



$$W_x = \frac{M \cdot \omega}{2}$$

Entornos invisibles

(de la ciencia y la tecnología)

Parque de diversiones

Capítulo 1

Guía didáctica

Autor | Eduardo Rodríguez

$$\sigma_{ad} = 1.600 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2} \Rightarrow \sigma_{pd} = 16.000 \frac{\text{N}}{\text{cm}^2}$$



Ministerio de
Educación
Presidencia de la Nación



educar



Autoridades

Presidente de la Nación

Dra. Cristina Fernández de Kirchner

Ministro de Educación

Dr. Alberto E. Sileoni

Secretaria de Educación

Prof. María Inés Abrile de Vollmer

Directora Ejecutiva del Instituto Nacional de Educación Tecnológica

Lic. María Rosa Almandoz

Director Nacional del Centro Nacional de Educación Tecnológica

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Director Nacional de Educación Técnico Profesional y Ocupacional

Ing. Roberto Díaz

Ministerio de Educación.

Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Saavedra 789. C1229ACE.

Ciudad Autónoma de Buenos Aires.

República Argentina.

2011

Director de la Colección:

Lic. Juan Manuel Kirschenbaum

Coordinadora general de la Colección:

Claudia Crowe

Diseño didáctico y corrección de estilo:

Lic. María Inés Narvaja

Ing. Alejandra Santos

Coordinación y producción gráfica:

Augusto Bastons

Diseño gráfico:

María Victoria Bardini

Augusto Bastons

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Ilustraciones:

Diego Gonzalo Ferreyro

Martín Alejandro González

Federico Timerman

Administración:

Cristina Caratozzolo

Néstor Hergenrether

Colaboración:

Jorgelina Lemmi

Psic. Soc. Cecilia L. Vázquez

Dra. Stella Maris Quiroga

“Colección Encuentro Inet”.

Director de la Colección: Juan Manuel Kirschenbaum.

Coordinadora general de la Colección: Claudia Crowe.

Queda hecho el depósito que previene la ley N° 11.723. © Todos los derechos reservados por el Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica.

Reproducción autorizada haciendo mención de la fuente.

Industria Argentina

ADVERTENCIA

La habilitación de las direcciones electrónicas y dominios de la web asociados, citados en este libro, debe ser considerada vigente para su acceso, a la fecha de edición de la presente publicación. Los eventuales cambios, en razón de la caducidad, transferencia de dominio, modificaciones y/o alteraciones de contenidos y su uso para otros propósitos, queda fuera de las previsiones de la presente edición -Por lo tanto, las direcciones electrónicas mencionadas en este libro, deben ser descartadas o consideradas, en este contexto-.

Colección Encuentro Inet

Esta colección contiene las siguientes series (coproducidas junto con el Instituto Nacional de Educación Tecnológica - INET):

- La técnica
- Aula-taller
- Máquinas y herramientas
- Entornos invisibles de la ciencia y la tecnología

DVD 4 | Aula-taller

Capítulo 1

Biodigestor

Capítulo 2

Quemador de biomasa

Capítulo 3

Planta potabilizadora

Capítulo 4

Probador de inyecciones

DVD 5 | Aula-taller

Capítulo 5

Planta de tratamiento de aguas residuales

Capítulo 6

Tren de aterrizaje

Capítulo 7

Banco de trabajo

Capítulo 8

Invernadero automatizado

DVD 6 | Máquinas y herramientas

Capítulo 1

Historia de las herramientas y las máquinas herramientas

Capítulo 2

Diseño y uso de Máquinas Herramientas

Capítulo 3

Diseño y uso de Herramientas de corte

Capítulo 4

Nuevos paradigmas en el mundo de las máquinas herramientas y herramientas de corte

DVD 7 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 1
Parque de diversiones

Capítulo 2
Cocina

Capítulo 3
Red de energía eléctrica

Capítulo 4
Campo de deportes

DVD 8 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 5
Estadio de Rock

Capítulo 6
Estructuras

Capítulo 7
Chacra orgánica

Capítulo 8
Bar

DVD 9 | Entornos invisibles (de la ciencia y la tecnología)

Capítulo 9
Estación meteorológica

Capítulo 10
Restaurante

Capítulo 11
Seguridad en obras de construcción

Capítulo 12
Camping musical

Capítulo 13
Hospital

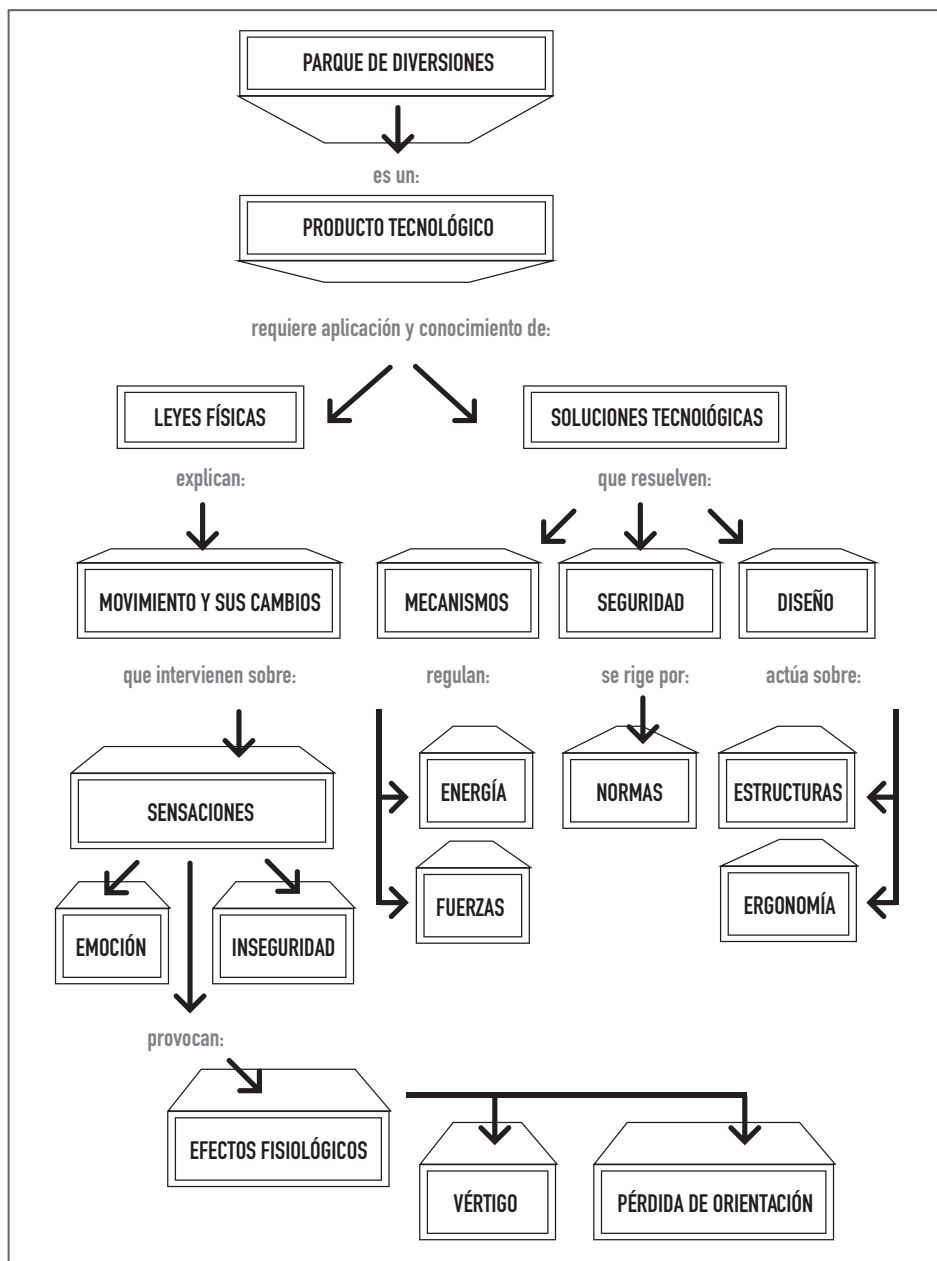
Índice | Parque de diversiones

1.1. Red conceptual	08
1.2. Desarrollo de contenidos	09
♦ ¿Por qué nos motivamos? ¿Qué nos motiva frente a un juego? ¿Por qué nos emocionamos, durante y después de experimentar el juego?	10
♦ ¿Cómo hacer para que un juego logre impacto y afectación positivos, a la vez de garantizar confort y seguridad?	14
1.3. La montaña rusa como sistema tecnológico	16
♦ 1.3.1. Las ruedas de los carros	18
♦ 1.3.2. ¿Por qué poliuretano?	19
♦ 1.3.3. El sistema de frenado	20
♦ 1.3.4. Sistema de seguridad	20
♦ 1.3.5. La montaña rusa como sistema físico	21
♦ 1.3.6. Las formas de la energía	21
♦ 1.3.7. La inercia	21
♦ 1.3.8. El rozamiento	21
♦ 1.3.9. Velocidad y aceleración	22
♦ 1.3.10. Las fuerzas sobre los carros	22
♦ 1.3.11. Las fuerzas sobre nuestro cuerpo	22
♦ 1.3.12. Efectos sobre el cuerpo	24
♦ 1.3.13. El inevitable mareo	23
1.4. Otros juegos	25
1.5. El juego de las tazas	25
♦ 1.5.1. El movimiento del pasajero	26
♦ 1.5.2. El propósito del juego	26
♦ 1.5.3. Combinación de movimientos	26
1.6. El juego del péndulo	27
♦ 1.6.1. Descripción del juego	27
♦ 1.6.2. Movimiento oscilatorio	29
♦ 1.6.3. La seguridad de este juego	29

1.7. Actividades para el aprendizaje	30
♦ 1.7.1. Recursos	30
♦ 1.7.2. Actividades	31
• 1.7.2.1. Actividad 1: Sistema nervioso y su efecto sobre algunas respuestas fisiológicas	31
• 1.7.2.2. Actividad 2: Análisis de un sistema tecnológico	32
• 1.7.2.3. Actividad 3: Análisis de un material. Medición del módulo de Young del acero	34
• 1.7.2.4. Actividad 4: Estudio de un péndulo simple	37
• 1.7.2.5. Actividad 5: Efectos del rozamiento. Oscilaciones amortiguadas	41
• 1.7.2.6. Actividad 6: Combinación de movimientos	43
En la web	45

1. Parque de diversiones

1.1. Red conceptual



1.2. Desarrollo de contenidos

Dos miradas pueden más que una. Un parque de diversiones es un lugar exploratorio de sensaciones y desafíos personales: emoción, temor, alegría; y también un laboratorio de ciencia y tecnología a cielo abierto. Nos aprestamos a combinar estas dos miradas complementarias durante una visita a un parque de alta tecnología.

¿Para qué vamos a un parque de diversiones? Hemos formulado esta pregunta a muchas personas y la respuesta primaria es “por la adrenalina”. No es que se vaya a un parque en pos de una causa noble llamada “adrenalina”. Con esto nos referimos a que cuando estimulamos nuevas emociones y las vivimos de una manera especial, nuestro cuerpo desarrolla nuevas dosis de una sustancia llamada adrenalina. Ésta nos ayuda a estar más atentos y nos envalentona. Nos aumenta el ritmo cardíaco y el ritmo respiratorio, además de dilatamos las pupilas para que tengamos mejor visión. También nos ayuda a alcanzar sensaciones de bienestar y satisfacción. Todo esto puede desarrollar en nosotros un juego de un parque de diversiones una vez que nos integramos a él. Nuevas emociones, vértigo y sensación de inseguridad son producto de las acciones que elegimos realizar en cada juego.

Desde niños lo sabemos. Toboganes y hamacas, subibajas y calesitas han sido nuestros compañeros de juegos en las plazas de nuestros pueblos. Movimientos de vaivén, subidas y bajadas, deslizamientos desde lugares altos, la impresión de estar suspendidos, ingravidos, nos han divertido y dejado satisfechos. Nuestros primeros desafíos frente a los juegos han sido llegar a lo más alto e ir lo más rápido posible. Hayamos sabido o no qué cosas son la velocidad y la aceleración y qué ideas están detrás del movimiento, nos hemos aprovechado de ellos para divertirnos.

Precisamente, cada atracción mecánica de un parque de diversiones tiene como gran aliado al movimiento. Todos los juegos mecánicos se basan en una serie de principios y leyes físicas y es la tecnología la que permite que tengamos una diversión segura.

Los constructores de juegos saben de ello y están apoyados por un equipo multidisciplinario que integran ingenieros, físicos, psicólogos y especialistas en ergonomía. En buena medida, lo que se busca es lograr la satisfacción de las expectativas del visitante, por lo tanto los psicólogos y los ergonomistas ayudan a comprender las respuestas biológica y tecnológica asociadas a la adaptación mutua entre el hombre y la máquina. Ingenieros y físicos, a su vez, concentran sus esfuerzos para que los juegos sean atractivos y seguros. La seguridad es crucial para proteger a las personas.

Cada juego está diseñado para causar impacto sobre el movimiento de las personas. Estamos acostumbrados a movernos: caminamos, corremos, andamos en bicicletas y automóviles. Sabemos qué sensación nos produce cada uno de nuestros movimientos habituales. Nuestro cuerpo está adaptado muy bien a los cambios de rapidez y dirección de nuestros movimientos cotidianos. Pero si por alguna causa éstos se alteran drásticamente, experimentamos sorpresa o temor. El temor surge ante lo inesperado y es una reacción natural para acomodarnos a las circunstancias. En un parque de diversiones buscamos sorpresa y temor de manera premeditada. La sorpresa aparece frente a nuestra falta de conocimiento de la respuesta de nuestro cuerpo a los cambios del movimiento al que estamos sometidos.

Un parque de diversiones es un producto tecnológico, pensado para la recreación de los visitantes. El más antiguo está en Dinamarca y funciona desde 1583. La industria de la diversión floreció hacia mediados del siglo XIX y es hija de la industria eléctrica. Los parques de diversiones entraron en su era dorada en la exposición mundial de Chicago en 1893, cuando la feria se centró en el progreso científico y tecnológico de la época y el creciente uso de energía eléctrica. En esa ocasión se presentaron montañas rusas y una rueda de la fortuna de 80 metros de altura. Imaginemos una situación en un parque de diversiones. Una persona está frente a la montaña rusa y evalúa si va a subir al juego o no. Su motivación se inicia observando la escena y su decisión va a depender, entre otras cosas, de la evocación de experiencias previas. Su rostro empieza a demostrar su estado emocional: las pupilas se dilatan, los músculos situados en los folículos pilosos se contraen y se le pone la piel de gallina. Al mismo tiempo, los músculos de la vejiga se relajan. Las cápsulas suprarrenales lanzan hacia la circulación sanguínea una gran descarga de adrenalina, lo cual provoca la liberación de glucosa hacia el hígado, con lo que se aporta una fuente añadida de energía para las células. Según cómo evolucione la situación, la persona queda lista para “luchar” o “huir”. Las reacciones de huida o lucha son parte de nuestra herencia evolutiva. Estas reacciones involucran al sistema nervioso y se producen con gran rapidez. En la montaña rusa, luchar significa subir y experimentar extrañas sensaciones corporales producto de los diferentes cambios de velocidad. Huir significa salir de la fila. Cada individuo experimenta el estrés en su interior, y todo un grupo de respuestas fisiológicas, que implican especialmente a los sistemas nervioso y endocrino, se movilizan para la acción. El estrés nace como resultado de cualquier alteración de los sistemas fisiológicos del cuerpo y puede ser causado tanto por estímulos internos como externos.

A continuación, se desarrollan los conceptos de motivación y emoción, los vinculamos a las respuestas del sistema nervioso y los aplicamos al caso de un visitante a un parque de diversiones.

¿Por qué nos motivamos? ¿Qué nos motiva frente a un juego? ¿Por qué nos emocionamos antes, durante y después de experimentar el juego?

El ser humano casi siempre está haciendo algo, se pasa casi todo el tiempo comportándose. Tiene necesidades innatas que le ayudan a centrar la atención e interactuar con estímulos inesperados. Constantemente, recoge información del medio a través de los sentidos, que es comprendida y canalizada para actuar eficazmente.

La motivación es un ensayo mental preparatorio de una acción para animarnos a ejecutarla con interés y diligencia. Así, nos motivamos para levantarnos a la hora indicada, estudiar para un examen, lanzar un dardo sobre el blanco, ejecutar los acordes de un instrumento musical, ver un programa de media hora de la televisión educativa, etcétera.

La motivación está ligada a procesos neurales (procesos que involucran al sistema nervioso y a las neuronas) que impulsan al organismo a alguna acción u objetivo, cuyo logro resulta en la reducción del impulso. Así como la sed es el impulso y el acto de beber lo reduce, la curiosidad lleva a un visitante a un parque de diversiones a subirse a la montaña rusa y el impulso puede quedar satisfecho tras la fascinación del paseo vertiginoso por las alturas.

Ligada a nuestra motivación está la emoción. La emoción representa la forma en que actuamos y sentimos la motivación. La emoción expresa nuestra preparación para la acción, nuestro estado de alerta y de conciencia ante lo que hacemos y exterioriza nuestros estados mentales.

La emoción se desarrolla en distintos niveles: cognitivo, expresivo y fisiológico.

Nivel cognitivo: una situación debe percibirse, es decir, debe recibirse por uno de los sentidos a través de imágenes, impresiones o sensaciones. Evaluamos esta situación relacionándola con experiencias pasadas. Y esta evaluación refleja, esencialmente, la experiencia personal previa, las influencias culturales de la familia y la sociedad, cuestiones de género, y tales factores determinan el tipo y grado de la emoción (“Juan cruza corriendo el puente colgante y se divierte; Luisa sufre mientras lo cruza caminando”).

Nivel expresivo: La emoción se comunica “hacia fuera” en la forma de lenguaje corporal:

- expresiones faciales (la montaña rusa nos deja con la boca abierta)
- vocalización (gritos durante el paseo en la montaña rusa)
- los pelos se nos ponen de punta y se nos pone la piel de gallina
- nos sonrojamos o empalidecemos (en una frenada brusca)
- reímos (a la salida del juego) o lloramos (si el juego nos asustó)

Nivel fisiológico: Las emociones también se expresan internamente en la forma de cambios viscerales ejecutados por el sistema nervioso. Otro tipo de expresión emocional es la tensión muscular. La emoción implica al sistema nervioso por completo. Pero hay dos partes del sistema nervioso que son especialmente importantes: el sistema límbico y el sistema nervioso autónomo.

Sistema límbico: El sistema límbico es un complejo conjunto de estructuras que se hallan por encima y alrededor del tálamo, y justo bajo la corteza. Incluye el hipotálamo, el hipocampo, la amígdala, y muchas otras áreas cercanas. La función del sistema está relacionada con las respuestas emocionales, el aprendizaje y la memoria. Nuestra personalidad, nuestros recuerdos y, en definitiva, el hecho de ser como somos, depende en gran medida del sistema límbico.

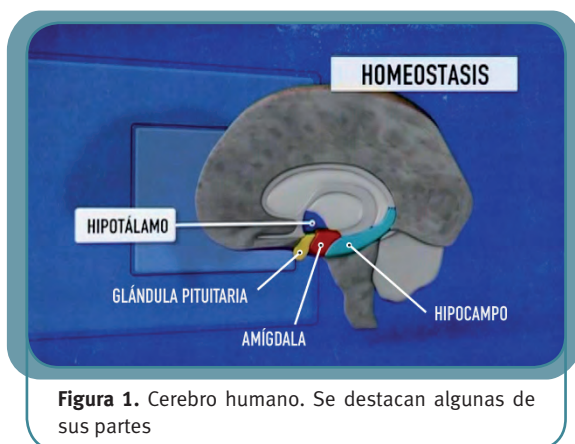


Figura 1. Cerebro humano. Se destacan algunas de sus partes

De todas sus partes, el hipotálamo es una de las más ocupadas del cerebro, y está principalmente relacionado con la homeostasis. La homeostasis es el proceso de retornar algo a algún punto o nivel de ajuste o de equilibrio. Para entender la homeostasis recurrimos a un análogo tecnológico.



Figura 2. Un sistema para controlar la temperatura de una habitación: análogo tecnológico para entender la homeostasis

Funciona como un termostato: cuando la habitación donde nos encontramos está demasiado fría, el termostato transporta esa información al calefactor y lo enciende. En el momento en que la habitación se calienta y la temperatura llega más allá de un cierto punto, manda una señal que indica al calefactor que se apague.

En el organismo, cuando el hipotálamo contribuye a la regulación de la temperatura corporal, actúa como el centro de control y los sensores son los termorreceptores de la piel. La producción de calor se hace en los tejidos. El hipotálamo también regula el hambre, la sed, la respuesta al dolor, los niveles de

placer, la satisfacción sexual, la ira y el comportamiento agresivo. También actúa sobre el funcionamiento de los sistemas nerviosos simpático y parasimpático, lo cual significa que regula cosas como el pulso, la presión sanguínea, la respiración y la activación fisiológica en respuesta a circunstancias emocionales.

El hipotálamo envía instrucciones al resto del cuerpo de dos formas. La primera de ellas es hacia el sistema nervioso autónomo. Esto permite al hipotálamo tener el control último de cosas como la presión sanguínea, la tasa cardíaca, la respiración, la digestión, el sudor, y todas las funciones simpáticas y parasimpáticas.

La otra forma en la que el hipotálamo controla procesos es mediante la glándula pituitaria, llamada "glándula maestra": las hormonas que libera son de importancia vital en la regulación del crecimiento y el metabolismo.

Sistema nervioso autónomo: La segunda parte del sistema nervioso que tiene un papel particularmente potente que jugar en nuestra respuesta emocional es el sistema nervioso autónomo. El sistema nervioso autónomo tiene dos subdivisiones: la simpática y la parasimpática, que son anatómica y funcionalmente diferentes. Funcionalmente, las dos partes son antagonistas. La subdivisión simpática (sistema nervioso simpático) comienza en la médula espinal y viaja hacia una gran variedad de áreas del cuerpo. Es responsable en especial de las reacciones frente al ambiente externo. Su función es la de preparar al cuerpo para el tipo de actividades vigorosas asociadas con la huida o lucha, esto es, con la huida del peligro o con la preparación para la acción.

La activación del sistema nervioso simpático tiene los siguientes efectos:

- dilata las pupilas
- abre los párpados
- estimula las glándulas sudoríparas
- dilata los vasos sanguíneos en los músculos grandes
- constriñe los vasos sanguíneos en el resto del cuerpo
- incrementa la tasa cardíaca
- abre los tubos bronquiales de los pulmones
- relaja la vejiga.

La otra parte del sistema nervioso autónomo, la **subdivisión parasimpática** (sistema nervioso parasimpático), tiene sus raíces en el tronco cerebral y en la médula espinal de la espalda baja. Su función es la de regular las actividades de restauración, es decir, la de traer de vuelta al cuerpo desde la situación de emergencia a la que lo llevó el sistema nervioso simpático.

Algunos detalles de la activación del sistema nervioso parasimpático incluyen:

- constricción pupilar
- activación de las glándulas salivares
- estimulación de las secreciones del estómago
- estimulación de la actividad de los intestinos
- estimulación de las secreciones en los pulmones
- constricción de los tubos bronquiales
- decremento de la tasa cardíaca

Hay una parte más del sistema nervioso autónomo que no mencionamos muy a menudo: el sistema nervioso entérico. Es un complejo de nervios que regulan la actividad del estómago. Cuando estamos nerviosos (porque ya empieza un examen, por ejemplo) y sentimos “mariposas en el estómago”, por esto podemos culpar al sistema nervioso entérico.

Uno de los sus efectos más importantes es provocar que las glándulas adrenales liberen epinefrina en el torrente sanguíneo. La epinefrina (nombre genérico) es más conocida como adrenalina (nombre común) y es una poderosa hormona que causa que varias partes del cuerpo respondan de la misma forma. Una vez en el torrente sanguíneo, tarda un poco en parar sus efectos. Por esta razón, cuando estamos enojados, algunas veces se tarda un poco antes de volver a la calma.

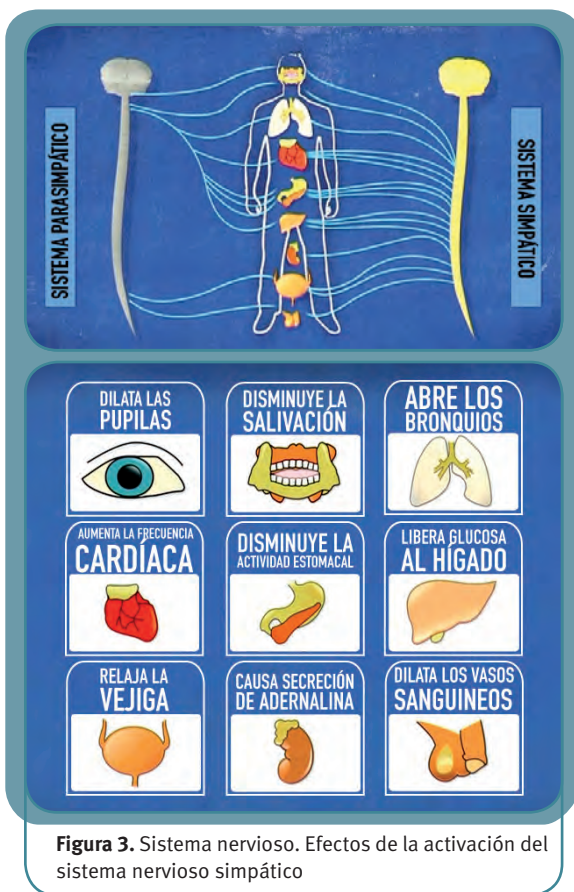


Figura 3. Sistema nervioso. Efectos de la activación del sistema nervioso simpático

Nivel de excitación: La experiencia común indica que cuando experimentamos ciertas emo-

ciones nos vemos y nos sentimos excitados (alguien nos dice: “pará un poco”). Es decir, nuestros procesos mentales pueden ser excesivamente vívidos.

Es interesante notar que aún cuando se supriman las expresiones obvias de emoción, por ejemplo por considerarlas inapropiadas (a nadie le gusta llorar en público; algunas personas que suben a la montaña rusa por primera vez tratan de demostrar a otros que ya saben de qué se trata), las expresiones internas de la emoción igualmente ocurren (en lenguaje popular suele decirse que “la procesión va por dentro”).

En síntesis, siempre hay un lado subjetivo de la respuesta emocional difícil de precisar. Este lado subjetivo define el “factor de excitación”, el “factor de miedo”, etc. Sin embargo, las investigaciones muestran que prevalecen signos objetivos de los estados de alerta o de excitación que pueden estudiarse mediante patrones electroencefalográficos.

La componente subjetiva es difícil de evaluar. Es estrictamente personal, de ella depende el efecto que produzca en cada uno la experiencia del juego.

El sistema nervioso parasimpático también tiene algunas capacidades sensoriales: recibe información sobre la presión sanguínea, niveles de dióxido de carbono, y demás.

¿Cómo hacer para que un juego logre impacto y afectación positivos, a la vez de garantizar confort y seguridad?

Vamos a un parque de diversiones a recrearnos. La recreación es una actividad voluntaria. La diversión recrea energías del músculo y del cerebro, mediante la práctica de una actividad que será tanto más beneficiosa cuanto más se aparte de la obligación diaria. En un parque de diversiones la recreación es activa: implica acción. El juego imprime esta acción porque está diseñado para un determinado fin.

Las acciones a las que somos sometidos son distintas a las que vivimos en la vida normal y nos producen efectos emocionales distintos. En la vida normal no estamos con el corazón latiendo al máximo, la boca seca y con hiperventilación, algo innecesario para el tipo de tensión a la que normalmente estamos sometidos.

Enfatizamos que la recreación se centraliza en la persona; la actitud de la persona hacia la actividad es lo que importa. De allí que es necesario reconocer los procesos de motivación y emoción que se desencadenan en cada uno. La respuesta al estrés que se orchestra desde el hipotálamo, con la mediación inicial del sistema simpático, puede ser muy diversa. Depende, no sólo de la naturaleza y duración de la alteración, sino también de la situación física y mental del individuo. A la vez, un juego trabaja sobre el comportamiento promedio de las personas en cuanto a las diversas respuestas físicas y emocionales que puedan presentarse.

Todo lo explicado precedentemente ocurre muy rápido durante las etapas de motivación y emoción. En cada juego de un parque de diversiones nuestras expectativas de nuevas (y buenas) sensaciones están presentes. El parque de diversiones es un avezado especialista en impresionarnos y sorprendernos. Los ingenieros y técnicos los diseñan y construyen ante el requerimiento de afectar al máximo nuestras sensaciones físicas y psicológicas. El secreto del juego reside en que esa afectación sea positiva.

El denominador común de los juegos electromecánicos es el movimiento y se espera que los diversos tipos de movimiento a los que las personas quedan sometidas tengan como resultado la diversión esperada. En un juego importan los cambios continuos e impredecibles del movimiento, a los que los participantes respondemos involucrando nuestra cuota de emoción personal. Lo que la tecnología garantiza en cada juego es que la diversión sea segura. Gran parte de la inversión debe asegurar la fiabilidad de los mecanismos y el correcto funcionamiento. La interacción hombre-máquina debe ser segura y confortable. Ésta no es una tarea fácil para los diseñadores de juegos.

Desde el punto de vista de la ergonomía, los juegos se diseñan con el criterio de poder ser usados por un gran público. La ergonomía estudia datos biológicos y tecnológicos aplicados a problemas de mutua adaptación entre el hombre y la máquina, se centra en optimizar las respuestas del sistema persona-máquina y se vale de conocimientos de antropometría y biomecánica.

La antropometría es la disciplina que describe las diferencias cuantitativas de las medidas del cuerpo humano, estudia las dimensiones tomando como referencia distintas estructuras anatómicas, y sirve de herramienta a la ergonomía con el objeto de adaptar el entorno a las personas. La búsqueda de la adaptación física entre el cuerpo humano y los diversos componentes del espacio que lo rodea es la esencia a la que pretende responder la antropometría. Se diferencia la antropometría estática, que mide las diferencias estructurales del cuerpo humano en distintas posiciones, sin movimiento, de la antropometría dinámica, que considera las posiciones resultantes del movimiento. Esta última va ligada a la biomecánica.

La biomecánica aplica las leyes de la mecánica a las estructuras del aparato locomotor, ya que el ser humano puede ser visto como un sistema formado por palancas (huesos), tensores (tendones), resortes (músculos), elementos de rotación (articulaciones), etc., que cumplen muchas de las leyes de la mecánica.

El diseño de un juego tiene que cumplir con la condición de que sea usado por el mayor número de personas, por eso debe reunir con ciertos principios de diseño determinados. Por ejemplo, en el diseño del asiento de una montaña rusa se aplica el “principio del diseño para el promedio”. Sin embargo, como la “persona media” no existe, todos los resultados del análisis antropométrico deben aplicarse con criterios amplios y razonables. En otras palabras, los diseños deben contrastarse con la realidad. Esa contrastación se hace en la etapa de la puesta a punto del juego antes de liberarlos al uso del público. Otros elementos se diseñan por el “principio de diseño para un intervalo ajustable”, tal es el caso de un cinturón de seguridad. Además, las medidas de seguridad deben ser uniformes para todos, la amplitud de movimiento del pasajero debe ser la justa, etc. En síntesis, todas estas acciones permiten garantizar el confort del pasajero y su seguridad.

A continuación se analizan algunos juegos de un parque de diversiones desde los puntos de vista científico y tecnológico.

1.3. La montaña rusa como sistema tecnológico

Una montaña rusa es un producto tecnológico y puede ser analizado como un sistema de varios componentes.

Según el tipo de montaña rusa, las personas van ubicadas en asientos dentro de carros o vagones

que se deslizan sobre rieles, o en asientos que cuelgan de los rieles. En cualquier caso, el juego sólo necesita de un motor para que eleve a los carros o asientos al comienzo del trayecto hasta un punto en lo más alto de la estructura de rieles. A partir de allí, una vez liberados, los carros no necesitan tener una máquina incorporada que los mueva. Esto es lo primero que sorprende.



Figura 4. Montaña rusa en la que los pasajeros van sentados en carros



Figura 5. Carro de una montaña rusa



Figura 6. Montaña rusa en la que los pasajeros van sentados y con los pies colgando

El primer componente de una montaña rusa es el sistema de ascensión de los carros. El problema de elevar un objeto venciendo a la fuerza de la gravedad ha acompañado a la humanidad desde tiempos inmemorables. En cada época se ha buscado la adecuada solución, dependiendo del avance tecnológico del momento.

Usando lenguaje de la tecnología, para elevar a los carros se requiere disponer de operadores que puedan articularse entre sí. Un operador es cualquier objeto capaz de realizar una función tecnológica dentro de un conjunto. Los operadores se articulan para formar una máquina, que se encarga de combinar mecanismos. En síntesis:

operadores → articulación entre operadores → máquina → combinación de mecanismos → tareas específicas

Para elevar a los carros se necesita, como mínimo, de los siguientes operadores:

- un motor, que ejerza la fuerza.
- cables o cadenas, cuya función tecnológica es la de transmitir fuerzas por tracción.

- poleas para dirigir las tracciones y lograr, en lo posible, ventaja mecánica.

La máquina compuesta que logramos es una combinación de elementos muy simples y de uso cotidiano. Finalmente, las cadenas tienen que poder vincularse a los carros para moverlos, por eso los carros tienen ganchos desde donde son remontados (es el caso de Boomerang, en el Parque de la Costa, que se describe en el video). Algunos tipos de montañas rusas usan una cinta sinfín con cremallera que embona en un mecanismo que los vagones tienen en la parte inferior.

Otra manera de remontar carros más livianos (o a menores alturas) es impulsarlos mediante ruedas de fricción que los arrastran cuando hacen contacto con aletas que llevan en la parte inferior. Para esto, se usan varios pares de ruedas de goma dura y rugosa que giran en sentidos opuestos y están distribuidas a lo largo de la pendiente que se quiere ascender.

En definitiva, cualquiera sea la opción elegida, el sistema motriz logra convertir el movimiento giratorio de un motor en un movimiento lineal ascendente de los carros. En una montaña rusa de envergadura, el motor tiene que ser capaz de elevar a los carros con los pasajeros por una rampa inclinada de unos 35 grados y depositarlos a unos 40 metros de altura. La carga a elevar es de unos 2.000 kg en total. No hace falta que el ascenso sea veloz. Es más, no lo es. Parte del juego es preparar a los participantes para lo que se viene cuando los carros empiecen a rodar y a ganar velocidad.

Otro componente de la montaña rusa es su estructura, con su diseño de rampas, colinas, valles, tirabuzones, media-vueltas y vueltas enteras. Las primeras montañas rusas de los parques de diversiones tenían estructuras de madera (aún funcionan algunas). Actualmente, las más altas y veloces son de acero.

Estas montañas rusas se construyen con largos tubos de acero que forman módulos que se acoplan para dar lugar a estructuras extendidas y con pocas uniones, lo que permite un deslizamiento suave de los carros y a más altas velocidades. Ésta es la principal diferencia respecto de las montañas rusas de madera, que tienen que construirse ensamblando tramos más cortos.



Figura 7. Torno donde se enrolla el cable que eleva los carros de la montaña rusa

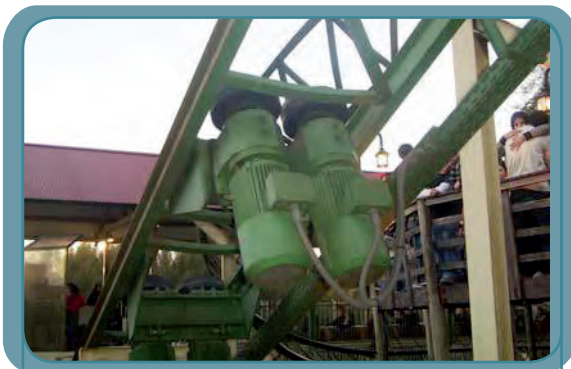


Figura 8. Uno de los sistemas que se usan para la ascensión de los carros de una montaña rusa

El desarrollo tecnológico ha terciado en la competitividad de la industria de la recreación y el tiempo libre que existe en torno a estos juegos. El público y los entusiastas seguidores de las novedades mecánicas de los parques de diversiones quieren acceder a juegos más rápidos, más altos, más emocionantes, y la industria está dispuesta a proporcionárselos.

Los rieles están formados por dos tubos de acero que corren paralelos, separados mediante nervaduras soldadas a ellos, y unidas a otro tubo central de mayor diámetro que da sostén y rigidez al conjunto. Las nervaduras están espaciadas uniformemente en los tramos rectos, pero se integran más nervaduras en las zonas de curvas, donde el carro recibe de la estructura fuerzas relativa-



Figura 9. Esquema del sistema de elevación de los carros

mente mayores para provocarle la aceleración centrípeta en el giro. Por la tercera ley de Newton, sabemos que a toda acción le corresponde una reacción, por tanto el carro le hace a los rieles una fuerza de igual intensidad aunque en sentido contrario, y es allí donde debe haber también un mayor anclaje de la estructura al piso. Por lo tanto, toda la estructura está muy bien cimentada. Así, el sistema estructural ve reducidas sus vibraciones en todo el recorrido.

Mediante el uso de la tecnología informática actualmente disponible es posible si-

mular el comportamiento de las estructuras usando diversos métodos de cálculo. Uno de ellos, el “método de elementos finitos”, es de amplio uso para resolver problemas complejos de las más variadas especies. Con estas simulaciones es posible poner a prueba la respuesta de las estructuras antes de que sean construidas y puestas a disposición del público. La potencia de cálculo de las computadoras actuales permite estimar el comportamiento de tramos del recorrido cada vez más cortos y con una gran precisión. Estos cálculos permiten hacer los ajustes necesarios sobre el recorrido para optimizar el funcionamiento del juego. A esto le siguen mediciones precisas de velocidad y aceleración, que deben quedar dentro de los límites de seguridad previstos por los diseñadores.

1.3.1. Las ruedas de los carros

La rueda, ese gran invento de la humanidad, es parte esencial de la montaña rusa. Las ruedas de los carros se encuentran entre los componentes “menos excitantes” del sistema, pero son en gran medida las responsables de que pueda alcanzarse gran velocidad en el recorrido¹.

En la versión más moderna, las ruedas son de poliuretano en torno a un rodamiento metálico. Con este material se busca que la rueda tenga una gran resistencia a la abrasión y mayor durabilidad. Al mismo tiempo, como el coeficiente de rozamiento entre dos cuerpos en contacto depende de los materiales con los que están hechos, el poliuretano especial que se usa en las ruedas de los carros permite un excelente contacto con el acero de los rieles. Este punto es de mayor importancia porque es el rozamiento entre el riel y las ruedas el que las hace girar,

¹ El récord de velocidad y altura lo tiene desde 2005 la montaña rusa de acero llamada Kingda Ka en el parque Six Flags Great Adventure de New Jersey, con 200 km/h y una altura máxima de 139 m (en los EE.UU. se llaman “roller coasters”). La que vemos en el video está en el Parque de la Costa, en Tigre, alcanza los 80 km/h y tiene la colina de partida a 40 metros de altura.

es decir, que actúa aplicando un momento de rotación para que la rueda gire. Sin roce, no hay rotación de las ruedas.

Una condición crucial para optimizar la rodadura es que no haya mucho deslizamiento entre la rueda y la vía. Es decir, se necesita evitar o reducir el deslizamiento. La situación óptima será obtener una rodadura sin deslizamiento. En este caso, cuando la rueda da una vuelta apoyada sobre el riel, la distancia que recorre es igual a la longitud de su circunferencia. En la práctica, no es así y la solución consiste en optimizar el efecto del roce, lo que se logra con una correcta elección de los materiales en contacto (en nuestro caso, acero y la adecuada formulación del poliuretano) y tolerando cierto deslizamiento. Este deslizamiento es lo que desgasta a la rueda, de allí la relevancia de que el material resista la abrasión. La mayor durabilidad de la rueda favorece las tareas de mantenimiento y merma el costo del recambio.

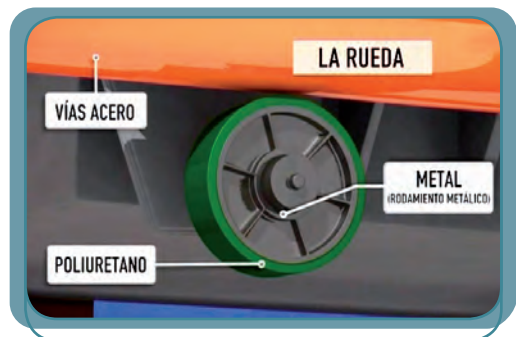
Los carros de una montaña rusa tienen dos o tres juegos de ruedas. Además de las que apoyan sobre los rieles, otras les dan estabilidad lateral. A comienzos del siglo XX, un diseñador y fabricante de montañas rusas advirtió que si se coloca un juego de ruedas en contacto con el riel por su parte inferior, el carro tiene la posibilidad de dar vueltas enteras sin que salga despedido (algo más que deseable), y este acierto –que patentó– permitió desde entonces agregar al juego la emoción de que los pasajeros queden cabeza abajo en lo alto de las colinas metálicas.



Figura 10. Detalles de los juegos de ruedas que dan estabilidad al carro y que le permiten moverse invertido en algunos tramos de la montaña rusa

1.3.2. ¿Por qué poliuretano?

El poliuretano es un polímero orgánico formado por el monómero uretano y un isocianato. Según la formulación, con él se obtienen materiales de variadas gamas de densidades y durezas. Para piezas moldeadas, los diferentes tipos de poliuretano que se usan tienen como característica común una “piel” exterior cerrada, con una resistencia al desgarre que gradualmente pasa a un núcleo celular. La piel y el núcleo se forman en un único proceso, es decir, en forma integral, siendo componentes de un solo cuerpo moldeado, donde la piel protege a la estructura celular contra posibles daños de carácter mecánico. La piel es extremadamente resistente al desgarre.



Los poliuretanos se elaboran con distinta variedad de dureza: flexibles, semi-rígidos y muy rígidos. En todos los casos se pueden moldear, son ligeros y pueden adoptar cualquier forma deseada. Tienen gran resistencia a esfuerzos en cualquier dirección, lo que le confiere una gran tolerancia a elevadas presiones de carga, y una alta resistencia a la corrosión. Además, son poco sensibles a los cambios térmicos.

1.3.3. El sistema de frenado

Otro componente de la montaña rusa es su sistema de frenado. Al final del recorrido los carros tienen que detenerse para que los pasajeros desciendan y se haga el recambio de participantes. La evolución de los sistemas de frenado merece la pena ser comentada.

Antiguamente, en la estación de llegada había grandes bloques de madera que la persona a cargo del juego levantaba mediante un mecanismo de palanca para que los carros rocen en ellos. El efecto de este “rozamiento seco” entre la madera y la base de los carros los detenía. Más adelante, empezó a usarse frenado neumático. Para esto, en cierto tramo del recorrido, cerca del final, un grupo de compresores libera aire comprimido que impacta sobre las ruedas para frenarlas. El sistema de frenado está localizado a lo largo de un tramo recto de muy poca inclinación, por lo que, aunque logra que los carros en la práctica queden en reposo, éstos continúan avanzando lentamente hasta una segunda etapa de frenado más cercana a la estación de llegada. En la estación, los carros son detenidos en su totalidad, y se traban, por seguridad, con un dispositivo mecánico adicional que mantiene fijos los carros a las vías. Desde hace unos años, empezó a usarse un nuevo sistema de frenado que aprovecha los avances del desarrollo de imanes permanentes de mayor tamaño e intensidad. Un sistema de frenado magnético consiste de dos hileras de fuertes imanes entre las cuales pasa una aleta metálica colocada a lo largo de los carros en la parte inferior. Cuando la aleta pasa al lado de los imanes, se induce en ella corrientes parásitas por efecto del fenómeno de inducción magnética. Estas corrientes parásitas interactúan con los imanes y generan una fuerza que se opone al movimiento de los carros y que los frena. Una ventaja de este sistema es que las partes que interactúan no están en contacto, lo que evita los desgastes y reduce los tiempos de mantenimiento correctivo.

1.3.4. Sistema de seguridad

Aunque menos tangible, el sistema de seguridad también es parte integrante del sistema tecnológico de una montaña rusa. Los pasajeros viajan sentados en asientos que tienen incorporadas barras de contención que los sostienen. Estas barras son accionadas por el personal que opera el juego, por lo tanto, el pasajero no tiene la posibilidad de evitar su protección². La seguridad es crucial. Lo que queda librado al pasajero es la sensación de inseguridad que provoca el juego y a la que se expone como parte de la diversión que busca. De nuevo, los recursos tecnológicos permiten la mejora continua de los elementos de seguridad.

² Para comparar, mencionamos que un conductor de automóvil puede desdeñar la protección del cinturón de seguridad.

1.3.5. La montaña rusa como sistema físico

¿Cómo funciona una montaña rusa? En el laboratorio a cielo abierto que representa un parque de diversiones, observamos primero que una montaña rusa es un excelente ejemplo de un sistema físico donde se efectúan conversiones de la energía.

1.3.6. Las formas de la energía

La energía tiene múltiples formas. Se llama energía cinética a la energía asociada al movimiento. Un objeto que se mueve tiene energía cinética igual a la mitad del producto de su masa m por su velocidad v elevada al cuadrado: $\frac{1}{2}mv^2$. Se llama energía potencial gravitatoria a la energía que se almacena en un objeto que se eleva una altura h por encima de un nivel de referencia, usualmente el nivel del suelo, y es igual al producto mgh , donde g es el valor de la gravedad: $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Cuando los carros de la montaña rusa son llevados a lo alto de la primera colina, adquieren su máxima energía potencial gravitatoria. Esta energía es aportada por el trabajo mecánico que hace el motor del sistema de elevación. Una vez en lo alto, los carros se liberan y empiezan a caer por un primer plano inclinado formado con los rieles. En esta caída profunda, pierden altura y ganan velocidad: más altura pierden, más velocidad adquieren. Por lo tanto, van ganando energía cinética, lo que hacen a costa de la disminución de energía potencial. La energía se ha convertido de un tipo a otro.

Al fondo de la primera bajada, los carros tienen la máxima velocidad de todo el trayecto. En consecuencia, la energía cinética también es máxima, y es toda la que se necesita para continuar el movimiento. La inercia de los carros aporta el resto.

1.3.7. La inercia

La inercia es la propiedad de los cuerpos de no modificar su estado de reposo o movimiento si no es por la acción de una fuerza externa a ellos. De otra manera: la inercia es la resistencia (o “pereza”) de un cuerpo a cambiar su estado de movimiento o de reposo. Una vez que los carros están en movimiento es difícil pararlos. En la montaña rusa hay un traspaso de una parte de la energía cinética ganada en la primera caída a energía potencial, y esto ocurre cada vez que los carros suben las cuestas metálicas.

1.3.8. El rozamiento

Puesto que los carros rozan con los rieles y con el aire, el rozamiento –que es la resistencia que se opone al movimiento de un cuerpo sobre o dentro de otro– “roba” un poco de energía a los carros, y esta energía se disipa en la forma de calor. Por eso, las sucesivas colinas de una montaña rusa tienen cada vez menor altura, puesto que los carros se van quedando con menor energía para subirlas. De allí que el trayecto de la montaña rusa está calculado para

que los carros tengan en los distintos tramos con curvas, subidas y bajadas, la velocidad adecuada con la cual atacarlos. El desarrollo del cálculo dinámico de este sistema físico es crucial para garantizar la eficacia del juego y no cometer errores.

1.3.9. Velocidad y aceleración

La velocidad de los carros cambia todo el tiempo, a veces aumenta, a veces disminuye; y los cambios en la dirección del movimiento también son permanentes: los carros suben, bajan o giran. Cualquier cambio que se produce en la velocidad se llama aceleración, y son las fluctuaciones de la aceleración lo que hace divertida a una montaña rusa.

Con una mirada complementaria, una montaña rusa es una máquina que usa la gravedad y la inercia para dirigir a lo largo de una pista a un grupo de carros con personas que buscan emoción y diversión. Aunque las montañas rusas sean cada vez más altas y veloces, los principios físicos fundamentales son siempre los mismos.

1.3.10. Las fuerzas sobre los carros

La segunda ley de Newton dice que para producir aceleración a un cuerpo hay que aplicarle fuerzas externas. La fuerza gravitatoria actúa constantemente hacia abajo sobre los carros y la pista donde hacen contacto también les aplica fuerzas. La pista canaliza estas fuerzas sobre los carros, es decir, controla la forma en que se mueven los carros. Si la pista tiene un tramo descendente, los carros aceleran porque la gravedad tira de ellos y los apura para que bajen. Si la pista tiene una subida, la gravedad frena a los carros y éstos se desaceleran. Si la pista tiene una curva, gracias al peralte de la curva, hay una componente de las fuerzas que se convierte en la necesaria fuerza centrípeta que hace girar a los carros. El rozamiento (entre carros y pista, y entre carros y el aire) también juega su rol y, como “enemigo” del movimiento, frena a los carros todo el tiempo. Todas estas fuerzas, en conjunto, modifican el movimiento de los carros.

El balance de la aceleración variable que se produce (debido a que las fuerzas cambian constantemente) y la aceleración debida a la gravedad es el responsable de las emociones que se viven en el juego. Uno de los efectos que percibimos es que nuestro peso aparente está modificándose todo el tiempo. Experimentamos estas modificaciones con nuestro sistema sensorial y por la respuesta de nuestro cuerpo.

1.3.11. Las fuerzas sobre nuestro cuerpo

Para entender las sensaciones que experimentamos en una montaña rusa, veamos cuáles son las fuerzas que actúan sobre nuestro cuerpo.

Sabemos que cuando estamos de pie, la gravedad nos tira hacia abajo y el suelo nos empuja hacia arriba para que no nos hundamos en el piso. La sensación de peso nos la provoca justamente la fuerza que nos ejerce el piso desde abajo en los pies, fuerza que se transmite a todo el cuerpo por los huesos de las piernas y de allí hacia arriba. Cuando estamos en los carros,

mientras nos movamos con velocidad constante (es decir, sin aceleración) pasa exactamente lo mismo. Pero cuando los carros aceleran, nos sentimos presionados contra el asiento o contra las barras de contención. Sentimos estas fuerzas porque tenemos inercia, lo que hace que tratemos de mantener el estado de movimiento en el que nos encontramos. Es importante considerar que nuestra inercia está desacoplada de la del carro, y cuando los carros aumentan su velocidad nuestro cuerpo trata de continuar con la misma velocidad que traía, pero el asiento –tarde o temprano– nos empuja hacia adelante para cambiar nuestro movimiento. A su vez, cuando los carros frenan, nuestro cuerpo quiere continuar naturalmente hacia adelante con la velocidad que lleva, y es el arnés de seguridad que nos soporta el que nos frena. Esta es la única forma en que podemos acompañar el movimiento del carro.

Durante el recorrido a lo largo de la montaña rusa nuestro cuerpo siente la aceleración de múltiples maneras y ahí reside la gracia del juego. Todo el tiempo sentimos fuerzas que nos cambian el estado de movimiento. Y siempre sentimos el “tirón de la aceleración” viniendo de la dirección opuesta de la fuerza real que nos acelera. Así, si de repente nos movemos hacia adelante, nuestra inercia nos hacer sentir como que algo nos empuja hacia atrás. Lo que es interesante para la física de los sistemas en movimiento acelerado, también es interesante para el efecto del juego. La fuerza debida a la aceleración se siente de la misma manera que la fuerza de la gravedad que nos tira hacia la Tierra. Por eso nos sentimos con otro peso, o un peso aparente o dentro de una falsa gravedad. Es usual llamar a esas fuerzas de la aceleración como fuerzas- g . Así, $1\ g$ es igual a la fuerza de la aceleración debida a la gravedad cerca de la superficie de la Tierra ($g = 9,8\ m/s^2$).

Puesto que en el juego la aceleración cambia todo el tiempo, también lo hacen las fuerzas de la aceleración. Estas fuerzas interactúan con la fuerza gravitatoria de una manera muy interesante. La atracción del juego consiste en que sentimos distintos pesos aparentes a lo largo de un recorrido sinuoso. En el minuto y medio que dura el paseo no logramos adaptarnos a un peso aparente, cuando ya tenemos otro.

Un momento de gran emoción ocurre cuando empieza el movimiento de los carros desde la parte más alta de la montaña rusa. Nuestra inercia hace que sigamos subiendo o que nos quedemos en reposo en lo alto, mientras que el carro ya está empezando a bajar. Sentimos entonces que se nos retiró el asiento donde nos apoyamos y por un momento nos sentimos “en el aire”. Basta con escuchar los alaridos de los pasajeros para apreciar el efecto que se produce. En el trayecto, nuevos gritos marcan aquellos lugares donde los cambios de la velocidad son más repentinos. Al final del recorrido, la sonrisa que se aprecia en los pasajeros bien puede tomarse como el sello de calidad del juego.

En síntesis, contra la creencia popular, no es la velocidad sino la aceleración lo que produce el efecto del juego. Cuando viajamos en un automóvil a $100\ km/h$ vamos más rápido que en el punto más veloz de una montaña rusa. Pero, ¿qué es más excitante? ¿Continuar a esa velocidad o modificarla súbitamente? La montaña rusa logra esos cambios súbitos.

El diseño de la montaña rusa permite que los pasajeros estén sometidos a aceleraciones máximas de tres a cuatro veces el valor de la aceleración debida a la gravedad a la que normalmente estamos sometidos, por uno o dos segundos nada más. Esta aceleración –a la que no estamos acostumbrados– es la que da la sensación de peligro. La exposición a mayores aceleraciones y por más tiempo puede ser perjudicial para el cuerpo humano.

1.3.12. Efectos sobre el cuerpo

Nuestro cuerpo no es completamente sólido y los efectos que sentimos en la montaña rusa tienen que ver con esto. Estamos compuestos de muchas partes conectadas entre sí de distintas maneras, algunas partes están conectadas a otras débilmente. En nuestros movimientos cotidianos, las fuerzas sobre cada parte son aproximadamente constantes. Pero cuando el cuerpo se acelera, cada parte del cuerpo se acelera de forma individual. Cuando en la montaña rusa el asiento del carro nos empuja y acelera, los huesos de la espalda empujan a las demás partes internas, que a su vez se empujan entre ellas. En definitiva, adentro nuestro todo es empujado, dándonos la sensación de tener un peso aparente distinto a nuestro peso normal. Pero en una “caída libre” justo cuando el carro empieza a caer al comienzo del recorrido, a la fuerza gravitatoria se le opone la fuerza de la aceleración y nos sentimos sin peso. En ese momento, las distintas partes del cuerpo no se empujan entre sí como antes y cada parte cae por su cuenta. Con cada parte del cuerpo cayendo individualmente, experimentamos sensaciones distintas a las que estamos habituados cuando tenemos los pies sobre la tierra. Por ejemplo, sentimos la distintiva sensación de tener vacío el estómago, porque el estómago se vuelve súbitamente más liviano y ya no lo sentimos como antes. Sentimos algo parecido cuando viajamos en un ascensor que arranca rápido.

Si a todo esto le sumamos que durante el paseo rotamos rápidamente, tomamos curvas cerradas, entramos y salimos de tirabuzones en vuelos de cinco segundos y nos ponemos cabeza abajo varias veces, el efecto global del juego sobre el cuerpo es muy impresionante. Además, como el juego funciona al aire libre, no tenemos demasiadas referencias visuales, es decir, no tenemos un horizonte de donde tomar claves o marcas visuales. Al mismo tiempo, vemos pasar a las nervaduras de la pista y a las columnas de la estructura muy rápidamente, con el aire golpeando nuestro rostro, lo que aumenta la sensación de que estamos haciendo algo a una velocidad que parece estar fuera de todo control. En esto reside la eficacia del juego para despertar en nosotros variadas emociones, una tras otra, en un tiempo (psicológico) que parece interminable.

1.3.13. El inevitable mareo

En este tipo de juegos es inevitable sufrir un mareo, por pequeño que sea. Este mareo se llama “mareo cinético o de movimiento”. O vértigo, simplemente.

El vértigo es un trastorno momentáneo del sentido del equilibrio. Sentimos vértigo cuando experimentamos la sensación de que uno mismo -o el espacio- está girando o moviéndose. Esto sucede cuando nuestro cuerpo está sujeto a aceleraciones en diferentes direcciones, tal es el caso de la montaña rusa. También ocurre cuando nuestros ojos tratan de buscar algún punto delante donde fijar la mirada y no lo pueden focalizar. A veces nos pasa esto cuando bajamos rápidamente por una escalera en caracol.

Cuando estamos en una montaña rusa, todo se mueve respecto de nosotros y no podemos fijar un horizonte. Nuestros centros de equilibrio en los oídos internos envían entonces información al cerebro que entra en conflicto con las marcas visuales que nos dan los objetos que vemos estacionarios. Esto es más notable al final del recorrido de la montaña rusa, inmediatamente después de descender de los carros: sentimos que “todo da vueltas” porque nuestros oídos

internos aún registran movimiento, pero nuestros ojos no pueden dar cuenta de que estemos moviéndonos. Esta diferencia de información de dos elementos distintos “confunde al cerebro”. A esto se asocian sensaciones raras en el estómago, hasta que al final nos recuperamos. Algunos estímulos visuales también pueden marearnos aunque no estemos en movimiento. Con un simulador de una montaña rusa podemos marearnos simplemente por mirar la pantalla de la PC.

1.4. Otros juegos

No todos los juegos se desarrollan en la altura ni a grandes velocidades. Algunos funcionan al ras del piso. Como vimos, la velocidad no importa tanto, sino que la “estrella” de muchos juegos es la aceleración.

1.5. El juego de las tazas

El juego de las tazas es un ejemplo de atracción mecánica que combina movimientos de rotación para producir interesantes efectos. Consiste de una plataforma circular que gira en torno de un eje fijo central vertical. La plataforma tiene a su vez partes móviles (las llamaremos platos) que los mecanismos hacen girar respecto de ejes que no coinciden con el principal. Por cada vuelta de la plataforma, cada plato gira tres veces en un sentido de rotación opuesto al de la plataforma. Es decir, la velocidad angular del plato es el triple de la velocidad angular de la plataforma. Esto es posible por la combinación de motores y operadores mecánicos

que, de alguna manera, forman parte del secreto del juego.

Cada uno de esos platos tiene tres tazas que también pueden girar respecto de sus propios ejes. Las personas van sentadas en las tazas y mediante un volante pueden ponerlas a girar respecto de un eje que pasa por el centro de las tazas. En combinación, los pasajeros se mueven en complicadas trayectorias definidas por la superposición de los diferentes movimientos de rotación.

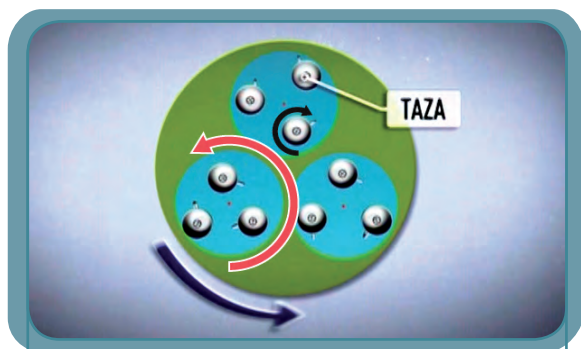


Figura 11. Esquema del juego de las tazas

Para producir la rotación de la plataforma hace falta un motor potente, y para que los platos giren de la manera en que lo hacen se necesita un mecanismo de transmisión especial. El concepto detrás de este problema recae sobre la elección de los operadores adecuados que den la solución tecnológica.

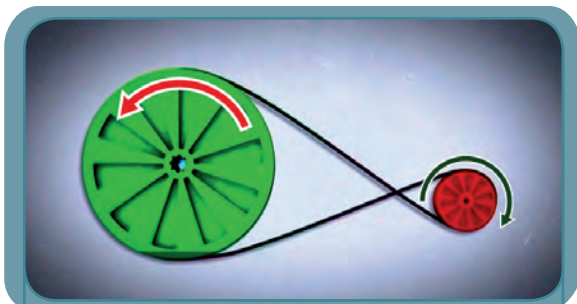


Figura 12. Sistema de dos poleas y correa cruzada para invertir el sentido de rotación de una polea respecto de la polea motriz

Conceptualmente, el mecanismo de transmisión aludido es simple. Hacen falta un par de poleas multiplicadoras vinculadas por una correa que sólo con cruzarla logre la inversión del sentido de giro. Si la polea central del juego gira a una velocidad angular dada, la polea desplazada tiene que tener un tercio del diámetro de la primera y girará con el triple de velocidad angular. Con la correa cruzada, lo hará en sentido inverso.

1.5.1. El movimiento del pasajero

Con los operadores adecuados se logra un movimiento neto del pasajero que es la combinación o superposición de tres movimientos de rotación distintos: el de la plataforma, el del plato y el de la taza. Puesto que un sistema en rotación es un sistema acelerado (la dirección de la velocidad de un punto cambia todo el tiempo), el juego tiene asegurado el recurso de mantener acelerados a sus participantes todo el tiempo.

1.5.2. El propósito del juego

El propósito del juego es “complicar” al pasajero que sufre sucesivos giros, a los que no le será fácil adaptarse en intervalos breves. En esta atracción, el vértigo está garantizado. El movimiento del pasajero está compuesto por uno de rotación principal y por cambios permanentes de posición dentro de la plataforma. De esta manera, mientras gira, la distancia del pasajero al centro del juego es variable y en cada acercamiento o alejamiento del eje central, su velocidad tangencial cambia. Cuando el pasajero está cerca del eje, adopta cierta posición de comodidad en la taza, moviéndose a una cierta velocidad en esos instantes, pero el mecanismo de rotación del juego gira los platos y lo obliga a alejarse del centro, y lo perturba otra vez. Y así, sucesivamente. En este juego pueden experimentarse momentos de suave movimiento y otros con sacudones pronunciados. Si, además, el pasajero hace rotar a la taza sobre sí misma torciendo el volante que la taza lleva incorporado, estos sacudones lo encontrarán de frente al sentido de movimiento, de perfil o de espaldas, lo que modificará todo el tiempo su percepción de los cambios que experimenta en la dirección y el sentido de su movimiento.

1.5.3. Combinación de movimientos

Hay mucho de geometría para destacar en este juego. Observamos que la trayectoria de un pasajero es el resultado de la combinación de tres rotaciones independientes, lo que le confiere al

movimiento una distinguida particularidad. La trayectoria que sigue el pasajero es una curva complicada. Esta curva puede ser cerrada o abierta, dependiendo de las relaciones entre las velocidades de rotación que imprimen los mecanismos. Hay varias posibilidades bastante interesantes y todas ellas generan distintas variantes al movimiento acelerado resultante al que se somete el participante.

Finalmente, es oportuno relacionar el movimiento provocado en este juego con el movimiento de la Luna alrededor del Sol. La Luna gira alrededor de la Tierra con un período de 29 días. La Tierra gira alrededor del Sol y da una vuelta en 1 año. El movimiento de la Luna alrededor del Sol acompañando a la Tierra es combinado, que hace que la trayectoria del satélite en el espacio sea como se ilustra a continuación. Es útil destacar estas analogías entre distintos casos, puesto que una vez que se comprende un caso, las conclusiones pueden extenderse para la comprensión de otro. Los científicos y tecnólogos se divierten bastante interpretando y resolviendo problemas “por analogía”.

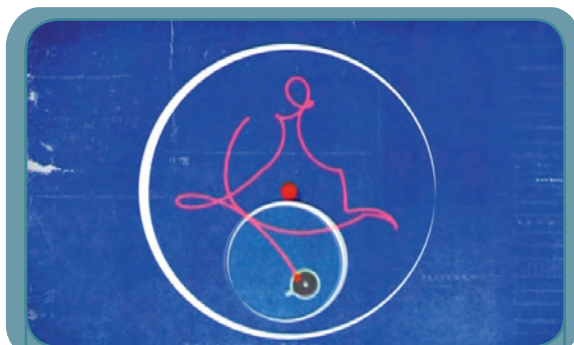


Figura 13. Una posible trayectoria en el juego de la taza en torno al eje central

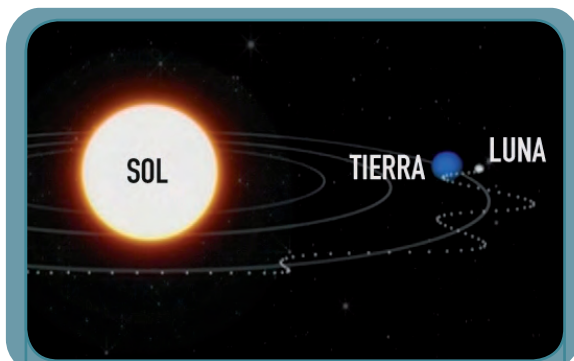


Figura 14. Esquema del movimiento de la Luna en órbita alrededor de la Tierra que a su vez gira en torno al Sol

1.6. El juego del péndulo

Por lo general, los juegos de un parque de diversiones son atracciones grupales, es decir, admiten la participación simultánea de muchas personas, aunque sabemos que la satisfacción de las expectativas es personal. Hay un juego que permite a los participantes experimentar la violencia del movimiento en grupos de dos o tres, también solos, aunque siempre expuestos a la mirada de todo el público. Es el caso de un gran columpio de 60 metros de altura.

1.6.1. Descripción del juego

El juego es un gran péndulo bifilar, es decir, tiene dos hilos. El participante oscila colgado de dos cables de acero suspendidos de una gran estructura metálica. Los dos cables fuerzan a que

la oscilación ocurra en un único plano, lo que da estabilidad a la trayectoria del participante. Los cables se conectan por medio de ganchos de seguridad a un arnés especial con que se provee al participante. Usando otro cable que se conecta al arnés, un sistema de motor-polea iza al participante hasta dejarlo a 60 metros del piso, en posición horizontal. El participante elige el momento en que él mismo va a accionar un mecanismo que lo desenganche del cable que lo izó, pero obviamente manteniéndose unido al primer par de cables. A partir de entonces se observan situaciones muy interesantes.

Al principio el participante está estacionado en lo alto, en posición horizontal, en el momento que se libera para empezar a caer. Cuando se desengancha del sistema de izado inicia una breve caída libre; como el cuerpo ejecuta una leve rotación, queda cabeza abajo por un breve instante. Al empezar a caer, el par de cables que lo sostiene se tensa y empieza el movimiento pendular.

A la sensación inicial de estar cayendo libremente le sigue la del cambio de la velocidad. A medida que el jugador va cayendo sujeto a los cables que forman el péndulo, la velocidad aumenta. Esto es consecuencia de la conversión de energía potencial gravitatoria en energía cinética. La máxima velocidad la alcanza en el punto más bajo de su trayectoria, al cabo de la bajada inicial, en la primera pasada por el punto de partida.

El punto de partida, con el cable vertical y el jugador en reposo, es un punto de equilibrio estable del sistema. Una vez que se retira al participante de ese lugar, se lo eleva y libera, la fuerza gravitatoria y la tensión de los cables lo restituyen al punto de equilibrio. Las dos fuerzas constituyen un sistema de fuerzas de restitución. Esta condición es imprescindible para que haya oscilaciones. Otra fuerza que interviene es la fuerza del rozamiento entre el aire y el participante, y entre el aire y los cables. Este rozamiento es del tipo viscoso y aparece entre un fluido (el aire en este caso) y los cuerpos que en él se mueven. Los cables, que son parte del sistema oscilatorio, también rozan en sus puntos de amarre en la estructura, roce del tipo seco.

Una vez que el jugador llega con máxima velocidad al punto de partida, se pasa de largo por su inercia, y continúa su trayectoria subiendo un poco hasta que se detiene en un punto de retorno. Allí invierte el sentido de movimiento y para hacerlo tiene que detenerse un instante. Es decir, en lo más alto de la segunda parte del recorrido, en el lado opuesto de donde inició el movimiento, la velocidad se hace cero y a partir de entonces el movimiento invierte el sentido. Es un lugar donde ocurre la sensación de empezar a caer de nuevo. Pero la fuerza de la gravedad y la de los cables tiran de nuevo y orientan el cuerpo del jugador otra vez hacia el punto de equilibrio.

De no existir el rozamiento, el jugador alcanzaría la misma altura que la inicial hasta donde fue remontado y de donde fue liberado. Pero el roce con el aire le resta energía y lo frena. De allí, que cada tramo de la oscilación se haga alcanzando una menor altura, y el pasaje por el punto más bajo se haga cada vez a menor velocidad. De no existir rozamiento, en este péndulo de 60 metros la velocidad máxima (en el punto más bajo) sería de 120 km/h. Sin embargo, la que se obtiene en la primera caída es menor, unos 90 km/h.

Un péndulo de 60 metros de longitud tarda unos 16 segundos en hacer una oscilación, por lo tanto tarda 4 segundos desde la parte más alta hasta el punto más bajo. Es decir, el jugador cambia su velocidad desde cero hasta 90 km/h en 4 segundos, lo que provoca una gran sensación en el jugador. Asimismo, todo esto pasa mientras el jugador ve abajo el piso que “se acerca a él” cada vez a mayor velocidad.

1.6.2. Movimiento Oscilatorio

La observación de este juego permite considerar los aspectos más salientes de un movimiento oscilatorio amortiguado. Lo que se amortigua o mengua es la altura máxima que alcanza el péndulo en cada oscilación. En este juego el participante no oscila más de cinco veces, es decir, sólo realiza unos cinco ciclos. El efecto del roce es muy intenso: mientras se desplaza, el participante enfrenta al aire con una gran área, y además la fuerza de roce viscosa es mayor cuanto mayor es la velocidad. Finalmente, con ayuda externa por parte de los operarios que controlan el juego, el jugador termina deteniéndose para desenganchar el arnés y dar por concluido el juego. Otra forma de observar esta amortiguación consiste en observar el ángulo que forman los cables con la vertical en el punto más bajo, el punto de equilibrio. Observamos, a simple vista, que el cable comienza prácticamente paralelo al piso, es decir, formando un ángulo de 90° con la vertical. Si filmamos el movimiento y luego pasamos la película, podemos detener la imagen en aquellos instantes en que el péndulo alcanza los puntos de retorno y medir el ángulo entre los cables y la vertical. Con esta información se puede estimar a qué velocidad máxima funciona este juego. También podemos tomar fotografías y capturar instantáneas con el participante en el punto más alto de cada oscilación a un lado y al otro. (Aquí está la idea de que un parque de diversiones es un laboratorio a cielo abierto). La observación permite estimar que, en cada ciclo, el rozamiento decrece la energía inicial del péndulo cerca del 25%.

1.6.3. La seguridad de este juego

Un aspecto a considerar es el de la seguridad. El péndulo bifilar está pensado para estabilizar la trayectoria del péndulo y mantenerla en un plano. Al mismo tiempo, para la seguridad dos cables son mejores que uno. Si uno de ellos se corta, el otro resiste (se trata de evitar que ambos se corten). En cualquier caso, importa considerar la tensión a la que estarán sometidos. El caso más desfavorable es cuando el péndulo está pasando por el punto más bajo de la trayectoria. El cable no sólo debe soportar a la persona que oscila sino que debe proveer la fuerza



necesaria para que haya aceleración centrípeta. La trayectoria es parte de un círculo, con el centro en la parte más alta de la estructura de donde cuelgan los cables. En la parte más baja, la tensión del cable puede llegar a ser hasta tres veces el peso de las personas que se cuelgan. Por ejemplo, si cada persona pesa unos 80 kilogramos y suben tres, y pasan por la parte más baja aproximadamente a 100 km/h, el cable tiene que poder resistir por lo menos tres cuartos de tonelada. Como hay dos cables, cada uno debe poder resistir sin romperse la mitad de ese valor. Para aumentar la seguridad se eligen cables de acero con tensiones de ruptura mucho mayor³.

1.7. Actividades para el aprendizaje

Las actividades que se proponen están relacionadas con los temas más relevantes que se desarrollan en el video. Los docentes podrán adaptarlas a sus necesidades didácticas y a las actividades de sus cursos. En este sentido las actividades son sugerencias de lo que se puede hacer, sin embargo se pueden ampliar sin dificultad o bien reemplazarse por otras parecidas que el docente crea pertinentes y que conozca para ilustrar los mismos temas. En cualquier caso, deseamos que lo que aquí se presenta resulte inspirador.

En algunos casos, las actividades se tienen que desarrollar usando técnicas novedosas y nuevas tecnologías, lo que permite incorporar un componente atractivo para los alumnos. Hoy en día, el uso de cámaras digitales o celulares que filman está extendido entre los jóvenes. Un buen modo de vincular a nuestros alumnos con esas tecnologías es utilizarlas en actividades que presenten valor educativo. De la misma manera, el uso de herramientas informáticas ubicuas, como las planillas electrónicas incluidas en diversos paquetes informáticos, debería tenerse en cuenta para potenciar algunas actividades que requieran de análisis numérico o gráfico. Nuestros alumnos de secundaria están en condiciones de usar estas herramientas – como “nativos digitales” que son – para llevar adelante un proyecto. De esta forma, el trabajo que puede desarrollarse con foco en, digamos la física, podrá ser complementada con actividades que involucren manejo informático y otras tecnologías.

En otros casos, las actividades son convencionales y requieren lectura del texto previo a esta guía y algo de investigación por parte de los alumnos para responder el mayor número posible de preguntas.

1.7.1. Recursos

Para desarrollar las actividades se requieren conocimientos básicos del tema central o específico que se va a tratar. El docente está en condiciones de decidir si dicha exposición se realizará previamente al planteo de las actividades, o si presentará la práctica y el estudio de manera simultánea.

El software que se sugiere en algunas actividades es –generalmente– libre y gratuito, y se puede descargar de Internet. Si la actividad lo amerita, se indica el software a usar y se presentan las instrucciones básicas para usarlos rápidamente. En cuanto al uso de una cámara digital con po-

³ Cabe aclarar que los valores consignados son estimativos. Un cálculo más preciso exige considerar el peso de los cables y el hecho de que cada uno forma un ángulo con la vertical, y sólo la fuerza que hagan en la dirección vertical sirve para sostener al péndulo.

sibilidad de filmar, se espera que en cada escuela se puedan contar con alguna, o bien usar un celular (dispositivo hoy en día “muy popular”) o una webcam (incorporada a la PC y “más barata”). Las actividades están pensadas para que puedan llevarse a cabo en el aula, taller o laboratorio de ciencias, de acuerdo a la disponibilidad de cada escuela. Algunas de ellas se podrían realizar en patios o al aire libre. Los elementos que requieren algunos experimentos son sencillos y de muy bajo costo.

Sería importante visitar un parque de diversiones, en el caso de que fuera posible, se sugiere -para sacar el mejor provecho posible- tener previsto qué juegos valdrá la pena filmar para estudiarles el movimiento y qué aspecto del movimiento va a destacarse. Lo adecuado sería planificar la visita y concentrar la atención en casos que sean de mayor interés para los alumnos. Como un gran número de escuelas no están cerca de un parque de diversiones, para sus docentes y alumnos será útil observar el funcionamiento de algunos juegos de plazas, como columpios y toboganes, a fin de analizar casos reales de movimiento. En última instancia, hay partes del video que se prestan muy bien a ser reproducidas “cuadro por cuadro” o en “cámara lenta” para poder observar con detenimiento los detalles del movimiento de algún juego y, al menos, hacer una descripción cualitativa.

No obstante, proponemos tomar como ejemplo de sistema tecnológico una bicicleta, que está al alcance de todos, y analizarla de la misma manera que en el texto se explica la montaña rusa.

1.7.2. Actividades

Las actividades sugeridas son las siguientes:

1. Sistema nervioso y su efecto sobre algunas respuestas fisiológicas
2. Análisis de un sistema tecnológico. Un ejemplo con una bicicleta
3. Análisis de un material. Medición del módulo de Young del acero
4. Estudio de un péndulo simple
5. Efectos del rozamiento. Oscilaciones amortiguadas
6. Combinación de movimientos. Uso de una planilla electrónica

1.7.2.1. Actividad 1: Sistema nervioso y su efecto sobre algunas respuestas fisiológicas

Espacio: aula

Materiales y recursos básicos: equipo reproductor de DVD con un monitor de buen tamaño para la proyección del video, o una computadora con cañón y pantalla de proyección; pizarrón para anotar consignas, preguntas, respuestas y dibujar. Los alumnos deberán contar con un cuaderno de notas.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas dos horas presenciales, pudiendo cambiar de acuerdo a las variantes que introduzca el docente quien hará la correcta estimación del tiempo. Se sugiere que los alumnos lean el texto previo a esta guía donde se describen la respuesta del cuerpo humano al estrés y su asociación con la motivación.

Video: se observará la primera parte del video, en la que se describe el comportamiento de una persona y su respuesta fisiológica antes, durante y después de la participación en la montaña rusa.

Contenidos: Algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: cuerpo humano. Sistema nervioso.

Introducción: en el capítulo Parque de Diversiones se narra la experiencia de un joven que va a subir a una montaña rusa. Se hace referencia a las situaciones de incomodidad que sufre frente al estrés que provoca la proximidad de ciertas acciones nuevas a las que no está acostumbrado. Su organismo va a reaccionar de acuerdo a las circunstancias.

Actividad

El docente podrá orientar a sus alumnos para que reseñen los contenidos más relevantes expresados por los actores en cuanto a las funciones del sistema nervioso central y las respuestas fisiológicas que produce frente a distintos casos. Además, podrá invitarlos a que manifiesten situaciones frente a las cuales sus respuestas corporales son involuntarias (sonrojos, palidez, etc.) y que identifiquen qué partes del sistema nervioso intervienen en cada caso. Tras esto, que puede resultar en una excelente oportunidad de comunicación entre los participantes de la clase, todo el grupo podría resumir las funciones del sistema nervioso, destacando el rol de los sistemas simpático y parasimpático.

Algunas preguntas

- ¿Cuáles son las diferencias entre los sistemas nervioso somático y autónomo?
- ¿Cuáles son las diferencias más importantes entre los sistemas simpático y parasimpático pertenecientes al sistema nervioso autónomo?
- Si mientras paseas por el campo se te cruza una serpiente. ¿Cuál es tu reacción? ¿Qué papel juega tu sistema nervioso autónomo en la secuencia de acciones fisiológicas que se producen en tu cuerpo? ¿Cuáles son esas acciones fisiológicas? ¿Qué papel juegan tus cápsulas suprarrenales?

La puesta en conjunto puede hacerse mediante exposiciones orales y discusiones.

Referencia: *Invitación a la biología*, 5ª edición, H. Curtis y N. S. Barnes, Ed. Médica Panamericana, Madrid, 1996.

1.7.2.2. Actividad 2: Análisis de un sistema tecnológico

Espacio: aula y casa.

Materiales y recursos básicos: equipo reproductor de DVD con un monitor de buen tamaño para la proyección del video, o una computadora con cañón y pantalla de proyección; pizarrón para anotar consignas, preguntas, respuestas y dibujar. Los alumnos deberán contar con un cuaderno de notas. Por lo menos una bicicleta.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas cuatro horas presenciales netas, pudiendo cambiar de acuerdo a las variantes que introduzca el docente y a las actividades no presenciales que asigne. Las actividades no presenciales incluyen el trabajo en grupo para analizar una bicicleta y deberán pautarse convenientemente.

Video: al comenzar la actividad el docente puede efectuar una introducción a los sistemas tecnológicos. Esto servirá para contextualizar el trabajo que se pedirá a los alumnos.

Contenidos: algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: sistemas tecnológicos. Integración de las partes y funciones de un sistema tecnológico. Operadores tecnológicos. Máquinas simples. Diseño y evolución de un objeto tecnológico.

Introducción: en el capítulo Parque de Diversiones se explica que la montaña rusa es un sistema tecnológico y se lo analiza destacando sus partes (sistema de ascensión, rieles, carros, freno). También se hace referencia a las componentes que forman parte de algunas de ellas. Por ejemplo, en el caso del carro se describen: el asiento, las ruedas, el sistema de seguridad; en el caso del sistema de ascensión se destacan los operadores implicados: motor, torno, cables, ganchos. También se destacan los cambios que varios de estos sistemas han sufrido por la actualización tecnológica, como el uso de acero para las vías, o mejoras en el sistema de frenado.

El propósito de esta actividad es retomar ese análisis con un artefacto de uso diario, como lo es una bicicleta, tomándolo como ejemplo de un sistema tecnológico.

La bicicleta como sistema tecnológico

Se puede pedir a los alumnos que traten de analizar una bicicleta poniendo atención a los múltiples aspectos del artefacto:

- Que puedan distinguir el sistema mecánico motriz de la máquina y que evalúen los operadores que lo componen.
- Que traten de analizar esos operadores sobre la base del funcionamiento de elementos sencillos: ruedas, cadenas de transmisión, bielas.
- Que traten de distinguir las componentes de este vehículo que tienen que ver con los requisitos que exigen las reglas de la ergonomía para adaptar la máquina a personas de distintas tallas y pesos, con distintos largos de brazos y piernas.
- Que discutan qué parte del diseño de una bicicleta combina el diseño ergonómico con la necesidad de que el vehículo sea más eficiente para convertir el movimiento de las piernas del conductor en movimiento lineal hacia adelante de la bicicleta.
- Que analicen las ruedas de la bicicleta, que observen el diseño actual de llanta y rayos y lo comparen con el de las primeras bicicletas.
- Que analicen qué partes de la bicicleta han sufrido mayores modificaciones desde su invención (estructura, ruedas, pedales, amortiguación para reducir vibraciones) y también en los últimos tiempos (uso de materiales más livianos, juego de plato y piñón para variar los desarrollos, inclusión de velocímetro, dínamo para generar energía eléctrica para prender los faros).
- Que se pregunten sobre el sistema de seguridad de la bicicleta: frenos, luces, faros, ojos de gato, bocina o timbre, espejo, ruedas auxiliares en bicicletas de niños; y que incluyan al conductor con su casco de seguridad, ropa adecuada, etc.

- Que discutan sobre la finalidad de la bicicleta como objeto tecnológico y con los cambios que ha tenido en el tiempo tal finalidad (locomoción, entretenimiento, competición, mantenimiento de la salud, transporte de cargas).
- Que distingan entre elementos necesarios y accesorios de una bicicleta (ornamentación, porta botella de agua).
- Que analicen las adaptaciones que requiere una bicicleta común para que sirva a personas con discapacidades visuales o motrices.

Desde luego, en el momento de la discusión grupal, no será dificultad alguna llevar una bicicleta al aula para contar con el objeto de estudio. Las siguientes imágenes muestran diseños de bicicletas y sus precursores, a través del tiempo.



Figura 15. Evolución de la bicicleta

Referencias:

Historia de la bicicleta

<http://www.mundocaracol.com/bicicletos/historia.asp>

<http://es.wikipedia.org/wiki/Bicicleta>

<http://www.atikoestudio.com/disenador/industrial/bicicletas/historia%20bicicleta.htm>

1.7.2.3. Actividad 3: Análisis de un material. Medición del módulo de Young del acero

Espacio: taller o laboratorio.

Materiales y recursos básicos: equipo reproductor de DVD con un monitor de buen tamaño para la proyección del video, o una computadora con cañón y pantalla de proyección; pizarrón para anotar consignas, preguntas, respuestas y dibujar. Los alumnos deberán contar con un cuaderno de notas. Barras de acero de unos 60 cm de largo y sección rectangular estándar de $7/8'' \times 1/8''$ (2,22 cm x 0,32 cm). Mordazas para fijar la barra a una mesa. Bloques de metal o cargas equivalentes, de entre 0,5 kg y 2 kg, que se puedan colgar a la barra. Una balanza para pesar los bloques. Reglas que aprecien 1 mm.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas cuatro horas presenciales netas. Las actividades incluyen el montaje del experimento, las mediciones y el análisis gráfico. Se sugiere que varios grupos de alumnos trabajen simultáneamente y que luego compartan resultados.

Video: servirá para presentar la importancia de conocer las propiedades de los materiales de construcción.

Contenidos: algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: materiales de construcción. Propiedades físicas de los materiales. Módulos de elasticidad de un material. Procedimientos experimentales básicos. Análisis gráfico de datos.

Introducción: en el video se destaca que los materiales con que se construyen los juegos de un parque, o partes de ellos, tienen que elegirse adecuadamente. Los presentadores analizan en detalle el caso del poliuretano con que se recubren las ruedas de los carros de las montañas rusas. Es común recurrir a las tablas de datos contenidas en manuales para conocer los valores de las magnitudes relevantes de los materiales de construcción, tales como módulos de elasticidad y de corte, entre otros. Es útil preguntarse cómo se obtienen experimentalmente las propiedades de los materiales que se usan. Se investigará la elasticidad del acero, un material con el que se construyen las grandes instalaciones de un parque de diversiones.

La elasticidad del acero

Todos los materiales son elásticos y se deforman en cierto grado. Un cuerpo completamente rígido es una ilusión. Esto es importante a la hora de construir estructuras. Por ejemplo, para construir una montaña rusa hay que usar materiales fuertes, pero a la vez flexibles, para que la estructura no se derrumbe con el movimiento. Lo indispensable a considerar es la geometría de los elementos a usar y las propiedades elásticas de los materiales con que están hechos. Para este tipo de aplicaciones, los ingenieros cuentan con métodos no destructivos que aportan datos sobre la elasticidad y la resistencia de los materiales.

Además de por sus dimensiones, el comportamiento de un material que se estira, flexiona o dobla está determinado por su grado de elasticidad. La facilidad que tiene un material para estirarse o comprimirse se mide con lo que se denomina módulo de Young⁴, cuyo símbolo es E . Este “módulo de elasticidad” está asociado con los cambios de longitud que experimenta una varilla o barra cuando está sometida a esfuerzos de tracción o de compresión.

Por otra parte, no es difícil darse cuenta de que cuando se flexiona una barra, ésta experimenta un alargamiento en un lado y un acortamiento en otro. Estas deformaciones dependen de su elasticidad.

Lo precedente da lugar a un experimento sencillo para medir E , que consiste en usar una barra homogénea en voladizo, con uno de sus extremos fijos y el otro libre, a la que se le añaden pesos conocidos.

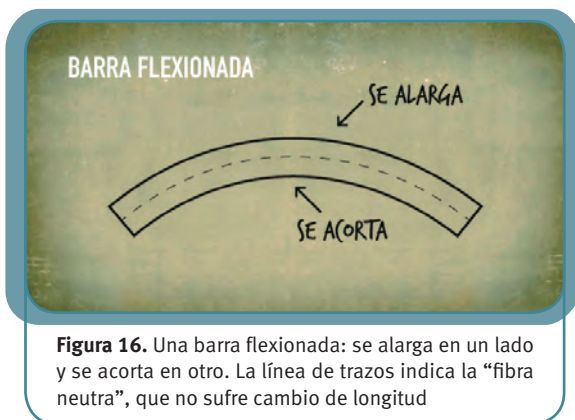


Figura 16. Una barra flexionada: se alarga en un lado y se acorta en otro. La línea de trazos indica la “fibra neutra”, que no sufre cambio de longitud



Figura 17. Diseño propuesto para medir el módulo de elasticidad del acero por medio de un experimento de flexión

⁴ En honor a Thomas Young (1773-1829), el científico inglés que propuso cómo medir la elasticidad de diferentes materiales.

Si la forma de la barra tiene una geometría que se opone mucho a la rotación de la barra, y además el módulo de elasticidad es grande, el desplazamiento del extremo libre, al que llamaremos f , será pequeño. Si, por el contrario, el módulo es débil y la geometría no resiste demasiado, f será grande. El valor de la deformación del extremo libre responde a la expresión:

$$f = \frac{L^3}{3JE} P$$

Aquí, P es el peso que la barra tiene aplicado en el extremo libre, L es la longitud de la barra que sobresale del extremo fijo, J es el momento de inercia de la sección transversal de la barra respecto de la línea central que no se estira y que se llama “fibra neutra”: $J = (a \cdot b^3)/12$, donde a y b son los lados del área transversal de la barra.

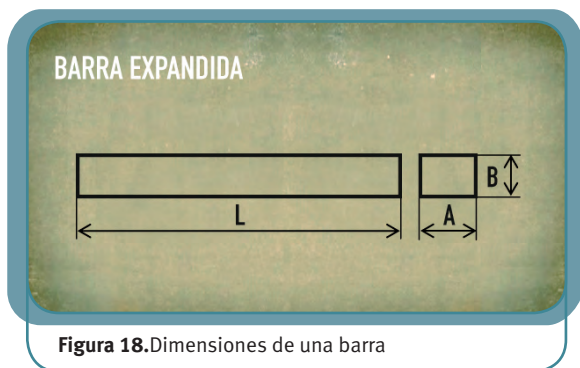


Figura 18. Dimensiones de una barra

A medida que aplicamos más peso, la deformación de la barra aumenta. El desplazamiento vertical f del extremo libre es directamente proporcional al peso. Si graficamos f para distintos pesos, esperamos una relación lineal entre ambas variables, y la pendiente de la recta que se encuentre (que llamaremos C) será:

$$C = \frac{L^3}{3JE}$$

Una vez conocido el valor de la pendiente de la recta, es sencillo despejar el valor del módulo E . Este valor es característico de cada material en un régimen de comportamiento en el que las deformaciones no son permanentes. Esto se puede verificar observando que tras aplicar una carga al extremo libre y retirarla, el material recupera su posición original. Finalmente, es bueno comparar los valores de los módulos E obtenidos por este método con los que están en las tablas de datos para el mismo material.

En síntesis, una propiedad física del acero, como su módulo de elasticidad, puede ser medida con un ensayo no destructivo, barato y fácil de realizar en el laboratorio.

Para este experimento es necesario contar con una planchuela de acero, de unos 60 cm de largo y sección rectangular estándar de 7/8" x 1/8". La planchuela puede anclarse a una mesa con una mordaza para mantenerla en voladizo. Se necesita una balanza para pesar los pesos que se cuelguen y una regla que aprecie 1 mm. Los pesos tienen que colgarse del extremo libre de la barra en voladizo. Siempre será mejor hacer el experimento con muchos pesos, digamos unos diez distintos, a fin de construir un gráfico significativo.

Para el análisis de los datos que se vuelquen a un gráfico de los distintos desplazamientos f que causan los distintos pesos P , se tiene que definir lo que se conoce como la “mejor recta” que se ajuste a la tendencia de los datos.

Pregunta:

¿Cómo se compara el valor medido del módulo E con el que se encuentra en tablas de datos para el mismo material?

Referencias sobre el tema

María A. Llera y E. Rodríguez, *La elasticidad del acero*, Revista IDEÍtas, Año I, Número 2, enero-marzo de 2010, páginas 17 y 18. La revista tiene contenidos de ciencia y tecnología y se distribuye gratuitamente en escuelas secundarias de la región de la Universidad Nacional de General Sarmiento. Versión digital de la revista en <http://issuu.com/ideitas/docs/ideitas2/>.

En la web:

Flexión de una viga en voladizo: http://www.sc.ehu.es/sbweb/fisica/solido/din_rotacion/viga/viga.htm

Para consultar sobre análisis gráfico de datos:

Salvador Gil y Eduardo E. Rodríguez, *Física re-Creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías*, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001; capítulo 4.

En la web:

<http://www.fisicarecreativa.com>

<http://www.cienciaredcreativa.org/f1/f1.html>

1.7.2.4. Actividad 4: Estudio de un péndulo simple

Espacio: aula o laboratorio.

Materiales y recursos básicos: equipo reproductor de DVD con un monitor de buen tamaño para la proyección del video, o una computadora con cañón y pantalla de proyección; pizarrón para anotar consignas, preguntas, respuestas y dibujar. Los alumnos deberán contar con un cuaderno de notas. Un soporte de donde colgar un péndulo de hasta 2 metros de longitud. Hilo resistente para colgar el cuerpo que oscila. El cuerpo puede ser una plomada o una esfera hecha con plastilina con una tuerca dentro para darle peso.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas ocho horas presenciales netas, distribuidas adecuadamente para organizar las distintas partes que se proponen. Las actividades incluyen el montaje del experimento, las mediciones y el análisis gráfico. Se sugiere que varios grupos de alumnos trabajen simultáneamente y que luego compartan resultados.

Video: se usará la parte final del capítulo, que describe el juego que usa un péndulo de gran longitud. Se pondrá atención a las afirmaciones que se van realizando en torno al comportamiento de un péndulo.

Contenidos: algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: el movimiento. Movimiento oscilatorio. Péndulo simple. Generación y análisis de hipótesis. Procedimientos experimentales básicos. Análisis gráfico de datos.

Introducción: el video presta atención a un juego basado en las grandes oscilaciones que realiza un participante que forma parte de un péndulo de 60 metros y lo describe para resaltar sus principales características. Un péndulo es un excelente recurso para experimentar. Los materiales que se necesitan para fabricar uno y la facilidad de su construcción resuelven la dificultad de contar con equipamiento para planificar una práctica experimental. Por otro lado, el estudio de un péndulo puede ilustrar varias componentes del trabajo científico y acercar así a los alumnos a los métodos de la ciencia. Se sugiere trabajar sobre la base de la formulación de hipótesis y su consiguiente análisis experimental. También puede hacerse referencia a cuestiones históricas del desarrollo de ideas acerca del estudio del péndulo, lo que fortalecerá la cultura general de los alumnos.

Algunas preguntas para plantear

En el video se dice que Galileo Galilei propuso lo que se llama el isocronismo del péndulo, es decir, la independencia del tiempo que le lleva a un péndulo realizar una oscilación completa (o ciclo) siempre y cuando la amplitud de la oscilación sea pequeña. ¿Esto implica que si las amplitudes no son pequeñas, el período va cambiando? Esta proposición puede ponerse a prueba experimentalmente. Aun más, ¿a qué llamamos “oscilaciones pequeñas”?

Una forma de responder estas preguntas consiste en liberar al péndulo desde distintos ángulos. Supongamos que empezamos con un ángulo de 90° , como es el caso del juego del parque de diversiones. Con un cronómetro podemos medir el período del péndulo para esta situación de mucha amplitud. Para reducir los errores de medición es necesario repetir el experimento varias veces. En cada uno de ellos se mide el período, y el promedio de los valores medidos en los distintos lanzamientos será un valor representativo del período para ese ángulo. Cambiando el ángulo de lanzamiento podemos investigar si

el período cambia o no; y si cambia, cómo. También será necesario medir el período de oscilación cuando el péndulo oscile con pequeña amplitud.

Para especificar la amplitud de oscilación inicial en cada caso se puede usar la trigonometría para, a partir de mediciones de longitudes, determinar los ángulos. La figura muestra este procedimiento.

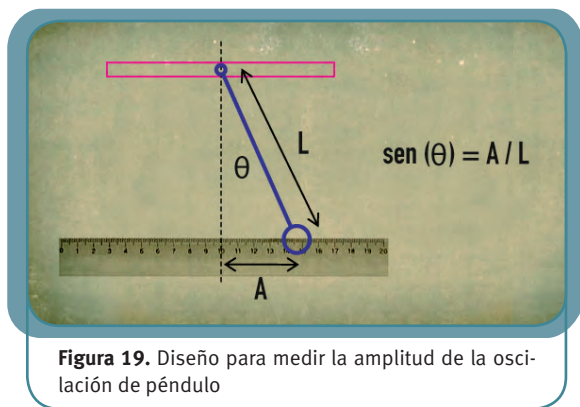


Figura 19. Diseño para medir la amplitud de la oscilación de péndulo

La idea es que los alumnos puedan combinar los distintos conocimientos que tienen para llevar adelante este experimento.

Desde luego, siempre aparecerá algo nuevo para resolver. Será necesario una reflexión previa sobre distintas maneras de medir un ángulo (con transportador o usando trigonometría). Po-

dría plantearse el problema preliminarmente y pedir a los alumnos que lo resuelvan en sus cuadernos, para luego discutir sobre la forma más adecuada de medición según sea el caso. Podría ser que algunos alumnos tengan dificultades para definir el ángulo que van a medir, dado algunas dificultades que aparecen al tratar de localizar en el espacio tridimensional un caso real y concreto como el que acá se trata. Las rectas que se intersecan para formar el ángulo a medir son las que definen el hilo del péndulo y una línea vertical que pasa por el punto de equilibrio del péndulo, que los alumnos tendrán que reconocer.

Análisis de los datos colectados

Con un gráfico se analizará el comportamiento del período del péndulo construido. La gráfica del período T contra el ángulo de lanzamiento θ nos indicará si T cambia y cómo cambia. Se puede tratar de describir cualitativamente el cambio, en el sentido de indicar si para mayores ángulos el período es menor o mayor.

Otras investigaciones

¿El período de oscilación de un péndulo depende de su longitud?

En el video se dice que el péndulo demora 4 segundos en bajar desde lo alto la primera vez, lo que sugiere un período de 16 segundos. Se puede comparar el período del péndulo más largo construido en el aula con esos 16 segundos y tratar de concluir que el período de un péndulo depende de su longitud. La demostración complementaria más simple que puede hacerse es poner a oscilar péndulos de distintas longitudes uno al lado del otro y ver a simple vista la diferencia de sus períodos.

Una nueva pregunta: ¿cómo cambia el período de un péndulo con su longitud?

Para ello hay que construir un péndulo al que se pueda variar la longitud del hilo. Medimos los períodos T correspondientes a péndulos de distintas longitudes L . Será importante resaltar el resultado de la parte anterior, respecto de la dependencia del período con la amplitud, e investigar este nuevo problema en el caso de oscilaciones de pequeñas amplitudes. Nuevamente, un gráfico será útil, representamos T contra L para analizar la tendencia de la variación del período.

Si se recuerda que el período de un péndulo simple depende del largo según:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g}}$$

donde g es el valor de la gravedad en el lugar del experimento, podemos avanzar en el análisis representando el cuadrado del período T^2 contra el largo L . De esta manera, el gráfico resultante debería ser una recta por el origen y de pendiente igual a:

$$\text{pendiente} = \frac{4\pi^2}{g}$$

Si obtenemos la pendiente de la recta del gráfico de T^2 en función de L , tenemos una manera de estimar el valor de la gravedad en el lugar donde hacemos el experimento:

$$g = \frac{4\pi^2}{\text{pendiente}}$$

¡Habremos obtenido la gravedad en la escuela! Una vez hecho esto, podemos comprar el valor obtenido con el valor de referencia que los alumnos conocen, $g = 9,8 \text{ m/s}^2$.

Preguntas a responder antes y durante los experimentos

¿Medir una vez o medir varias veces el período?

La pregunta tiene que ver con la precisión de la medición de tiempo que hagamos con el instrumental disponible. Por ejemplo, un péndulo de 2 metros de largo tiene un período de 2,8 s, tiempo que puede medirse sin demasiada dificultad con un cronómetro. Pero un “péndulo corto” tiene un período menor y si, por ejemplo, fuese uno de 30 cm de longitud, su período es de 1 s. Con el mismo cronómetro tendremos dificultad para practicar una buena medición dado que se acciona manualmente y esto acarrea el problema que introduce el “tiempo de reacción” que cada persona tiene para ejecutar esta maniobra. Entonces, una vez discutida esta situación, podrá inferirse que es mejor medir el tiempo t de varias oscilaciones, digamos 10 oscilaciones, que será $t = 10 T$, de esa medición se obtendrá el período como $T = t / 10$. En síntesis, cada una de estas acciones reflexionadas por todos los participantes del proyecto los mantendrá alerta, comprometidos con la tarea y trabajando con métodos reconocidos de la práctica experimental.

¿El período de oscilación depende de la masa que cuelga?

En el video se comenta que al juego del gran péndulo del parque de diversiones pueden subir juntas dos o tres personas. Cuando se liberen desde lo más alto, ¿llegan a la parte más baja en 4 segundos en cualquier caso, ya sea que bajen una, dos o tres personas?

Para responder esta pregunta se puede recurrir al experimento de medir el período de un péndulo de largo L al que se le cuelgan diferentes masas por vez. Será mejor usar un hilo que no se estire cuando se le cuelguen las distintas masas, de manera que su longitud siempre sea la misma a lo largo del experimento. Para no cambiar la geometría del péndulo que se estudie, se le puede colgar una canastita donde se vayan agregando masas, por ejemplo, tuercas, piedras u otros objetos.

Una vez que se midan los períodos de péndulos con distintas masas, vale la pena representar en un gráfico T en función de la masa, M . ¿Qué se obtiene? ¿Cuál es la conclusión que puede extraerse del gráfico? ¿Puede decirse que T no depende de M ?

Finalmente, en un juego como el del parque de diversiones, que tiene 60 metros de longitud: ¿cuántos segundos demora en caer desde lo alto al punto más bajo una persona? ¿Y dos o tres que suban juntas? Todas estas preguntas pueden contestarse usando razonamientos apoyados en los resultados experimentales y con la ayuda orientadora del docente.

Referencias generales

Física re-Creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías, S. Gil y E. Rodríguez, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.

Física, L. Romanelli y A. Fendrik, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.

Física I, A. Rela y J. Sztrajman, Aique, Buenos Aires.

1.7.2.5. Actividad 5: Efectos del rozamiento. Oscilaciones amortiguadas

Espacio: aula o laboratorio.

Materiales y recursos básicos: los mismos que para la actividad 3, más una webcam o cámara digital que pueda tomar un video de unos 100 segundos de duración. Software de reproducción de video.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas cuatro horas presenciales, distribuidas adecuadamente para organizar las distintas actividades. Las actividades incluyen el montaje del experimento, mediciones, captura de video y análisis gráfico. Se sugiere que varios grupos de alumnos trabajen simultáneamente y que luego compartan resultados.

Video: se usará la parte final del capítulo, que describe el juego que usa un péndulo de gran longitud. Se pondrá atención a las descripciones en torno a los efectos que causa el rozamiento sobre el movimiento del péndulo.

Contenidos: algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: el movimiento. Movimiento oscilatorio. Péndulo simple. Efectos del rozamiento. Procedimientos experimentales básicos. Uso de video para el registro de un movimiento. Uso de la PC como complemento para la realización de un experimento. Análisis gráfico de datos.

Introducción: en varias ocasiones el video hace referencia al roce. El rozamiento y sus efectos son ineludibles, y están muy presentes en la vida cotidiana. Por ejemplo, las cosas no se nos caen de las manos gracias a que nuestra piel roza con lo que queremos sostener. La fricción de las fibras de un cepillo de dientes contra los dientes ayuda a limpiarlos. Por otra parte, el roce tiene influencia sobre el movimiento porque actúa convirtiendo energía mecánica en calor que se disipa, por ejemplo, al aire. Es interesante investigar el roce, en este caso se usará un péndulo. Veremos un caso en el que el roce hace que un péndulo que oscila vaya perdiendo de a poco energía hasta que finalmente se detiene. A este tipo de movimiento, donde la amplitud de la oscilación disminuye en el tiempo, se le llama movimiento oscilatorio amortiguado.

Una posibilidad para este experimento

Una manera simple de analizar las características de un movimiento de este tipo consiste en fabricar un péndulo y ponerlo a oscilar en el aire a partir de una amplitud inicial de, digamos, unos 60° . Cada vez que el péndulo ejecute un ciclo completo tenemos que medir la nueva amplitud, que en cada ciclo será menor que en el anterior. Por ejemplo, se puede usar un transportador para medir los ángulos (figura 19), o bien usar el método de la figura 18.

Una pregunta es: ¿cómo decrece la amplitud del péndulo cuando roza con el aire?

Esto puede contestarse tras graficar la amplitud del péndulo, medida en grados sexagesimales, en función del número de oscilaciones.

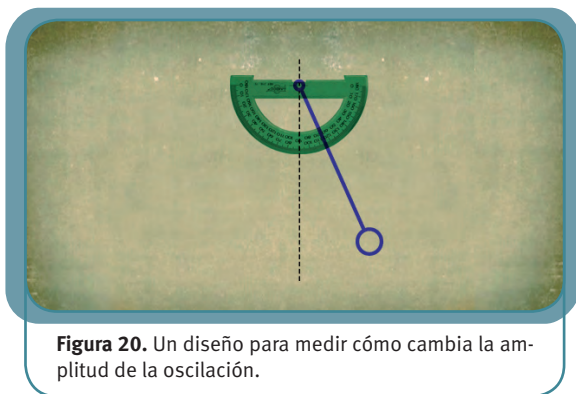


Figura 20. Un diseño para medir cómo cambia la amplitud de la oscilación.

¿Qué se observa del gráfico construido? ¿Cómo es el decaimiento de la amplitud del péndulo? ¿Puede decirse que la amplitud decrece linealmente a medida que pasa el tiempo? ¿O necesitamos describirla de otra manera?

¿Qué le sucede a la energía del péndulo a medida que oscila? Si el péndulo tiene cada vez menos energía, ¿en qué se transformó la energía faltante?

Las respuestas cualitativas a estas preguntas pueden ser un buen punto de partida para discutir sobre el efecto del roce sobre un sistema en movimiento. Si queremos ampliar el estudio de la influencia del rozamiento sobre el movimiento de un péndulo, se pueden construir péndulos de la misma longitud pero con cuerpos que presenten distintas áreas de contacto con el aire. Esperamos que haya mayor rozamiento cuanto mayor sea el área. Si hacemos este experimento, ¿verificamos esta presunción?

Otra posibilidad: uso de video

Las oscilaciones amortiguadas de un péndulo pueden estudiarse con más detalle si se filma el movimiento. Una webcam o una cámara digital de uso hogareño graban entre 20 y 30 imágenes (fotogramas) por segundo, de modo que si armamos un péndulo de unos 2 metros de longitud, que tiene un período de unos 2,3 segundos, mediante una filmación podremos obtener las características del movimiento con gran detalle.

Con una actividad como ésta podemos aprovechar la oportunidad para enfatizar sobre la importancia de saber usar la tecnología disponible para resolver problemas o situaciones que se presenten. En este caso, el problema es académico: obtener la forma en que cambia la amplitud de un péndulo que sufre los efectos del rozamiento (ya veremos cómo usar la misma técnica de registro y análisis en otros casos que lo requieran).

Una vez que se filma el movimiento de un péndulo, hay que manejar el archivo de video con la computadora. En Internet existen programas gratuitos para reproducir video. Uno de ellos es SpanishDub, de muy fácil uso y con buenas prestaciones, entre ellas la de reproducir un video “cuadro por cuadro”. A medida que vemos cada cuadro, también vemos el instante en que ocurre la escena. De esa manera, tenemos disponible la posición del péndulo en distintos instantes.

Para que el experimento salga bien:

- la cámara tiene que estar fija, sobre una mesa o en un trípode, para que el video muestre imágenes estables.
- además, tiene que estar colocada de forma que su lente queda paralela al plano de oscilación del péndulo, así las imágenes no saldrán distorsionadas.
- es conveniente colocar un transportador grande detrás del péndulo para medir en él la amplitud angular del péndulo respecto de la línea vertical (figura 19). El transportador tiene que verse bien en la filmación.
- el video tiene que registrar no menos de 10 oscilaciones completas del péndulo.

Análisis

Una vez reproducido el video y medida la posición del péndulo en función del tiempo, hay que graficar y analizar el resultado.

Algunas preguntas

- ¿Podemos obtener el período del péndulo a partir del video analizado cuadro por cuadro? ¿Cómo hacemos esto?
- ¿Podemos obtener el período del péndulo del gráfico realizado? ¿Cómo hacemos esto?
- ¿Cómo describimos el movimiento del péndulo a partir del gráfico realizado?
- ¿Cuánto tiempo pasa desde el inicio del movimiento hasta el que péndulo tiene la mitad de la amplitud que la inicial?
- ¿Qué otros casos se pueden estudiar con esta técnica de análisis de video?

Referencias

Física re-Creativa: Experimentos de Física usando nuevas tecnologías, S. Gil y E. Rodríguez, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.

Física, L. Romanelli y A. Fendrik, Prentice Hall, Buenos Aires, 2001.

Física I, A. Rela y J. Sztrajman, Aique, Buenos Aires.

El programa SpanishDub se obtiene en <http://spanishdub.softonic.com>.

1.7.2.6. Actividad 6: Combinación de movimientos

Espacio: laboratorio de computación.

Materiales y recursos básicos: computadoras con software que permita manejar planillas de cálculo.

Tiempo: la duración de la actividad se estima en unas tres horas presenciales. Probablemente algunos docentes de física necesiten de la asistencia de docentes de informática. Las actividades incluyen las explicaciones previas para motivar la actividad y el trabajo con la computadora.

Video: se analizará la parte del capítulo que describe el juego de las tazas; se describe el movimiento de un pasajero, que es el resultado de la combinación de varios movimientos de rotación alrededor de distintos ejes.

Contenidos: algunos de los contenidos básicos de esta actividad son: el movimiento. Movimiento circular. Combinación de movimientos. Uso de una planilla electrónica para graficar funciones. Uso de la PC en actividades didácticas. Análisis gráfico de la información.

Introducción: en el video se analizan las características del movimiento circular y el resultado de combinar dos o más movimientos circulares, como en el juego de las tazas. La combinación de movimientos es un caso usual y vale la pena detenernos en este punto para ver cómo operar con ellos.

En esta actividad vamos a usar una planilla electrónica para generar datos de la posición de un cuerpo que está sometido a dos movimientos circulares. El uso de planillas es cada vez más asiduo y representa una buena oportunidad para entrelazar en una clase conocimientos informáticos y de física. También usaremos geometría, por lo que la matemática también estará presente. En síntesis, nos proponemos plantear una actividad rica en contenidos que implica varias disciplinas. Será un buen momento además para la interconsulta entre profesores.

Para este trabajo es necesario considerar la descripción que se da en el video del movimiento de un pasajero en el juego de las de las tazas. Como la plataforma gira y el pasajero está en

la plataforma, ésta lo desplaza. Al mismo tiempo, el plato de la taza rota sobre otro eje y el pasajero también se mueve alrededor de ese eje. El movimiento resultante, tal como el que observa un observador que está en el piso, es la combinación de dos movimientos circulares, de distintos radios de giro y con distintas velocidades angulares. Vamos a hacer, entonces, una descripción desde el punto de vista del observador en el piso.

Uso de una planilla electrónica

A continuación se describe la actividad suponiendo que se cuenta con el programa MS-Excel, pero puede usarse alguna otra, como por ejemplo la planilla de OpenOffice.

La posición (x, y) de un punto que tiene el movimiento descrito precedentemente puede representarse de la siguiente manera (ver figura 20):

$$x(t) = R \cos(\Omega t) + r \cos(\omega t) \quad (6)$$

$$y(t) = R \sin(\Omega t) + r \sin(\omega t) \quad (7)$$

donde los radios R y r , y las velocidades ω y Ω corresponden a las velocidades angulares de los dos movimientos que se van a combinar.

Lo que queremos obtener es una gráfica de $y(x)$. Generamos una planilla de datos de la siguiente manera:

- nombramos tres columnas: la primera será el tiempo (t) , la segunda tendrá la posición x , y la tercera la posición y .
- llenamos la primera columna con valores entre 0 y 10, a intervalos de 0,1. Estos valores van a representar el tiempo medido en segundos.
- para las otras columnas introducimos las fórmulas (6) y (7), es decir, calculamos las posiciones para todos los tiempos para valores definidos de r , R , ω y Ω .
- insertamos en la planilla un gráfico de y en función de x que mostrará la trayectoria del cuerpo.

La trayectoria del cuerpo depende de los valores de los radios y de las velocidades angulares. Si vamos cambiando

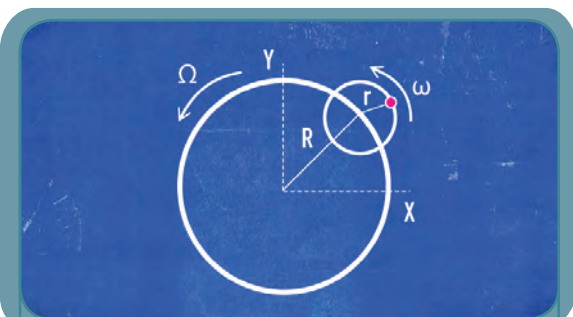


Figura 21. Coordenadas (x, y) de un punto que se mueve según la combinación de dos movimientos circulares de distintos radios y velocidades angulares, cada uno en el mismo sentido de rotación pero alrededor de dos ejes distintos

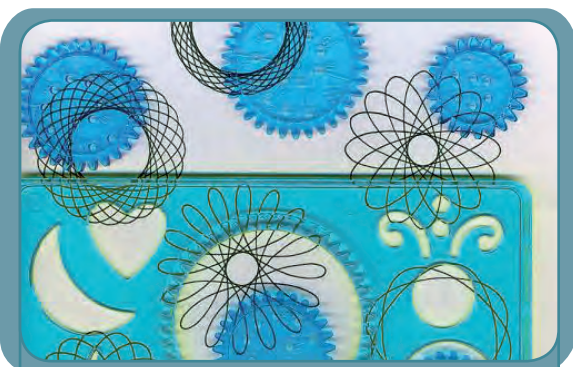
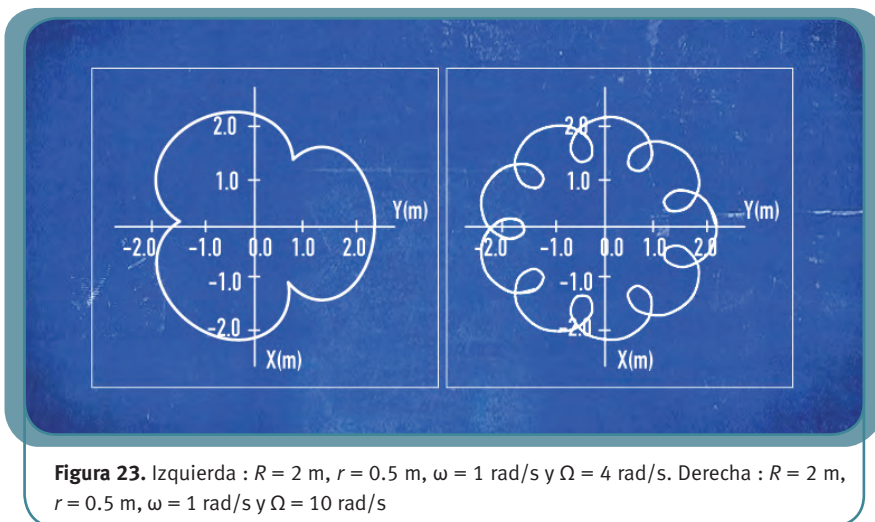


Figura 22. Un espirógrafo. Se coloca la punta de una lapicera en uno de los agujeros de los discos y se gira el disco sin que los bordes dentados dejen de tener contacto entre sí

esos valores, tendremos distintas trayectorias. A continuación mostramos dos ejemplos con distintos valores.



Estos gráficos son similares a los que se obtienen con un espirografo que, de ser posible, se podría usar a la par de esta actividad para mejorar la percepción de cómo se combinan dos movimientos.

Preguntas

¿Cómo se modifican las figuras anteriores si se agrega un término a las fórmulas (6) y (7)? Por ejemplo, si ahora trabajamos con:

$$x(t) = R \cos(\Omega t) + r \cos(\omega t) + A \cos(\alpha t) \quad (8)$$

$$y(t) = R \sin(\Omega t) + r \sin(\omega t) + A \sin(\alpha t) \quad (9)$$

donde A es el radio de un nuevo círculo sobre el que se mueve el cuerpo y α es la velocidad angular con la que gira en ese círculo.

En la web:

Ponemos a disposición el archivo *comb-mov-circ.xls*, que muestra el procedimiento descrito en:

<http://www.cienciaredcreativa.org/comb-mov-circ.xls/>

OpenOffice: <http://es.openoffice.org/>

Espirografo: <http://temasmaticos.uniandes.edu.co/Trocoides/paginas/espirografo.htm>