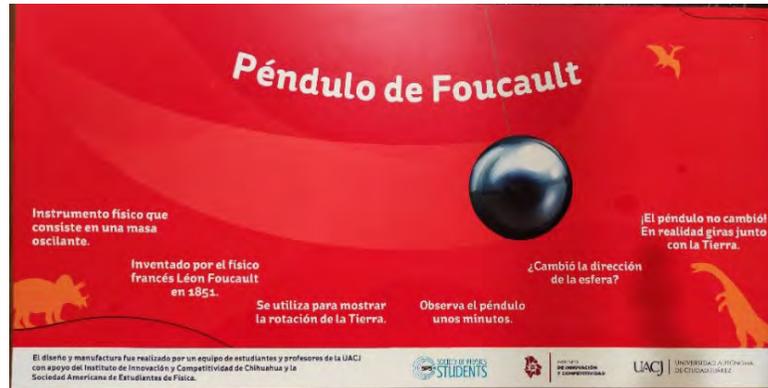


Fig. 26. Cédula museográfica del péndulo.

El equipo de la UACJ Realiza mediciones físicas del Péndulo, donde destacan los siguientes parámetros técnicos.

- Diámetro de la masa: 25 cm
- Masa de la esfera: 60 kg
- Longitud del cable de acero: 19 metros
- Número de testigos: 180
- Coordenadas del péndulo: latitud norte de 31.68969°
- Periodo de oscilación: 8.39 segundos
- Dirección de giro del plano de oscilación: horario
- Periodo del plano de oscilación: 46 horas
- Tiempo en derribar par de testigos: 18 min aprox.
- Tiempo que dura oscilando el péndulo: 2 horas aprox.
- Materiales: Núcleo de plomo, cascarón de acero de 3.2 mm con cromado automotriz.
- Punta en impresión 3D de PLA con punta ajustable de resorte.
- Centro de masa 2 cm sobre el centro geométrico de la esfera.



Sep 2021

El equipo UACJ construye bastones para la manipulación del péndulo que permitan iniciar el movimiento oscilatorio de este (empujar o detener el péndulo). Estos bastones, también llamados “bastón de empuje” permiten la operación de dicha exhibición de manera segura fácil, Ver Fig. 27.



Fig. 27. Bastón de operación del péndulo o bastón de empuje. En un extremo es un gancho para jalar el péndulo y en otro extremo es una pieza recubierta de neopreno para empujar el péndulo.



El equipo UACJ elabora diversas puntas para el péndulo que sirvan de repuesto por alguna contingencia. A la punta del péndulo se le acopla un resorte que facilite un impacto suave del péndulo con los testigos, ver Fig. 28.



Fig. 28. Dos puntas para el péndulo, el resorte de impacto con los testigos es ajustable en altura, se acoplan magnéticamente a la esfera mediante imanes de neodimio.

Toda la cubierta de la plataforma fue cubierta con película plástica especial para la intemperie de tipo Vinil (Vinil transparente OraJet® y laminador Oroguard®). Esto con la finalidad de dar protección adicional a la plataforma contra el agua principalmente. Ver figura 29.



Fig. 29. Película plástica para reforzar la resistencia al agua a la plataforma y aumentar el tiempo de vida de la plataforma; se observa la impermeabilidad de la cubierta ante la presencia de agua de lluvia.

Finalmente, una vez que la contingencia sanitaria cedió un poco en la ciudad, la Rodadora reabre sus puertas al público el día 24 de septiembre del 2021, aunque solo los viernes, sábado y domingo y bajo restricciones sanitarias, ver Fig. 30.



Fig. 30. Día de la apertura y presentación del Péndulo de Foucault en La Rodadora para Ciudad Juárez.



El equipo UACJ continúa con la redacción de los reportes finales para el I2C, UACJ y SPS, así como lo relacionado a los productos relacionados al proyecto.

Los primeros visitantes de la exhibición del *Péndulo de Foucault* se muestran en la Fig. 31.



Fig. 31. Primeros visitantes de la exhibición del *Péndulo de Foucault*.



- **Resultados obtenidos.**

Se diseña, construye y exterioriza a una exhibición de naturaleza científica que es completamente original sobre el experimento físico denominado *Péndulo de Foucault*, mismo nombre que lleva el presente proyecto. Dicho proyecto tiene reconocimiento internacional por parte de la Sociedad Americana de Estudiantes de Física (SPS), quien reconoció durante el 2019 dicha propuesta proveniente de estudiantes y profesores de UACJ. Desde el 24 de septiembre del 2021, el *Péndulo de Foucault* es exhibido a los juarenses por medio del espacio de La Rodadora y es una de las nuevas atracciones que dicho espacio presenta y que enriquece las exhibiciones de naturaleza científica ya muy demandadas por el público que visita el espacio de La Rodadora.

Este proyecto es un referente importante en Ciudad Juárez y el país porque es el resultado de una idea que nace en por el talento y creatividad de estudiantes y académicos, quienes logran vincularse exitosamente con un espacio de relevancia para Ciudad Juárez, La Rodadora, y sobre todo se logra el apoyo económico por parte del Instituto de Innovación y Competitividad del Estado de Chihuahua para culminar exitosamente el proyecto *Péndulo de Foucault*. Todo esto con un objetivo muy loable: el transmitir conocimiento y cultura científica a niños, jóvenes y público en general de Ciudad Juárez que visite el Espacio de La Rodadora, el cual es el lugar idóneo para mostrar dicha exhibición a un máximo de personas. Es importante mencionar que la gran mayoría de las exhibiciones museográficas de ciencias o de tecnología que hay en el país son compradas o alquiladas al extranjero a costos muy elevados; el *Péndulo de Foucault* es ideado y materializado por juarenses comprometidos con el desarrollo de cultura científica en esta ciudad.



La exhibición *Péndulo de Foucault* se exhibe en el área de Paleontología del espacio de La Rodadora debido a que este espacio cuenta con la altura requerida para colgar el péndulo, sin embargo, el *Péndulo de Foucault* lleva todo un concepto artístico-museográfico que permite su integración al espacio en el área de Paleontología. Se está por solicitar el registro correspondiente ante Indautor, vía UACJ, para reconocer y proteger el diseño artístico realizado para este proyecto. Adicional al aspecto artístico, destaca el desarrollo de nuevas formas y procedimientos de la construcción de péndulos de Foucault que difieren o mejoran a las formas tradicionales de elaborarlos (el péndulo propuesto es desmontable, no utiliza fundición de plomo, sino plomo granular con el que se rellena, es ajustable en masa y longitud debido al acoplamiento especialmente diseñado).

Los avances, notas técnicas y noticias referentes al proyecto fueron publicadas en los medios locales de comunicación y en dos sitios estadounidenses especializados en este tipo de proyectos. Estas publicaciones se resumen en la Tabla I.

Tabla I. Medios donde se publicaron notas del Proyecto <i>Péndulo de Foucault</i>	
Título de la publicación	Nombre de quien publica
"Building a "Prehistoric" Pendulum to Promote Curiosity"	Revista estadounidense de la SPS
"Foucault Pendulum"	SPS Chapter Research Award Final Report
"Crean Péndulo de Foucault en la era digital"	Gaceta UACJ
"Se reactiva La Rodadora"	Periódico el Diario de Ciudad Juárez
"Físicos de UACJ, primer equipo mexicano en ganar los SPS Awards; atraen inversión a La Rodadora"	Diario Difusión Norte



Adicionalmente se generaron tres tesis y prácticas del área de física para ser realizadas por futuros estudiantes de ingeniería física. Se pretende próximamente iniciar el registro ante INDAUTOR del diseño museográfico del proyecto. Es también de destacar el apoyo en lo económico del Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua, así como el de La Rodadora para alojar y mantener el proyecto.

- **Indicadores.**

Desde la apertura el 24 de septiembre hasta noviembre de este 2021, la Rodadora abre solo viernes, sábado y domingo por la contingencia, en promedio la Rodadora recibe 1800 visitantes durante esos tres días y todos los visitantes acceden al *Péndulo de Foucault* por ser una de las primeras exhibiciones dentro de La Rodadora. Por lo que han atendido a **18,000 personas de todas las edades** hasta el mes de noviembre del 2021, dichas personas se les induce el gusto por el mundo del conocimiento, específicamente por la física, lo que alienta a una vocación científico o tecnológico. Es importante aclarar que todo visitante de La Rodadora visita el *Péndulo de Foucault*, y esto será así por varios años más por lo que el impacto del proyecto es y será realmente considerable. El tipo de visitantes está compuesto por familias y jóvenes principalmente y aunque las visitas escolares son escasas por la pandemia, se espera que en un futuro próximo estas aumenten considerablemente. Adicionalmente se prevé que en medida que disminuya la pandemia, el espacio de La Rodadora abra completamente durante la semana y aumente el número de visitantes en un futuro próximo. De esta manera se impacta positivamente en el combate al analfabetismo científico en la



población de Ciudad Juárez, dado que el Espacio de La Rodadora es un lugar de acceso a todo público.

El proyecto es resultado de la vinculación de 4 entidades: por parte del gobierno está el Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua, por parte de la académica esta la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, también la Asociación Civil del Espacio de la Rodadora y la Sociedad Americana de Estudiantes de Física, que es una organización académica de prestigio internacional. Algunas publicaciones relacionadas al proyecto se mencionaron en la Tabla 1, que son cinco, más tres tesis.

- **Contribuciones.**

De manera colateral, se está trabajando en la redacción de un modelo de utilidad para ser registrado antes el IMPI y en la redacción de la solicitud de registro en Indautor del concepto museográfico del proyecto del *Péndulo de Foucault*.

- **Conclusiones.**

Se presentó el desarrollo de un *Péndulo de Foucault*, mediante la colaboración de la Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, Instituto de Innovación y Competitividad de Chihuahua y el Espacio Interactivo de la Rodadora. Se da evidencia de características del péndulo, procesos de manufactura, instalación, operación y resultados obtenidos. El *Péndulo de Foucault* permite difundir conocimientos de ciencia, en particular Física para niños, jóvenes y público en general de Ciudad Juárez, y que permite mostrar experimentalmente que el planeta Tierra está girando sobre su eje. Es importante mencionar que el proyecto ganó en 2019 en Estados Unidos, un reconocimiento por parte de la Sociedad Americana de



Estudiantes de Física. Actualmente el proyecto está completamente funcional y exhibido dentro del Museo Interactivo de La Rodadora y hasta noviembre del 2021 ha sido exhibido a aproximadamente 18,000 personas de todas las edades hasta el mes de noviembre.

2. RECURSO OTORGADO.

\$ 235,241.64 m.n.

3. RESUMEN EJECUTIVO.

RESUMEN EJECUTIVO	
Evento	Péndulo de Foucault
Actividad	Exhibición Péndulo de Foucault
Fecha	24 de septiembre del 2021 en adelante
Hora	Horarios del Espacio de La Rodadora
Lugar	Espacio Interactivo de La Rodadora
Asistentes	18,000 hasta noviembre (7,200 personas por mes, considerando solo viernes, sábado y domingo)
% hombres	50%
% mujeres	50 %
Institución(es) participante(s) beneficiadas	Universidad Autónoma de Ciudad Juárez
Institución(es) participante(s) colaboradoras	Espacio Interactivo de La Rodadora Sociedad Americana de Estudiantes de Física (SPS)
Responsable de la actividad	Abdiel Ramírez Reyes y el resto del equipo del Péndulo de Foucault de UACJ son los principales creadores del proyecto.
Ejecutor	La exhibición del proyecto está a cargo del Espacio Interactivo de La Rodadora. Los integrantes del equipo del Péndulo de Foucault de UACJ a través de las empresas: Carpintería la Patrona, Escala, Sinapsis, Ergográfico y Amapola, todas ellas empresas registradas fueron quienes elaboraron el proyecto.



4. MEMORIA FOTOGRÁFICA.

Se presentan a continuación algunas de las fotos representativas del proyecto *Péndulo de Foucault*. Esa sección se complementa con los anexos, donde se da evidencia de los procesos de manufactura y con las imágenes presentadas en la sección “2. Actividades específicas desarrolladas”.



Fig. A. Vista general del Péndulo de Foucault dentro del área de Paleontología de la Rodadora.





Fig. B. Vista del *Péndulo de Foucault* junto con testigos tipo “colmillos” que dan evidencia de la rotación de la Tierra.



Fig. C. Vista general del *Péndulo de Foucault* dentro del Domo de Paleontología en La Rodadora.



Fig. D. Vista general del Péndulo de Foucault dentro en La Rodadora.

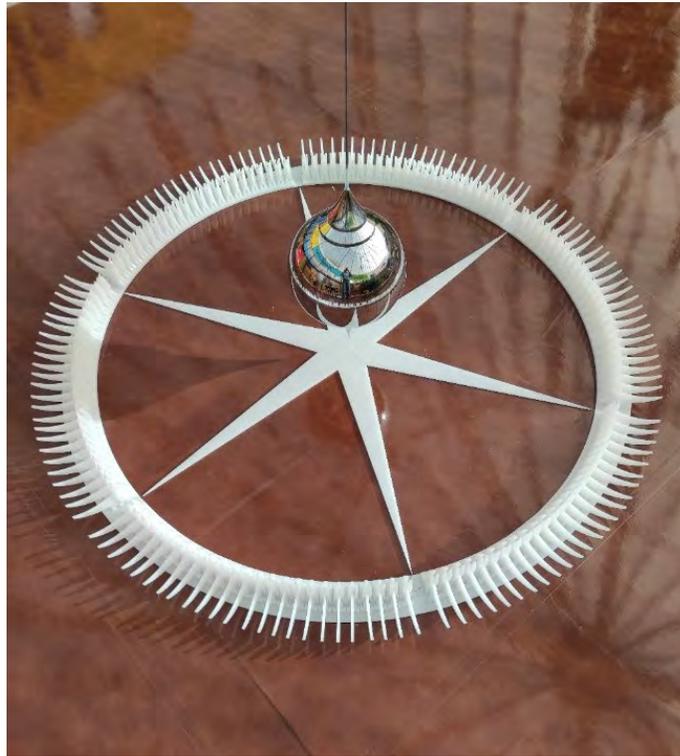


Fig. E. Vista superior de los testigos tipo “colmillos” que dan evidencia de la rotación de la Tierra y en el centro se aprecia la esfera del péndulo.



Fig. F. Vista general del *Péndulo de Foucault* dentro en La Rodadora.



Fig. G. Vista general del *Péndulo de Foucault* dentro en La Rodadora.



Fig. H. Vista lateral del *Péndulo de Foucault* dentro en La Rodadora.



Fig. I. Esfera cromada del *Péndulo de Foucault* e integrantes del equipo UACJ.



Fig. J. Equipo UACJ del *Péndulo de Foucault*.



Fig. K. Vista del *Péndulo de Foucault*.



Fig. L. Visitantes de la exhibición del *Péndulo de Foucault*.



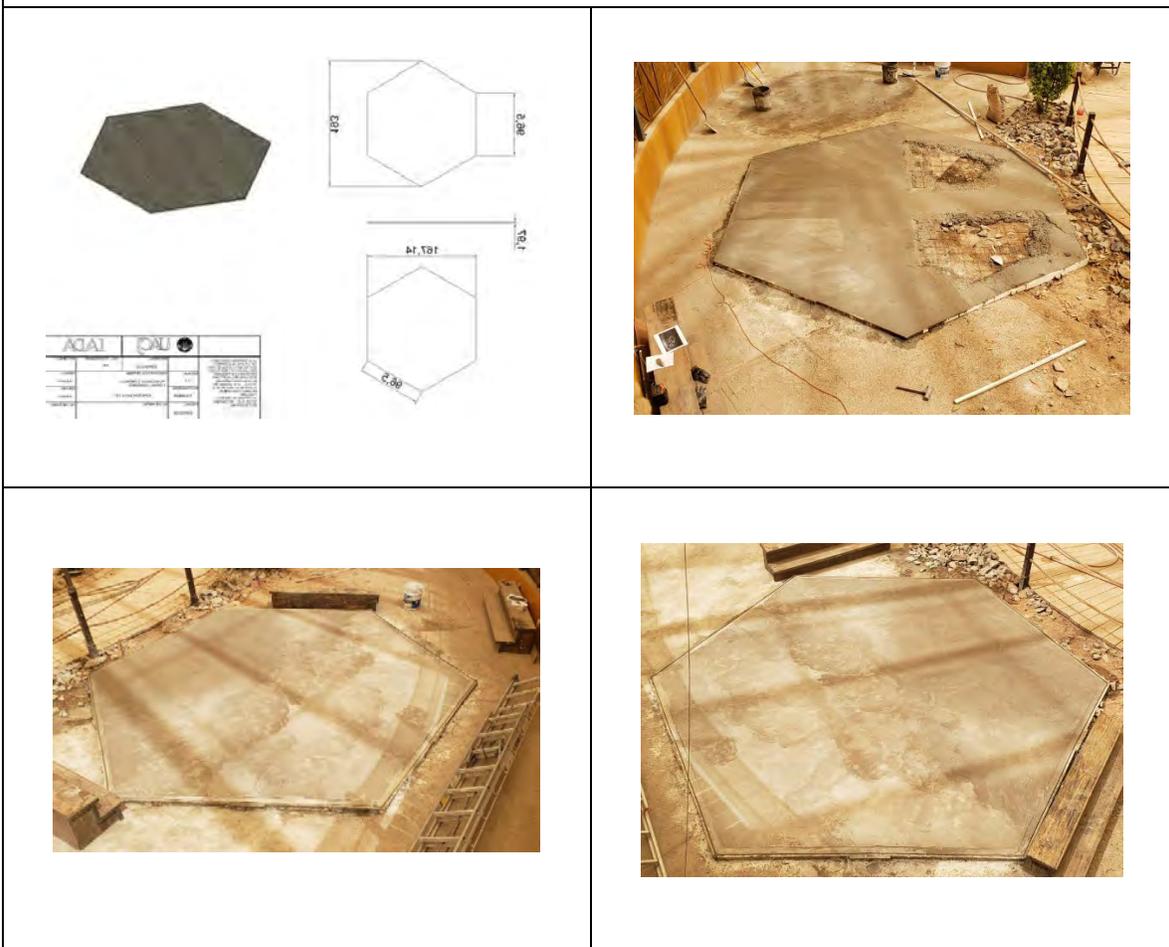
Fig. M. Visitantes de la exhibición del *Péndulo de Foucault*.



5. ANEXOS

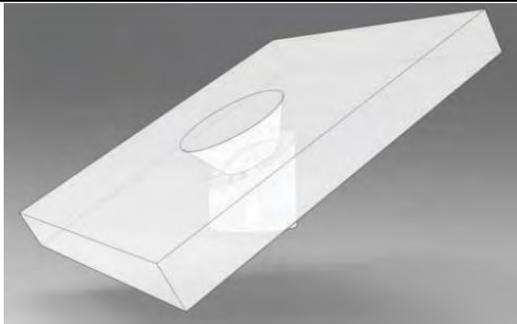
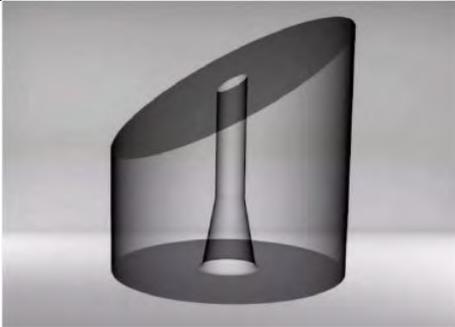
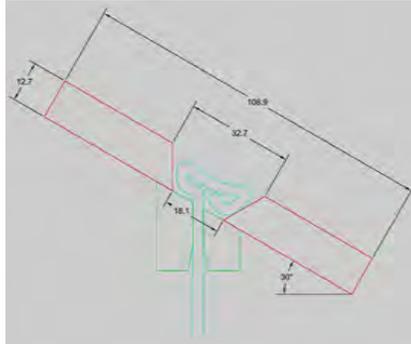
ANEXO A: Evidencia fotográfica de los procesos de construcción e instalación

Fabricación de PLANCHA HEXAGONAL DE CONCRETO (por La Rodadora)





Fabricación y colocación de SOPORTE PARA PÉNDULO con cable de acero

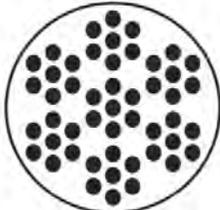




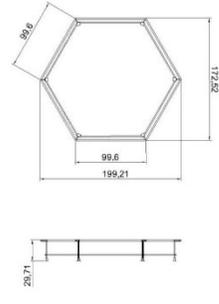
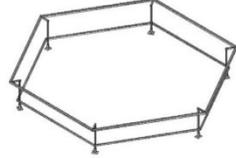




CODIGO	Medida (pulg)	(mm)	Resistencia Kg aprox
14CABLES102CH	1/8"	3.1	771




Fabricación y colocación de BARANDAL HEXAGONAL

SECCION	SECCION DE BARRIL
PROYECTO	PROYECTO "TRABAJO EXPERIMENTAL"
FECHA	14 DE MARZO
TIPO	TRABAJO









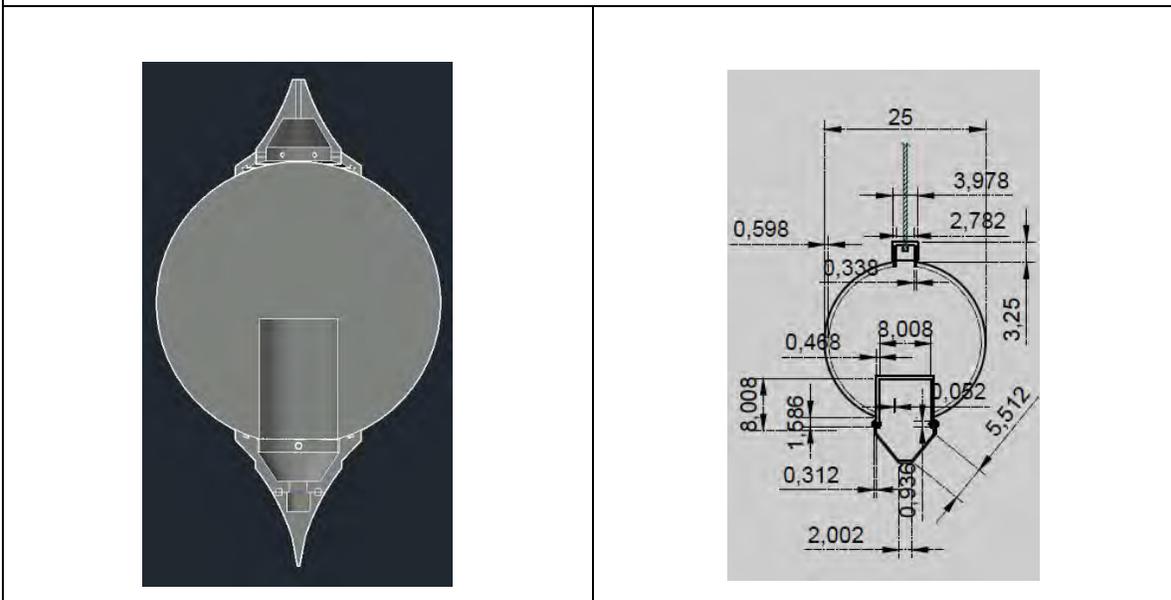
Fabricación y colocación de PLATAFORMA HEXAGONAL







Fabricación e instalación de ESFERA del péndulo





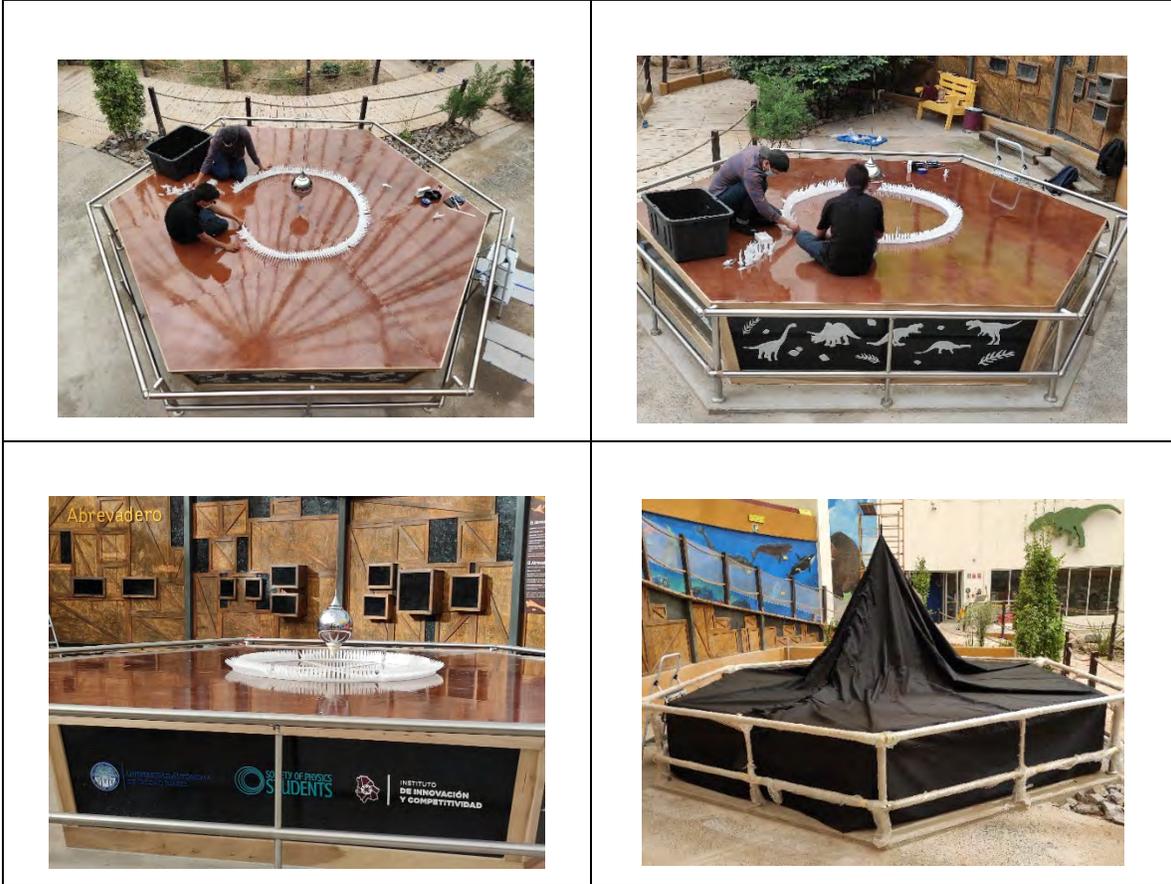




Fabricación y colocación de ORNAMENTACIÓN







ANEXO B: Recomendaciones de cuidado, mantenimiento, operación y de seguridad.

Recomendación de cuidado. Para prolongar la vida de la exhibición, es necesario mantener limpia tanto la plataforma hexagonal como la esfera; evitar la presencia de polvo, tierra, agua, arena, alimentos, líquidos o algún producto químico diferente al indicado para su limpieza, tampoco colocar objetos punzocortantes, abrasivos o pesados sobre la plataforma. En épocas de lluvia o nieve, se debe retirar la presencia de agua, lodo o hielo a la brevedad utilizando paños absorbentes. El piso circundante se debe mantener libre de polvo, lodo, agua o humedad. Sobre la plataforma no



deben encontrarse más de dos personas de manera simultánea, las cuales no deben utilizar calzado que pueda causar un daño en la superficie de la plataforma. El péndulo puede o debe ser limpiado con paños limpios y secos, que deben ser de algodón o microfibra, en caso de presencia de manchas propias de los agentes ambientales se puede utilizar Windex® para una limpieza más exhaustiva, verificando que siempre se retire adecuadamente el producto. Se recomienda el uso de guantes de látex de uso general de limpieza para evitar algún daño en la piel por algún componente de la exhibición.

Recomendación de mantenimiento:

Toda la plataforma superior de madera tipo triplay de ¾” acabado maple americano, con molduras de Álamo y está cubierta con pintura de poliuretano resistente al agua y rayos ultravioleta (Sayer: POLYLACK CRISTAL UB-200, catalizador UC-0200 y diluyente UD-200), por lo que cualquier mantenimiento a la madera deberá de ser por un carpintero profesional con materiales a los ya mencionados. Adicionalmente la plataforma tiene una cubierta de vinil doble (Vinil transparente OraJet® y laminador Oroguard®) que deberá de ser cambiada cada año o dependiendo el deterioro ambiental que esta tenga. Para remover el vinil aplicado en la plataforma, se recomienda utilizar el removedor de vinil Remux®, auxiliarse con una pistola de calor y seguir las instrucciones de tal producto. La esfera cromada en caso de presentar aparcamientos o rastros de oxido puede limpiarse con limpiavidrios Windex®, o las manchas más difíciles pueden ser retiradas con pulidor de metales, especial para cromo, de acuerdo con las instrucciones del producto; por ningún motivo se debe jalar, empujar o cargar la esfera de manera manual y mucho menos poner las manos o pies por debajo de la esfera que pesa 60 kg. En caso de que alguna pieza de acrílico se desprenda o rompa, puede ser reparado con pegamento de acrílico Weld-On®, de acuerdo con las



instrucciones del producto. Si una pieza de acrílico que es parte de la ornamentación se despega, esta puede ser pegada con cemento Liquid Nails Heavy Duty® o cemento de montaje resistente a la intemperie. Todas las uniones de la plataforma con el piso deben ser selladas con adhesivo transparente TotalTech® cada que se identifiquen pequeñas hendiduras o agujeros en la plataforma de madera. Se recomienda fuertemente, al menos una vez por año, revisar el punto de sujeción del cable de acero en la parte más alta del péndulo, en el domo del área de paleontología. Esta inspección debe ser visual, respaldada con evidencia fotográfica y verificar que el cable no tiene alguna evidencia de daño que comprometa una correcta sujeción, en caso de evidencia de algún deterioro, el cable debe ser sustituido a la brevedad por uno equivalente al utilizado (el cable utilizado, Karlen-Gimbel®, según sus especificaciones, tiene una carga máxima de 771 kg (<https://gimbelmexicana.com/gimbel/store/articulo/6429>), y se consideró también la tensión debido a la oscilación. Aun así, NUNCA se deben inducir oscilaciones que excedan una amplitud de 120 centímetros. NUNCA se debe inducir rotación en la esfera, y si se identifica rotación, esta debe ser detenida a la brevedad con el bastón de empuje. Como nota importante, se recomienda en un futuro no lejano explorar la posibilidad de mover esta exhibición a un área dentro de La Rodadora que lo proteja contra las inclemencias del tiempo que están presentes en el área de paleontología de La Rodadora; el área de ciencias podría ser una buena opción.

Recomendación de operación: La operación del Péndulo es sencilla, pero requiere de mucha responsabilidad y práctica por parte del operador. Para iniciar la exhibición, primero la esfera debe estar en completo reposo, y el operador debe verificar que los testigos están en una posición vertical y centrada, si no es el caso, el operador debe atender esto con la ayuda del bastón de empuje (nunca se debe subir a la plataforma). Posteriormente, con



ayuda del bastón de empuje, el operador debe desplazar cuidadosamente la esfera hacia un “punto blanco” indicado sobre la plataforma, este punto es de donde se liberará la esfera y apuntando siempre al centro de la plataforma (también señalado). Este procedimiento requiere de fuerza y práctica, y se debe cuidar de que la esfera no tenga movimientos laterales. El operador debe tener espacio a su alrededor para todo el procedimiento; no deben existir personas en su inmediatez. Finalmente, con la esfera sobre uno de los puntos blancos, se debe soltar rápidamente la esfera, sin inducir vibraciones o algún otro tipo de movimiento en la esfera. No se debe impulsar la esfera, ni inducir rotación en la esfera. El movimiento que debe presentar el péndulo debe ser sobre una línea recta, si esto no sucede, se puede repetir el proceso de soltar el péndulo. Pequeñas oscilaciones pueden ser toleradas, esto no cambia significativamente el fenómeno a mostrar. Todo el procedimiento se puede repetir cuantas veces sea necesario, aunque si no se cuenta con el personal necesario, se pueden programar un número pequeño de procesos de “liberación del péndulo” a lo largo de un día, por ejemplo, cada 4 horas.

Recomendación de seguridad. Los visitantes de la exhibición por ningún motivo deben traspasar el barandal hexagonal, ni intentar manipular la esfera en movimiento ni en reposo, tampoco deben de subir o trepar a la plataforma. Tampoco se deben de parar sobre el barandal hexagonal. El péndulo debe siempre de oscilar dentro de un círculo de radio máximo de 120 centímetros, para lo cual se han identificado puntos blancos de seguridad sobre la superficie de la plataforma de donde se debe soltar el péndulo para que inicie su movimiento oscilatorio. NUNCA se deben inducir oscilaciones que excedan una amplitud de 120 centímetros. NUNCA se debe inducir rotación en la esfera pues se compromete la resistencia del cable de acero. Con el apoyo del “bastón de empuje”, el operador debe limitar el movimiento del



péndulo, nunca con las manos. Cuando se realice limpieza o mantenimiento del péndulo, la esfera deberá de estar en perfecto reposo.

ANEXO C: Generalidades del *Péndulo de Foucault*.

Sobre la historia del *Péndulo de Foucault*

La invención del péndulo de Foucault fue la primera demostración experimental directa de que la Tierra está en rotación, que si bien era algo ya se sabía, pero que nadie había demostrado experimentalmente hasta entonces. León Foucault descubrió el principio del péndulo por casualidad: él trabajaba en su torno con una varilla metálica de aproximadamente un metro de largo, cuando por accidente la punta de la varilla comenzó a vibrar en una dirección. Al hacer girar el mandril que sujetaba la varilla, observó que la dirección de la vibración no cambiaba. Foucault dedujo que la oscilación de un péndulo también sería independiente del movimiento de rotación del punto de sujeción al techo, y lo comprobó el 6 de enero de 1851 en su laboratorio en el sótano de su casa, con una masa de 5 kg y un hilo de 2 metros de largo. El lento giro del plano de oscilación del péndulo es consecuencia de la rotación de la Tierra. La primera demostración pública de este experimento se realizó en el Observatorio de París, el 3 de febrero de 1851. Foucault envió a los científicos reconocidos de París la siguiente invitación: “Usted está invitado a ver que la Tierra gira, mañana de 3 a 5, en el salón del Meridiano del Observatorio de París”. En marzo de ese mismo año, Foucault instaló en el Panteón de París un péndulo consistente de una bola de 38 cm de diámetro y 28 kilogramos, sostenida por un cable de 67 metros. Bajo el punto de sujeción y centrada en la vertical se colocó una base de madera circular de seis metros de diámetro, cuyo borde se dividió en grados y cuartos de grado, de manera que el público pudiera observar claramente el movimiento



(giro) del plano de oscilación del péndulo. Por cada oscilación, que tomaba 16 segundos, se observaba un corrimiento a la izquierda de aproximadamente 2.5 mm (en el hemisferio Norte el plano de oscilación del péndulo se ve rotando en el sentido horario). Esta demostración se hizo pública el 27 de marzo con la presencia del presidente de Francia, Louis Napoléon.

Sobre Léon Foucault (Francia, 1819-1868)

Jean Bernard Léon Foucault, nació en París en 1819. Recibió su educación escolar principalmente en su casa. Luego cursó estudios de Medicina, los que abandonó por su temor a la sangre y por no soportar ver el sufrimiento de los pacientes, aunque fue asistente de microscopía por tres años. El resto de su vida se dedicaría a la física. Su muerte ocurrió el 11 de febrero de 1868 en París y fue enterrado en el cementerio de Montmartre.

¿Qué es un Péndulo? ¿Qué es un Péndulo de Foucault?

Se dice que tenemos un péndulo cuando colgamos un objeto en un punto fijo, mediante una cuerda. En reposo, el objeto colgado queda justo bajo la vertical del punto de suspensión. Si se desplaza el cuerpo de esta posición de equilibrio y se le deja libre, éste comenzará a oscilar en forma regular. El movimiento oscilatorio se produce ya que la suma de las todas las fuerzas que actúan sobre el objeto (la fuerza de gravedad, la tensión del cable de suspensión y la fuerza de arrastre), no es nula y de este modo el objeto colgado acelera, produciendo oscilaciones. Luego de un rato, el roce con el aire haría que el péndulo se detenga. Si no existiera arrastre o fricción (una situación ideal) el péndulo seguiría en un movimiento perpetuo, pero sabemos que esto no es posible por la segunda Ley de la Termodinámica, aunque existen algunos péndulos en el mundo que poseen mecanismos que intentan compensar la pérdida de energía por rozamiento para oscilar



indefinidamente, pero son mecanismos que con complejos y costosos. Los Péndulos de Foucault deben estar oscilando tiempos largos, típicamente minutos u horas, para que permitan a un observador apreciar fenómenos como la rotación terrestre. Entonces, los Péndulos de Foucault, son péndulos que suelen ser contruidos tal que el rozamiento los afecte al mínimo, lo cual se logra con un cable flexible y delgado, una masa muy densa y esférica, en un ambiente donde no existan corrientes de aire, entre otros. Mientras más masivo sea la masa del péndulo, mayor será su energía cinética o potencial, por lo que las fuerzas de rozamiento lo afectaran poco, y se tendrá, por tanto, tiempos largos de oscilación.

La rotación terrestre y el Péndulo de Foucault

En un día, la Tierra da una vuelta completa alrededor de un eje imaginario que pasa por los polos. Este movimiento de rotación, en dirección Oeste-Este, produce a un observador situado en la superficie terrestre la impresión de que es el cielo el que se desplaza sobre nosotros en el sentido opuesto, particularmente ve al Sol apareciendo por el Este y ocultándose por el Oeste generando el fenómeno del día y la noche. Se debe distinguir el tiempo que tarda la Tierra en dar un giro completo respecto a las estrellas distantes sobre su eje Norte-Sur (23 horas 56 minutos), que se denomina día sideral, del tiempo que demora el Sol en ponerse en la misma posición sobre nosotros. Esto último se llama día solar que se divide en 24 horas. Esta diferencia entre el día sideral y el solar se debe a que la Tierra tiene un movimiento de traslación alrededor del Sol, y cada día le toma 4 minutos adicionales en encontrarse en la misma posición respecto del Sol, después de alcanzar la misma posición respecto a las estrellas lejanas. Si se observa un Péndulo de Foucault, de pie y fijo a la Tierra, luego de varias oscilaciones se verá un pequeño desplazamiento del punto donde el péndulo alcanza su máxima apertura, esto es, se observará un pequeño giro del plano de oscilación del



péndulo. Si nuestro planeta estuviera inmóvil en el espacio, observaríamos que el plano de oscilación del péndulo no cambia, como bien lo explican las leyes del Newton. Esta es la argumentación que usó Foucault para mostrar que su experimento finalmente demostraba la rotación de la Tierra. Consideremos primero un péndulo oscilando justo en el polo Norte. Dado que el eje de rotación de la Tierra pasa por los polos, el piso rota en sentido antihorario, con respecto a las estrellas lejanas. Como el plano de oscilación del péndulo no cambia con respecto a esas estrellas, un observador fijo al suelo verá el plano de oscilación del péndulo dar una vuelta completa en el sentido horario en ese mismo tiempo, es decir 24 horas. Por su parte, el observador fijo a la Tierra, en el polo Sur, observará que el plano de oscilación del péndulo dará una vuelta completa en el mismo tiempo, pero en sentido antihorario. ¿Y qué sucede si hacemos el experimento justo en un punto de la línea del Ecuador? A diferencia, de lo que ocurre en los polos, en el Ecuador el eje de rotación de la Tierra es siempre paralelo al suelo y por lo tanto el suelo no gira con respecto al eje. De esta manera el observador fijo al suelo ve al péndulo oscilar siempre en el mismo plano, por lo tanto, usando un péndulo sobre la Línea del Ecuador no se puede detectar la rotación de la Tierra. Ahora consideremos un lugar entre el polo Sur y el Ecuador, como por ejemplo Cd. Juárez. La base del péndulo, en el suelo, no es paralela ni perpendicular al eje de rotación de la Tierra, por lo tanto, el suelo rotará respecto al plano de oscilación, pero de manera más lenta que en los polos. Así, un observador fijo en la Tierra verá que el plano de oscilación del péndulo gira en sentido horario (porque está en el hemisferio Norte), pero tardará más tiempo en dar una vuelta completa. La descripción matemática del movimiento del péndulo en cualquier latitud es un tanto compleja, esto lo estudian los físicos en el curso avanzado de Mecánica Clásica. Con ella se encuentra la fórmula que determina el tiempo (en horas) que tarda el péndulo en efectuar un giro completo. Esta es: $T = 24/\sin(A)$,



en que A es la latitud donde se encuentra el péndulo. Para la latitud de Ciudad Juárez ($A=31.68969$), T resulta ser aproximadamente 46 horas, de manera que el plano de oscilación gira unos 7.8 grados por hora. Es común poner una serie de testigos en forma circular que sean derivados por el péndulo para hacer más evidente la rotación de la superficie. Es importante recalcar que quien gira ¡es el observador, junto con el suelo y la Tierra!, no el péndulo, pues a este no se le ejerce ninguna fuerza que este induciendo un cambio es su dirección.

Anexo D. Sobre los autores del presente reporte

El presente reporte técnico fue escrito por Abdiel Ramírez Reyes (abdiel.ramirez@uacj.mx), uno de los principales responsables del proyecto. Cualquier situación respecto al proyecto, se puede contactar al autor del reporte, puede ser Parte de la evidencia, información e imágenes fue colectada por el equipo *Péndulo de Foucault* de la UACJ, la cual esta plasmada o soportada por otros reportes, tesis y demás información relacionada al tema. La mayoría de las cosas relacionadas en este proyecto poseen un alto grado de originalidad que no puede ser utilizada por terceros y está en proceso de registro intelectual.

Autores del presente reporte

Equipo del Péndulo de Foucault de UACJ.

Abdiel Ramírez Reyes (abdiel.ramirez@uacj.mx) y