



¿Será posible
la fabricación extraterrestre
de alimentos
por la acción de
microorganismos en
una futura colonización
espacial? LA MÁQUINA.

LES DOGRAMAS

MEMORIA PRESENTADA POR EL EQUIPO INVESTIGADOR
DEL
IES DORAMAS
AL
III PREMIO "BLAS CABRERA"
DE
INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA PARA ESCOLARES

ALUMNOS:

| | |
|-------------------------------|---------|
| ROSAURA GODOY TRUJILLO | (3°ESO) |
| LUCRECIA ARENCIBIA CASTELLANO | (3°ESO) |
| RAÚL EDUARDO ALMEIDA CABRERA | (4°ESO) |
| ARÍSTIDES GARCÍA MENDOZA | (4°ESO) |

PROFESORES:

JOSÉ MANUEL RODRÍGUEZ RODRÍGUEZ Y
(FÍSICA Y QUÍMICA)

JUAN NAVARRO DE TUERO
(BIOLOGÍA Y GEOLOGÍA)

IES DORAMAS.

Teléfonos: 928610583 y 928610538

Fax: 928610584

Esta investigación no hubiera sido posible sin la estimada ayuda de:

- José Manuel, profesor de Matemáticas, que nos cedió el compás.
- Javier, profesor de FyQ del CEO Luján Pérez que nos prestó las células y el cronómetro.
- Mauricio, director del IES Doramas, que nos asesoró en varios temas relacionados.
- Nuestros padres y madres que aportaron materiales y consejos.
- Pepe, técnico de mantenimiento del IES Doramas, que nos facilitó tuercas, tornillos...
- Daniel, alumno del IES Doramas, que nos donó los motores de los juguetes.
- José Manuel y Mario, profesores del IES Doramas, que fueron flexibles en las guardias de Centro con nuestros profes.
- María, Profesora del IES Santa Brígida, que revisó la expresión escrita.
- Mila, Doctora en Biología, que nos ayudó en la investigación.
- Muchos amigos y amigas que nos animaron a seguir adelante.

Y sobre todo darles las gracias, infinitas gracias por su comprensión, a las únicas personas que salen perdiendo en toda esta aventura investigadora: las familias de los profesores, María, novia de José (Profesor de Física y Química) y Mila, Rubén y Julia, mujer e hijos de Juan (Profesor de Biología) a las que durante meses les hemos quitado tiempo de ocio y dedicación para que los profes lo emplearan en ayudarnos a nosotros.

INDICE

| | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| INTRODUCCIÓN..... | 5 |
| CAPÍTULO I | |
| CONSTRUCCIÓN DE UNA "MÁQUINA GENERADORA DE GRAVEDADES" | 7 |
| 1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN..... | 8 |
| 2. DISEÑO DE LOS PRIMEROS PROTOTIPOS: 1,2,3 Y 4..... | 9 |
| 3. SITUACIÓN DE CRISIS EN LA INVESTIGACIÓN..... | 22 |
| 4. CRÍTICA RAZONADA AL ARTÍCULO DE S. CARLSON..... | 23 |
| 5. ¿CÓMO SALVAR LAS HORAS DE TRABAJO EMPLEADAS EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 4?..... | 26 |
| 6. ¿QUÉ HACEMOS?... ¡APRENDER DE NUESTROS ERRORES!..... | 28 |
| 7. CAMBIO DE DIRECCIÓN EN LA INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 5..... | 28 |
| 8. PROTOTIPO 7: EL DISEÑO DEFINITIVO..... | 30 |
| 8.1. Fundamento teórico seguido para el diseño del prototipo 7..... | 34 |
| 8.2. Puesta a punto del prototipo 7..... | 38 |
| 9. RESUMEN DE LA PARTE DE LA INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LA FÍSICA..... | 44 |
| 10. BIBLIOGRAFÍA..... | 46 |

INTRODUCCIÓN

La pregunta que presentamos no ha tenido una respuesta "sencilla", si entendemos por "sencilla" la puesta en práctica de una serie de trabajos de laboratorio con la consiguiente recogida de datos y su análisis posterior. Nuestra respuesta ve la luz después de superar numerosos inconvenientes de todo tipo: diseño y construcción de una máquina que cumpla unas determinadas características de funcionamiento, cálculo matemático engorroso y reiterativo, falta de materiales necesarios y posterior búsqueda de los mismos fuera del Centro, desánimo ante el fracaso reiterado al comienzo de la investigación, etc.

Sabíamos que el tiempo que requeriría la obtención de una respuesta a la pregunta formulada iba a ser largo, de ahí nuestro temprano comienzo. La investigación principalmente se sumergía en dos campos de la Ciencia, la Física y la Biología, con la coordinación, por la envergadura del trabajo, de dos profesores de nuestro IES, el de Física-Química y el de Biología-Geología, y un equipo de cuatro personas, integrado por dos alumnas de 3º ESO y dos alumnos de 4º ESO.

Con una pregunta en nuestras cabezas y nada más, literalmente nada más, comenzaba nuestra participación en esta investigación. A todos, alumnos y profesores nos rondaba la idea, sin manifestarla públicamente para no caer en el pesimismo, de la imposibilidad material y técnica de poder salir airoso de la situación creada por nosotros mismos. La pregunta contenía todo lo que se le puede pedir a una pregunta digna de participar en cualquier concurso, era curiosa, no deja a nadie indiferente, provoca asombro, es divertida y nos ofrece una muy buena ocasión de poner en práctica el método de trabajo de la Ciencia, el método científico, etc...

Pero también implica, nada más y nada menos, la necesidad de disponer de un dispositivo mecánico que nos simule las aceleraciones de la gravedad en los diferentes planetas, algo que no se puede comprar en una tienda especializada, y el trabajo con seres vivos, tan delicados en su tratamiento y cultivo, como son las bacterias y levaduras. Así pues, la Memoria que presentamos es una crónica de la constancia, del optimismo frente al continuo fracaso, del uso de la imaginación frente a la escasez material, de buscar donde no hay y encontrar, de la paciencia y el "vamos a intentarlo otra vez" frente al abandono fácil, y sobre todo es una crónica de los sinsabores y alegrías que puede dar una larga, muy larga, investigación escolar que una vez acabada nos produce siempre una sonrisa al recordar todo lo pasado para poder escribir esta Memoria.

La Memoria la hemos dividido en dos partes; la primera, en la que se relata cómo conseguimos fabricar un dispositivo que permitiera hacer realidad nuestra APROXIMACIÓN TEÓRICA a las condiciones de gravedad a la que estaría sometido un microorganismo en los diferentes planetas. Y una segunda parte (en otra entrega) en la que se detallará el trabajo con los microorganismos y los resultados obtenidos en la fabricación de yogur, kéfir, etc.

CAPÍTULO I

CONSTRUCCIÓN
DE
UNA
"MÁQUINA
GENERADORA
DE
GRAVEDADES"

1. BÚSQUEDA DE INFORMACIÓN

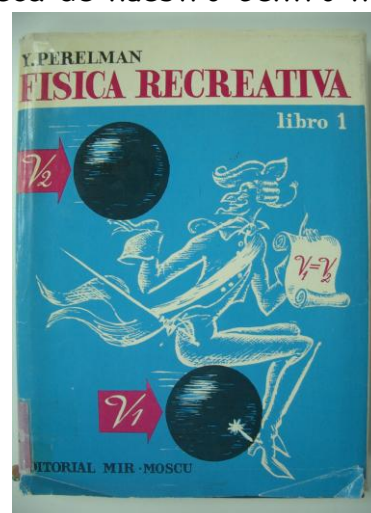
El primer paso que dimos fue informarnos de las características de la aceleración de la gravedad. Era necesario tener claro los conceptos de "gravedad" y peso para poder abordar el diseño de nuestro dispositivo. Así que leímos y leímos, los profesores nos proporcionaron libros de texto y las explicaciones teóricas pertinentes en la pizarra.

La intensidad del campo gravitatorio terrestre en un punto es la fuerza con la que la Tierra atrae a la unidad de masa, colocada en ese punto. La intensidad del campo es un vector de dirección vertical y de sentido hacia el interior de la Tierra. En la superficie terrestre su valor por convenio es $9,80 \text{ m/s}^2$. La aceleración de la gravedad varía con la altura y la situación geográfica. Nuestro laboratorio de investigación está a 396 m de altura sobre el mar, pero este valor no es significativo frente a los 6370000 m del radio terrestre por lo que consideramos válida la magnitud de $9,80 \text{ m/s}^2$. Se denomina en física al peso de un cuerpo como la fuerza que actúa sobre él por influencia de la Tierra.

La aceleración de la gravedad en otros planetas y en la Luna tiene valores diferentes:

| | |
|----------|----------------------|
| MERCURIO | $3,70 \text{ m/s}^2$ |
| VENUS | 8,85 |
| LUNA | 1,62 |
| MARTE | 3,72 |
| JÚPITER | 26,39 |
| SATURNO | 11,67 |
| URANO | 11,43 |
| NEPTUNO | 11,07 |
| PLUTÓN | 1,96 |

La inmediata consulta bibliográfica realizada en la biblioteca de nuestro Centro nos deparó una grata sorpresa. En el ejemplar Física Recreativa, cuyo autor es Yakov Perelman, Editorial Mir, 1975, en la pág 68 se propone la realización de un experimento: *La planta engañada*. Aunque la explicación teórica sea breve y confusa, era un buen comienzo ya que nos daba una idea de cómo debía ser la máquina a fabricar. Las afirmaciones del señor Perelman sobre la posibilidad de "controlar" la aceleración de la gravedad nos pareció en aquellas fechas un buen punto de partida. Al tiempo que buscamos ampliar la información en internet acerca del experimento propuesto por el divulgador ruso, hacemos



acopio de los materiales que nos permitan fabricar nuestro dispositivo semejante al descrito, basándonos en la idea de que los microorganismos a estudio sufrirán igual proceso. En la fotocopia que adjuntamos en la página siguiente, se puede observar que el dispositivo puede ser sustituido perfectamente por la llanta de una rueda. Nuestra próxima acción sería encontrar una rueda de bicicleta que alguien no quisiera, prácticamente todos los materiales que utilizamos a lo largo de nuestra investigación son reciclados o en préstamo. El reciclaje y el ahorro condicionarán nuestra labor investigadora.



Todos los miembros del equipo investigador, profesores y alumnos pasan las vacaciones de Navidades fijándose en los contenedores de basura hasta que por fin encontramos nuestro tesoro, una oxidada bicicleta de la que aprovechamos la llanta de una de sus ruedas. Debido a su deteriorado aspecto se procede a su limpieza y pintado para su posterior uso. Nace nuestro **PROTOTIPO 1**.

2. DISEÑO DE LOS PRIMEROS PROTOTIPOS 1, 2, 3 Y 4.

Nuestra intensa búsqueda bibliográfica no se detiene durante esas vacaciones y los primeros días de Enero se produce un avance significativo, o eso nos pareció en esos días, con el tiempo, como posteriormente relataremos, dio lugar a una crisis determinante en el proceso investigador, pues de esa crisis surge el impulso final que nos permite presentar esta Memoria, pero no adelantemos los acontecimientos.

Varias páginas webs nos remiten al número del mes de Abril del año 1996 de la revista Investigación y Ciencia. En su apartado dedicado al Taller y Laboratorio se propone un experimento con un objetivo similar.

Accedemos a la página web de la revista para poder leer el artículo, pero, al ser un número de hace años no



está disponible; sin embargo, el profesor de Biología es suscriptor de la revista y pasa unos días buscando entre cajas, en su casa, hasta que localiza el ejemplar.

La moral de nuestro equipo de investigación está por las nubes, ya que solo tendremos que fabricar un dispositivo semejante al propuesto, colocar nuestros microorganismos en un recipiente y acabará nuestra investigación.

Pronto, todo lo que sube baja, y nuestra moral va siendo minada por los siguientes acontecimientos, que pasamos a relatar cronológicamente con la intención de destacar una importante lección aprendida: antes de lanzarse a experimentar o reproducir lo que hacen otros, es necesario analizar sobre el papel la propuesta, comprobar la base teórica, los fundamentos matemáticos, etc; de otra manera corremos el riesgo de perder el tiempo, el ánimo y cometer errores graves.



Para situar al lector en la crónica, reproducimos el artículo, "Cultivando plantas de semillero por debajo de 1 g" REVISTA INVESTIGACIÓN Y CIENCIA N° ABRIL 1996. Sobre el mismo hemos colocado unas flechas de color verde que indican las frases que serán objeto de análisis físico y tratamiento matemático (cálculo vectorial). Es necesario advertir al lector de que tenga presente la idea que nuestra investigación no tiene el objetivo de analizar artículos, nuestro objetivo es experimental. Sin embargo, el siguiente texto con sus imperfecciones, ayudó de manera rocambolesca al diseño de lo que sería nuestra máquina de generación de gravedades planetarias.

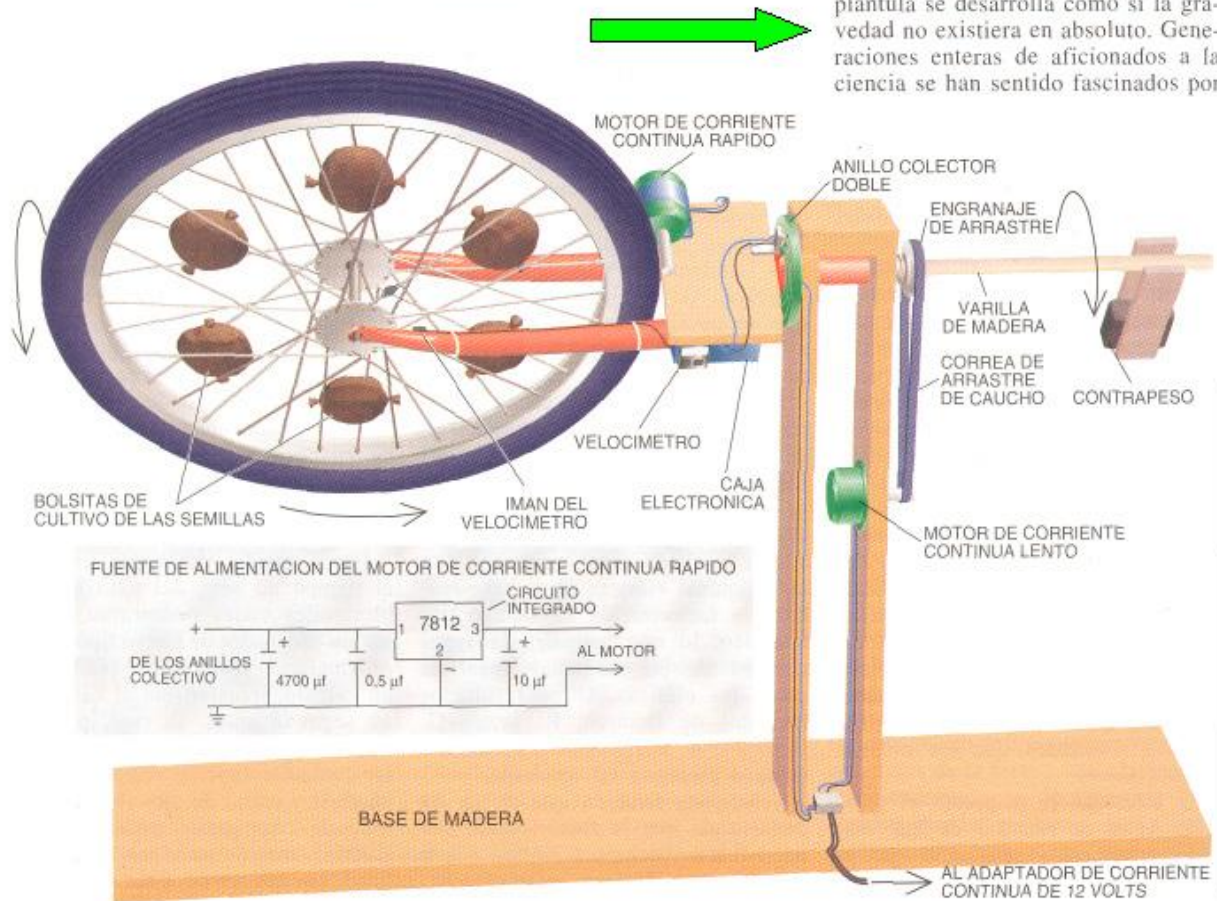
Cultivando plantas de semillero por debajo de 1 g

Cuando tumbamos una planta, sucede algo extraordinario. En la parte inferior de sus raíces y tallo empiezan a congregarse unas hormonas especiales llamadas auxinas. Las auxinas estimulan el crecimiento y la división de las células del tallo. La base del tallo crece más que la región apical, por cuyo motivo el tallo se dobla hacia el cielo. En las células de las raíces las auxinas actúan de modo distinto: retardan el crecimiento. Entonces, las células pobres en auxinas contiguas al ápice de la raíz crecen más que las células ricas en auxinas contiguas a la bases, y la raíz se dobla hacia aba-

jo. De este modo, una planta colocada boca abajo se ajusta internamente para realinearse con la atracción gravitatoria.

Los botánicos llaman geotropismo a la reacción de las plantas a la gravedad. A comienzos del siglo pasado los experimentadores exploraron el geotropismo cultivando plantas montadas en ruedas giratorias, exponiéndolas así simultáneamente a la gravedad terrestre y a fuerzas centrífugas. Las plantas crecían entonces en sentido contrario al vector de la fuerza resultante; o sea, en sentido contrario al de las fuerzas combinadas.

Pero los botánicos no tardaron en averiguar que las plantas reaccionan a la gravedad de modo un tanto perezoso. La mayoría de las plantas deben permanecer boca abajo al menos cinco minutos antes de que las auxinas comiencen a redistribuirse. A finales de siglo se había inventado un aparato, llamado clinostato, que engaña a las plantas haciéndolas creer que están creciendo en una situación de gravedad casi nula. Los clinostatos siguen usándose todavía. Mediante una rotación lenta de la plántula, vertical y horizontalmente, el clinostato impide que ésta fije su atención en la gravedad; en consecuencia la plántula se desarrolla como si la gravedad no existiera en absoluto. Generaciones enteras de aficionados a la ciencia se han sentido fascinados por



Una rueda de bicicleta puesta a rodar y voltear puede convencer a las semillas contenidas en bolsas encajadas entre los radios de que están germinando a bordo de una nave espacial. Al construir el circuito de la fuente de alimentación del motor rápido, hay que asegurarse de que el condensador de 4700 microfarads se encuentra por lo menos a cinco centímetros del microcircuito integrado 7812

los clinostatos. Yo puedo dar fe de los experimentos realizados por mi abuelo, publicados en la edición matriz de esta revista.

Extraña la escasa atención que los fisiólogos vegetales han prestado a la que acaso sea la zona más interesante para investigar, o sea, entre 0 y 1 g (la aceleración debida a la gravedad, que origina un aumento de velocidad de 9,8 metros por segundo cada segundo). Buena noticia para los aficionados, pues un poco de dedicación puede depararnos descubrimientos originales.

La plataforma rotatoria que se describe aquí es una rueda de bicicleta. Eligiendo convenientemente la velocidad de rotación de la rueda y colocando las semillas a diferentes distancias del eje de giro, puede el lector conseguir que las semillas germinen bajo distintas gravedades. Observe los umbrales a los cuales las plantas empiezan a reaccionar a la gravedad y compruebe cómo se desarrollarían en Marte (unos 0,4 g) las semillas. Es también necesario voltear la rueda. La gravedad terrestre se promedia entonces a cero, de suerte que las semillas experimenten sólo la aceleración centrífuga debida a la rotación.

Ya tenemos las ruedas. Hay que procurarse, además, otras partes del armazón de la bicicleta; en particular, la horquilla delantera y su árbol hueco que se desliza por el tubo-eje (que es la pieza por la que pasa la caña del manillar). Yo las conseguí muy baratas en un taller de reparación de bicicletas.

El armazón y las ruedas descansan en piezas de madera. Practique un orificio en los extremos superiores de dos tablas de estantería de pino (dos o tres centímetros de grueso) y fije los extremos inferiores en una base de pino, de tal modo que las tablas queden de pie (*véase la figura*). Inserte el árbol de la horquilla por los orificios. El engranaje de arrastre pruebe a buscarlo en el departamento de fontanería de un almacén de ferretería. Se construirá uno excelente cortando cinco centímetros del extremo de un tubo de plástico o goma de gran diámetro. Dentro de este aro circular encaje un tapón de madera por cuyo centro abra un orificio y luego inserte el conjunto sobre el árbol y fíjelo con epoxia.

Ahora introduzca una varilla, a través del engranaje, en el árbol. Sujete a la misma un contrapeso, como los que emplean para sus cinturones los escafandristas. Atornille al extremo de la varilla una tablilla de madera de unos ocho por dieciocho

Cálculo de la fuerza gravitatoria

Una semilla instalada en la rueda giratoria experimenta una aceleración centrífuga $(2\pi f)^2 r$, donde f es la frecuencia de la rotación y r la distancia de las plántulas al eje de giro. La fórmula que determina a qué frecuencia hay que girar la rueda de bicicleta es $f = 1/2\pi\sqrt{(a/r)}$, donde a es la aceleración. Por ejemplo, para reproducir 9,8 metros por segundo cada segundo (1 g) en la llanta de una rueda de 0,3 metros de diámetro se requiere que la rueda gire a 0,91 rps.

La frecuencia f_w a la que el motor acciona la rueda es $f_d(r_m/r_w)$, donde f_d es la frecuencia del motor de arrastre (192 rps), r_m es el radio del eje de salida del motor (un milímetro aproximadamente) y r_w el radio de la rueda.

Para hallar la aceleración a cualquier distancia del centro de la rueda, emplee la fórmula

$$a = 7,72 \frac{v_{kph}^2}{r_w} \frac{r}{r_w}$$

donde r y r_w se expresan en centímetros y v es la lectura del velocímetro expresada en kilómetros por hora.

centímetros y a ésta ate temporalmente el contrapeso. Coloque la rueda de suerte tal que la curva de las horquillas apunte hacia arriba. Deslice la varilla por el interior del árbol y ajuste la posición del contrapeso, tanto horizontal como verticalmente, hasta que la rueda quede equilibrada sobre su soporte más cercano. Fije con epoxia la varilla y asegure con tornillos el contrapeso.

Para anular los efectos de la gravedad, la rueda de bicicleta debe dar aproximadamente un volteo por minuto. Yo empleé un motor lento (0,28 revoluciones por segundo, o rps) y conecté el eje de éste al engranaje de arrastre con una correa de goma lisa (eche un vistazo en la sección de herramientas mecánicas del almacén de ferretería más cercano). Así enlazado, el engranaje de arrastre rotó a la velocidad apropiada. Si el motor le gira a una velocidad muy distinta de 0,28 revoluciones por segundo, deberá tantear con las medidas del engranaje o añadir otro engranaje al eje del motor que le permita conseguir la desmultiplicación adecuada.

Un segundo motor, más rápido, hace que la rueda gire para crear la gravedad artificial. Para ello empleé un motor de corriente continua de 12 volts, que gira a 192 rps. Asegúrese de que el bandaje de la rueda es suave; buen resultado dan los neumáticos de las bicis de paseo. El radio del eje de salida del motor es del orden de un milímetro. Para calcular a qué frecuencia debe girar la rueda, consulte el recuadro.

En mi clinostato la rueda tenía un radio de 30 centímetros; a 192 rps,

el motor la hacía girar a 0,64 rps. La eficacia del motor puede incrementarse arrollando dos o tres capas de cinta de tela alrededor del mango de salida; este material extra aumenta la frecuencia de la rotación hasta 1,5 rps. La energía procede de un adaptador de corriente continua y alimenta al motor a través de dos anillos colectores. El circuito que se representa en el esquema de la figura regula la potencia.

Un velocímetro de bicicleta comercial le permitirá comprobar fácilmente la aceleración. Hágase con uno de los que emplean un imán que se coloca en un radio de la rueda. Instalado cerca del eje de giro, el imán puede medir la velocidad con una precisión de 0,1 kilómetros por hora.

Tan reducido es el trabajo realizado en esta área que le será posible cultivar cualquier cosa y descubrir algo nuevo. Yo me he centrado en el maíz. Dejé que las semillas germinaran durante algunos días y luego medí la longitud total de los brotes y su "angularidad", o suma de los ángulos de curvatura para toda una cepa. A 1 g, las plántulas crecen perfectamente derechas; en las cercanías de 0 g, se tuercen bastante. Cultivar estas plántulas de semillero en distintas ubicaciones a lo largo de los radios de la rueda le permitirá observar los efectos de la "influencia" de la gravedad en el seno de las plantas.

Introduzca cinco semillas en un puñadito de tierra para macetas y métalas en la pierna de una media de nailon vieja. Corte el tejido a uno y otro lado del puñado de tierra y ate

INDICE 1976-1995

Ofrecemos a nuestros lectores la versión informática de los índices de

INVESTIGACION CIENCIA

completos desde su primer número, junto con un versátil programa de consulta, llamado **lyCEX**, que permite:

- Acceso inmediato a los datos por:
 - fecha
 - autor
 - disciplina
 - número
- Potente mecanismo de búsqueda temática
- Ayuda contextual disponible en todo momento
- Actualización anual
- Posibilidad de utilizar diversos repertorios y de modificar datos
- Gran facilidad de uso

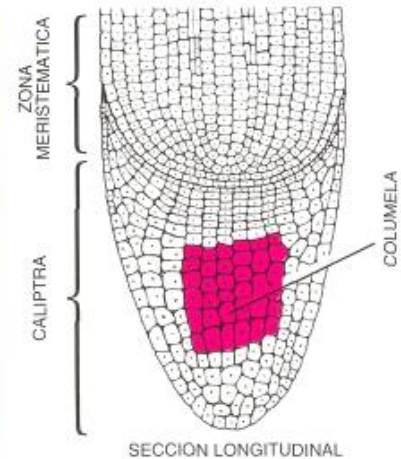
Dos discos flexibles de 3,5" de alta densidad (1,44 Mb) para ordenadores IBM-PC o compatibles (CPU 80286 o superior) con sistema operativo MS-DOS (versión 3.3 o posterior)



Para efectuar su pedido utilice la tarjeta del encarte que se inserta en la revista



Prensa Científica, S.A.



Porción terminal de la raíz, donde se registra el fenómeno del gravitropismo, o geotropismo. La caliptra presenta en su centro las células de la columela, capaces de detectar la gravedad

los extremos con un poco de bramante para formar una pequeña bolsa. Estos paquetitos de poco peso guardan bien las semillas y facilitan su riego. Para confeccionar una estadística útil y válida, hemos de conseguir 30 brotes para cada valor de la aceleración; habrá, pues, que colocar seis de estos manojos a la misma distancia del centro. Para que la rueda se mantenga equilibrada, dispóngalos simétricamente entre los radios. Podemos preparar más paquetitos e insertarlos a diferentes distancias y experimentar así con varias aceleraciones simultáneamente.

Retire las semillas después de que hayan germinado durante tres a siete días (o hasta que empiecen a salirse de las bolsitas). Corte las plántulas por sus combaduras y luego extiéndalas colocándolas extremo con extremo, de modo que todas las combaduras se hallen en el mismo sentido. La angularidad es el ángulo que forman la primera y la última pieza. Para medir la longitud de una planta, extienda una cuerda a lo largo de la misma. Para cada aceleración, divida las angularidades por las longitudes de las plantas y calcule el valor medio. Represente gráficamente este valor en función de la aceleración y verá de qué modo reaccionan los sensores de las plantas ante distintos campos gravitatorios. Podría también considerar su plantación ulterior en condiciones normales y observar cómo se comportan posteriormente, o bien tratar de imaginar cuál sería la mejor planta comestible para cultivar en Marte.

Una vez leído y vuelto a leer el artículo, nos dispusimos a construir el dispositivo propuesto por el autor; al principio, llevados por la inexperiencia y el impulso que dan las ganas de trabajar en el laboratorio, no reparamos en su fundamento teórico y en su tratamiento matemático, lo que daría lugar a graves errores en el trabajo experimental realizado esos días, mejor dicho semanas. Afortunadamente, en esas semanas la búsqueda bibliográfica de la parte biológica y los preparativos para el trabajo con los microorganismos iban en paralelo a nuestros tropiezos "físicos", lo que nos permitió afrontar con el tiempo justo la pregunta.

Asimiladas las ideas del artículo, decidimos fabricar un dispositivo similar, puesto que éste, en principio, respondía a nuestras necesidades de generación de aceleración de la gravedad para cada planeta.

A poco de comenzar surgen los siguientes problemas técnicos:

1. Si bien disponíamos de la rueda de bicicleta, nuestra intención era que estuviera girando ininterrumpidamente durante 24 horas, tiempo necesario para el crecimiento de los microorganismos. Para ello es necesario disponer de un motor con la suficiente potencia y resistencia. Realizamos las consultas oportunas a los expertos ferreteros de la isla y nos aconsejan desistir, ya que los motores que nos pueden suministrar o que podamos adquirir reciclados no soportarán ese régimen de trabajo y acabarán destrozados.

2. Los componentes eléctricos no están a nuestro alcance y tenemos un gran problema ya que, en caso de conseguirlos, no logramos evitar que los cables acaben enredados a las dos vueltas de empezar a girar.

Ante la imposibilidad de fabricar el dispositivo presentado por S. Carlson, no nos damos por vencidos y nos disponemos a fabricar un dispositivo que, al igual que el anterior, provoque dos movimientos circulares perpendiculares entre sí, base del dispositivo propuesto por el autor.

¿Qué "máquinas" pueden generar un movimiento circular y que estén a nuestra disposición? Pues, como diría el *profe*, muy sencillo: lo cantaba Bob Dylan, "La respuesta está en el viento", un ventilador y un tocadiscos. Deberíamos hacer una máquina que combinara un tocadiscos y un ventilador de forma que sus giros formaran noventa grados. El tocadiscos lo proporciona uno de los profesores, estaba en desuso desde hace años por falta de repuestos y el ventilador pensamos que será fácil de adquirir de una u otra forma: compra o bien préstamo o reciclaje).

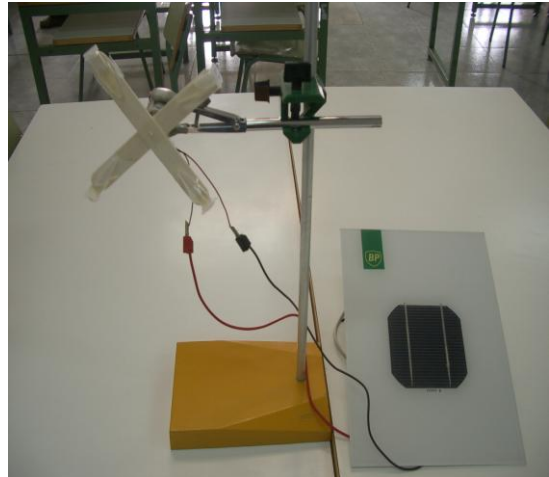
Hay pocas posibilidades de combinación de las dos máquinas, mejor dicho solo dos, o poníamos el



ventilador sobre el tocadiscos (formando 90°) o poníamos el tocadiscos sobre el ventilador (formando 90°). Otra vez empantanados.

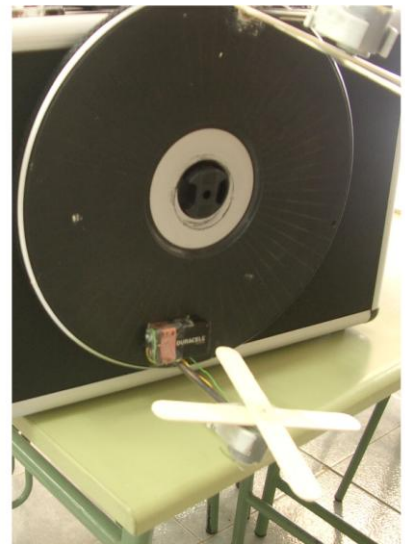
A alguien se le ocurre sustituir el gran ventilador, su masa es excesiva para que la mueva el tocadiscos, por un motor de coche de juguete sobre una varilla y plantarlo sobre el plato del tocadiscos. Decidido, el "ventilador sobre el tocadiscos". Será nuestro **PROTOTIPO 2**.

Solicitamos a nuestros compañeros de clase el préstamo de los motores que mueven a los coches de Scaletrix (hay una gran afición en nuestro Centro y no hubo problemas para su obtención) y las aspas las construimos con depresores linguales solicitados al Centro de Salud del Moya. Sobre dichas aspas colocaremos, con cinta adhesiva, el recipiente que contenga los microorganismos a estudiar: unos tubos eppendorf. No dejamos de lado nuestro espíritu de respeto al medio ambiente y pretendimos hacer uso de la energía solar para mover estos motores. Conseguimos mover



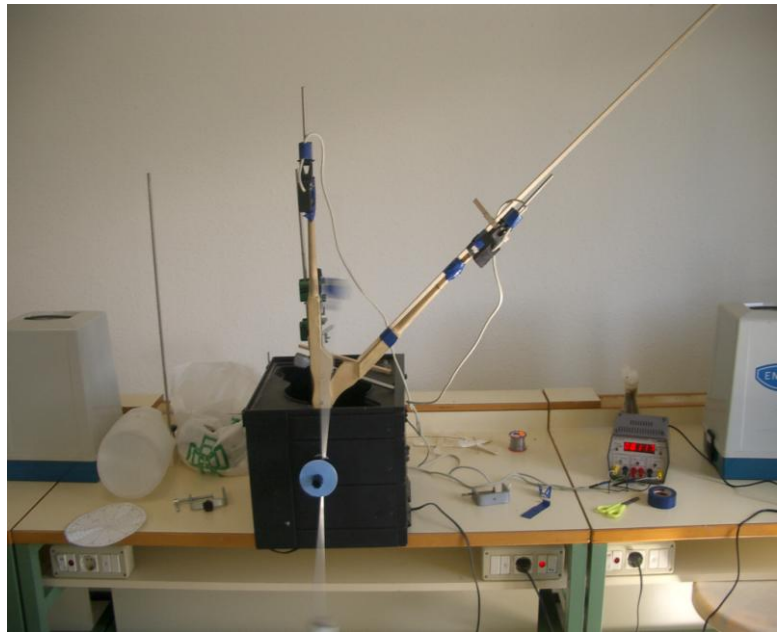
las aspas pero de forma irregular, la velocidad no era la misma por la variación del suministro de energía a los motores: la luz solar variaba en el transcurrir de la mañana en Moya. Tuvimos que olvidarnos del Sol y recurrir a las pilas alcalinas de 1,5 V.

Un estudio comparativo con la máquina de Carlson de cómo debemos colocar el plato del tocadiscos, nos indica que éste debe girar en el plano formado por los ejes XY (giro en vertical respecto al suelo), para contrarrestar la fuerza de la gravedad, y nuestros molinillos girarán a 90° en el plano formado por los ejes YZ. Ve la luz el **PROTOTIPO 3**.



Dicho y hecho. Abrimos un orificio por un lateral del tocadiscos y colocamos el motor que mueve el plato en él, lamentablemente el motor de nuestro tocadiscos (12V, 2 Watios) no tenía la potencia suficiente como para mover el plato en posición vertical, soportando ni tres, ni dos, ni uno de nuestros pequeños molinillos adosados a él. ¿Qué hacer?

Decidimos afrontar el problema aligerando la masa que tiene que mover el motor (12V, 2W), eliminamos el plato, colocamos el motor en un lado de la caja-mueble (adiós al tocadiscos del profesor, no fue muy doloroso para él pues había perdido su principal función hace años al carecer de repuestos para la aguja) y acoplamos una pieza de plástico (caja de registro de luz) a la que unimos una varilla hueca de aluminio. Decidimos bautizarlo como **PROTOTIPO 4**.



La alegría vuelve al laboratorio, a pesar de los disgustos iniciales, avanzamos. Ya estamos otra vez a velocidad investigadora de crucero, la varilla giraba a velocidad uniforme, incansablemente durante horas. En los extremos de la varilla, colocamos dos motores de los empleados para mover los coches de Scaletrix, y en la caja de plástico colocamos dos pilas alcalinas que alimentaban a los dos motores, evitando así que los cables se enredaran al girar la varilla. Con un potenciómetro, prestado por la profesora de Tecnología, podíamos controlar la velocidad de giro de las aspas de nuestros molinillos. El dispositivo funcionaba perfectamente aunque fuera necesario darle un pequeño empujoncillo a la varilla para que comenzara a girar y venciera la resistencia inicial al movimiento. Básicamente nuestra máquina realizaba los mismos movimientos que la presentada en el artículo de la revista.

Después de mucho esfuerzo y fracaso técnico continuo, logramos una máquina que realiza los dos movimientos circulares (perpendiculares entre sí) y en los planos adecuados XY y ZY. A continuación describimos sus componentes, funcionamiento y el método seguido para calcular experimentalmente las velocidades de giro de los dos movimientos circulares a distintos regímenes de funcionamiento de los dos motores. Esta determinación nos permitiría posteriormente generar la aceleración de cada planeta para nuestros microorganismos, siguiendo el mismo camino recorrido por el artículo de la revista.

COMPONENTES DEL PROTOTIPO 4



En la imagen, el profesor de Física y Química nos conecta de forma adecuada los cables del cronómetro digital.

COMPONENTE

DESCRIPCIÓN

4. CAJA DE PLÁSTICO

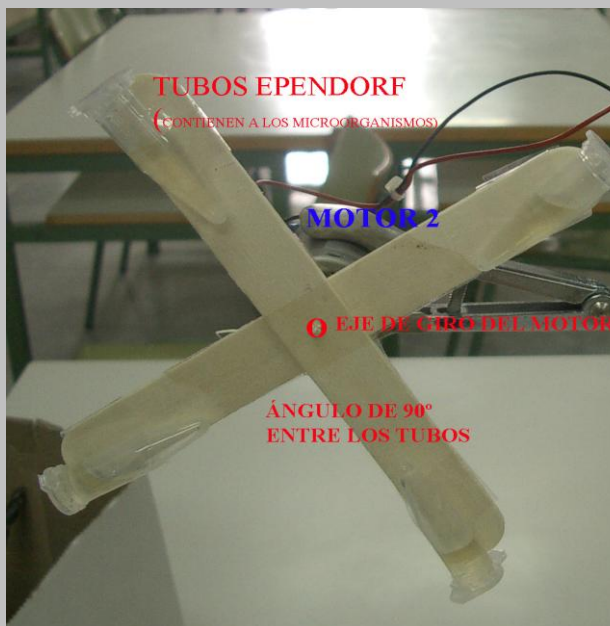


5. POTENCIÓMETRO (REGULADOR DE LA VELOCIDAD)

Se trata de una caja de registro, de las que se utilizan en las instalaciones eléctricas de las casas. En su interior se depositan dos pilas alcalinas de 1,5 V que serán la fuente de energía para los motores 2 y 3. Está acoplada al motor del tocadiscos por una pieza roscada y una tuerca. De ella salen dos varillas de aluminio que soportan en sus extremos los motores 2 y 3. En su frontis colocamos un potenciómetro para regular la velocidad de los motores 2 y 3. Material cedido por el personal de mantenimiento de nuestro IES.

Situado en la tapa de la caja de registro, permite controlar la velocidad de los motores 2 y 3. Es fácilmente manejable y permite fijar las velocidades de trabajo de dichos motores y quedan anotadas en el papel azul sobre el que se ha pegado. Material suministrado por el Departamento de Tecnología de nuestro IES.

6. MOTORES 2 Y 3



Se trata de dos motores de bobina, de los que se emplean para mover numerosos juguetes. Funcionan con una pila de 1,5V y su velocidad se controla con el potenciómetro situado en la caja de plástico. Se deshecha la idea de trabajar con motores más potentes por su elevada masa y el requerimiento de pilas más pesadas que necesitarían un motor 1 más potente del que tenemos. El motor del tocadiscos no podría hacer girar toda esa masa. En la foto de detalle del motor se puede observar que se le ha acoplado cuatro depresores linguales (cedidos por el Centro de Salud de Moya) y sobre éstos se adhieren los tubos eppendorf que contienen los microorganismos. La distancia de los eppendorf al eje de giro del motor 2 y 3 influye en la velocidad angular (radianes girados en un segundo) y por tanto en la aceleración a la que estarán sometidos los microorganismos que van dentro de él. Los motores van unidos a la varilla hueca de aluminio por una abrazadera. Los motores fueron cedidos para investigación por compañeros de clase aficionados a los coches de Scaletrix.

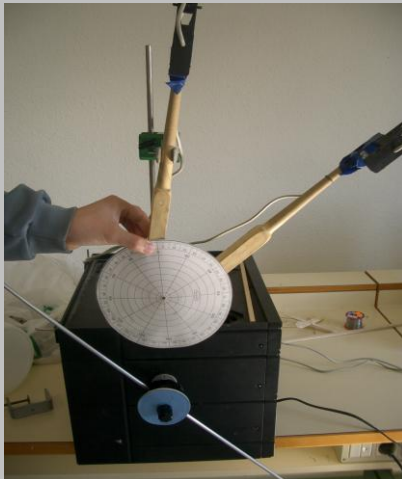
COMPONENTE

DESCRIPCIÓN

7. VARILLA SOPORTE

Varilla maciza atornillada a la caja del tocadiscos. Soporta la estructura (células y compás) de medición de velocidad. Material presente en el laboratorio de Física de nuestro IES.

8. COMPÁS



Mide el ángulo con respecto a la vertical. Para distintos ángulos se determina experimentalmente la velocidad. En la foto de detalle del compás se observa el disco con el que se determinaba el ángulo de trabajo. El compás posee un tornillo que permite fijar la apertura del mismo. En sus extremos se situaron dos células fotoeléctricas. Material cedido por el Departamento de Matemáticas de nuestro IES.

9. CÉLULAS FOTOELÉCTRICAS



Las células fotoeléctricas se sitúan en la trayectoria de los motores 2 y 3 a los que hemos acoplado un palillo de longitud 2cm. Cuando el palillo pasa por la célula, corta el rayo de luz que va de un lado a otro de la U que forma la célula, quedando registrado este paso en el cronómetro digital. Material cedido por el CEO Luján Pérez.

11. CRONÓMETRO DIGITAL



Las células fotoeléctricas envían una señal eléctrica al cronómetro, quedando registrado el tiempo que tarda en pasar el motor 2 o el 3 entre las dos células. Registra hasta milésimas de segundo. Material cedido por el CEO Luján Pérez.

Una vez fabricado el **PROTOTIPO 4**, el siguiente paso fue la determinación de las velocidades que podían alcanzar tanto la varilla hueca que albergaba a los motores 2 y 3 (primer movimiento circular en el plano XY), como la velocidad que podían desarrollar estos motores para hacer girar a los depresores linguales que acogen a los eppendorf. Esta determinación es obligada para conocer los rangos de velocidades con los que podemos trabajar con cada motor. Cuando los conozcamos, podemos combinar las dos velocidades de giro para conseguir la aceleración de la gravedad de cada planeta, como lo hace el autor del artículo, Shawn Carlson.

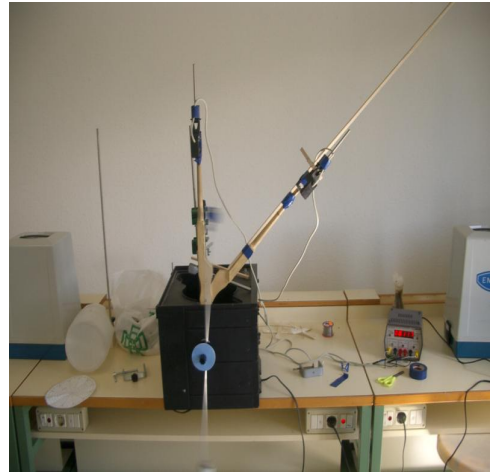
Antes de describir el procedimiento se debe recordar:

- Una circunferencia tiene 360° , equivalentes a 2π radianes.
- La velocidad lineal (v) es el espacio recorrido en un tiempo determinado, se mide en m/s.
- La velocidad angular (w) o velocidad de giro, son los radianes recorridos en un tiempo determinado, se mide en rad/s. También se puede presentar en revoluciones o vueltas por minuto o segundos.
- El sistema de referencia utilizado está compuesto por tres ejes: X, Y, Z. Los ejes son perpendiculares entre sí.

El procedimiento seguido para la determinación de velocidades de giro (velocidad angular) de los dos movimientos circulares generados por el **PROTOTIPO 4** sigue los siguientes pasos:

1. Se sitúa el motor 2, el motor 3 se mueve a la misma velocidad, por lo tanto, valdría igual para esta determinación, cerca de la célula fotoeléctrica, de forma que los depresores linguales corten el rayo de luz (va de un lateral a otro de la célula) cada vez que pasan entre los laterales de la misma. El cronómetro puede contar el número de pasos por la célula a un determinado tiempo. Para un minuto de funcionamiento del motor se registran el número de pasos (vueltas del depresor lingual) por la célula. El valor obtenido lo dividimos entre cuatro (están acoplado cuatro depresores al eje del motor) y obtendremos el número de vueltas que da un depresor por minuto. A continuación hacemos la conversión de unidades, una vuelta equivale a 360° que a su vez corresponden a 2π radianes, y un minuto corresponde a 60 segundos. Ya hemos logrado determinar la velocidad de giro, o también denominada velocidad angular, del primer movimiento circular que se desarrolla en el plano formado por los ejes Z e Y. Cada velocidad se alcanza para una determinada posición del controlador del potenciómetro, por tanto, hicimos una marca sobre la tapa de la caja de plástico en la que se indica que en esa posición los motores 2 y 3 alcanzan una determinada velocidad angular.

2. Una vez conseguido el rango de velocidades del motor 2 y 3 era necesario conocer la velocidad de la varilla hueca que sostiene a estos dos motores, es decir, la velocidad angular del segundo movimiento circular que se desarrolla en el plano formado por los ejes X e Y. Para ello debemos hacer pasar el motor 2, por ejemplo, entre las dos células fotoeléctricas formando un determinado ángulo. El ángulo se fija con el compás ayudándonos de un disco de papel graduado.



El tiempo que registra el cronómetro es el tiempo empleado por la varilla de aluminio en recorrer un determinado ángulo (se hacen medidas de 30° en 30°), si dividimos los radianes girados por el tiempo empleado podemos conocer la velocidad angular. Repetimos la operación para otros ángulos y comprobamos que la velocidad angular es prácticamente constante a lo largo de todo el giro de la varilla. Concluimos que la velocidad angular es constante para una determinada distancia (desde el motor 2 al eje de giro de la varilla situado en la caja de plástico). Si cambiamos esa distancia desde el motor al eje de giro (30cm, 35cm, 40cm, y 45cm) obteníamos velocidades constantes en todo el recorrido, pero diferentes para cada una. A mayor longitud mayor velocidad angular.

3. SITUACIÓN DE CRISIS EN LA INVESTIGACIÓN

Todo estaba preparado para empezar a trabajar con los microorganismos, pero durante el transcurso de los días de puesta a punto del **PROTOTIPO 4**, habíamos desarrollado una labor paralela de estudio de la teoría física que explica el movimiento circular con presencia de la aceleración de la gravedad (Cinemática y Dinámica).

En las conversaciones entre profesores y alumnos en el laboratorio, comenzaron a surgir una serie de dudas y preguntas sobre el modo en que se calculaba la aceleración de la gravedad en el artículo de Investigación y Ciencia, y sobre la "fortaleza" teórica del argumento base del experimento (ver en el artículo las frases señaladas con una flecha verde): se promedia la aceleración de la gravedad terrestre a lo largo del volteo de la rueda de bicicleta, como es de igual valor y cada punto de la circunferencia descrita tiene un punto correspondiente en una posición contraria, el promedio será la suma de valores positivos y negativos (punto opuesto), dando un resultado de cero. Con el otro movimiento circular de la rueda (forma 90° con el anterior), según Shawn Carlson, se consigue lograr los distintos valores de aceleración entre 0 y $9,8 \text{ m/s}^2$.

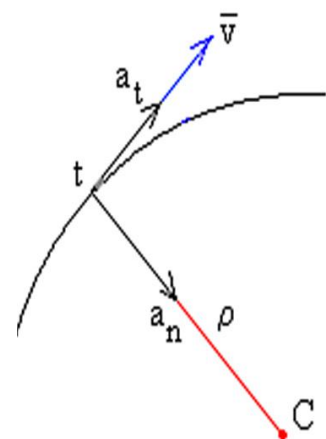
Las preguntas no encuentran las respuestas que deseáramos para salvar las semanas de trabajo empleadas en fabricar y poner a punto nuestro **PROTOTIPO 4**.

Surge la crisis, no entendemos cómo desaparece la gravedad terrestre y generan las aceleraciones posteriormente de la forma que nos propone el autor. Por muchas vueltas y piruetas teóricas que intentamos, por mucho que forcemos la explicación de Carlson, no podemos defender el argumento que en principio había servido de base para iniciar nuestra investigación escolar, no lo consideramos válido. Pero también es necesario destacar que no fue fácil dar el paso de negar la validez, somos quienes somos, 4 alumnos de la ESO y dos profesores de Enseñanza Secundaria y negar los argumentos defendidos en una revista de prestigio se nos atragantaba un poco. Si estaba publicado debía ser verdad, no íbamos a ser los "listillos" que pusieran en duda el planteamiento del experimento. Sin embargo, y a riesgo de estar equivocados, basándonos en nuestros conocimientos sobre Cinemática y Dinámica no podíamos seguir esa línea de investigación.

4. CRÍTICA RAZONADA AL ARTÍCULO DE S. CARLSON

A continuación exponemos nuestra crítica, razonada desde nuestros conocimientos de Cinemática y Dinámica, y que hemos hecho llegar a la revista Investigación y Ciencia mediante correo electrónico. A fecha de hoy, 15 de mayo 2006, no hemos recibido la deseada respuesta de contra argumentación que nos aclararía la situación sobre quién tiene razón. Nuestra argumentación es la siguiente:

1. Cualquier objeto que presente un movimiento circular uniforme (describe una trayectoria circular y el motor mueve la rueda de bicicleta a velocidad constante), como el que describe el artículo, presenta una aceleración. Las componentes rectangulares de la aceleración (a_x , a_y , a_z) no tienen significado físico, pero sí lo tienen las componentes intrínsecas de la aceleración en un sistema de referencia, formado por la tangente a la trayectoria y la normal a la misma. La aceleración instantánea es un vector, por lo tanto, puede descomponerse en dos vectores perpendiculares tales que su suma sea la aceleración instantánea. Estos vectores son:



- uno tangente a la trayectoria: aceleración tangencial
- otro perpendicular a la aceleración tangencial: aceleración normal o centrípeta

¿Por qué se descompone la aceleración instantánea en dos vectores perpendiculares, uno tangente a la trayectoria en cada punto y otro perpendicular? En realidad, es una necesidad matemática.

La aceleración tangencial es la variación del valor de la velocidad con respecto al tiempo, como es un movimiento uniforme la componente tangencial es cero. La componente normal de la aceleración, a_n , es igual al cuadrado de la velocidad dividido por la distancia al eje de giro.

$$a_n = V^2 / R$$

Por tanto, en nuestro caso, la única componente de la aceleración es la componente normal, al ser cero la componente tangencial. La aceleración a la que esta sometida la semilla del artículo será la que resulte de elevar al cuadrado su velocidad lineal (m/s) y dividir por la distancia al eje de giro (metros). Carlson argumenta que si consigue una aceleración en la rueda de $9,8 \text{ m/s}^2$ por acción del motor, ésta compensará la aceleración de la gravedad también de valor $9,8 \text{ m/s}^2$ que actúa en sentido contrario a la anterior. Para ello hace el siguiente cálculo:

$$a = a_n = v^2 / R$$

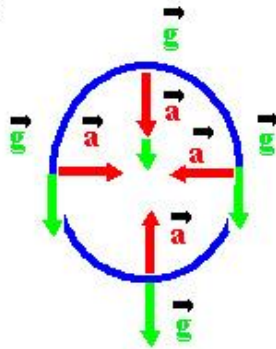
Busca una velocidad que dé lugar a una $a = 9,8 \text{ m/s}^2$ para una distancia al eje de giro de $0,30 \text{ m}$ (radio).

$$a = a_n = 9,8 = v^2 / R$$

$v^2 = 9,8 \cdot 0,30$ $v = 1,71 \text{ m/s}$, si hacemos la conversión a velocidad angular, dividiendo por el radio ($0,30 \text{ m}$) resulta $5,71 \text{ radianes/s}$ que equivale al resultado de $0,91 \text{ rps}$ (revoluciones por segundo) que nos ofrece S. Carlson.

2. El artículo defiende la idea de que una vez anulada la gravedad con el primer movimiento circular uniforme, se pueden lograr aceleraciones entre 0 y $9,8 \text{ m/s}^2$ variando la velocidad de giro de la bicicleta en el segundo movimiento circular. Carlson emplea un motor más rápido y propone una velocidad de $0,64 \text{ rps}$ ($0,64$ vueltas por segundo equivalente a $1,20 \text{ m/s}$ para una rueda de 30 cm de radio) para conseguir una aceleración de $4,8 \text{ m/s}^2$. El cálculo que propone es sustituir en la expresión $a = a_n = v^2 / R$ y despejar la velocidad. De nuevo no podemos encajar esta acción en nuestros conocimientos de Física. La representación gráfica del movimiento de la semilla, si tenemos en cuenta que se trata de un movimiento compuesto, sometida la semilla a la fuerza de la gravedad y a la fuerza centrípeta provocada por el giro, y fijándonos únicamente en las aceleraciones a las que está sometida, es decir, la aceleración provocada por el movimiento circular uniforme y la aceleración de la gravedad, sería el siguiente desde los dos puntos de vista analítico enfrentados:

Nuestra propuesta: la aceleración de la gravedad, g está dirigida hacia el centro de la Tierra, únicamente es contraria a la a en el punto más bajo de la trayectoria circular.



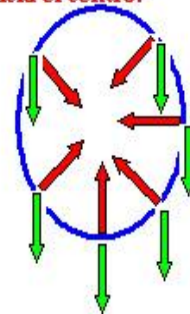
Propuesta de Carlson: la suma vectorial en cada punto de la circunferencia da cero ya que un vector contrasta al otro, los dos, a y g tienen el mismo valor pero de sentido contrario.



Por tanto el argumento de Carlson para lograr la aceleración total cero no es válido.

El modo de proceder, siguiendo las pautas del cálculo vectorial, nos indica que para conocer la aceleración resultante a la que está sometida la semilla que gira, debe realizarse una descomposición vectorial de alguno de los vectores, al tener éstos direcciones diferentes en toda la trayectoria. Posteriormente se debe realizar la suma de los vectores resultantes en cada eje de coordenadas. Las aceleraciones en cada punto de la circunferencia son diferentes, pues, dependiendo del punto, los valores de a y g se suman o se contrarrestan en diferente grado; por tanto, Carlson debería haber calculado la aceleración en varios puntos de la circunferencia y calcular la media de los valores absolutos de la aceleración resultante.

- Vector aceleración de la gravedad, g , siempre tiene que ir dirigido hacia el centro de la Tierra.
- Vector aceleración, a , generada por el movimiento circular uniforme, siempre está dirigido hacia el centro.



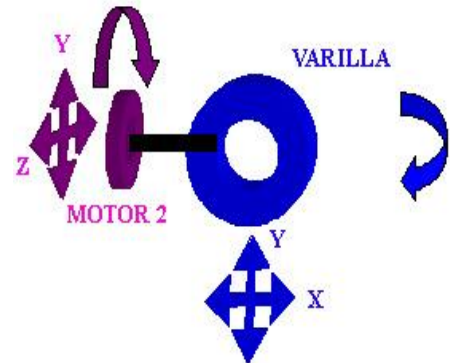
No se puede confundir, detectamos que Carlson lo hace, el hecho de que la aceleración a la que está sometida la semilla tiene direcciones diferentes (contrarias) en dos puntos opuestos de la trayectoria circular (la suma de las aceleraciones en todos sería cero, porque además afirma que tienen el mismo valor absoluto), con el hecho de que la aceleración en cada punto tiene una dirección y un valor absoluto diferentes. Es decir, no se pueden sumar vectores que no estén situados en el mismo punto como nos indican las reglas del cálculo vectorial. La semilla si estuviera sometida, utilizando un ejemplo, a una aceleración total de 7 m/s^2 con dirección norte en un punto, y a 12 m/s^2 en dirección sur, cuando pase por un punto simétrico al anterior, no se puede afirmar que haya estado sometida a 5 m/s^2 (siguiendo la idea de Carlson) sino que,

como promedio ha estado sometida a una aceleración de $(5 + 12)/2 = 8,5 \text{ m/s}^2$ para respetar las reglas del cálculo vectorial.

5. ¿CÓMO SALVAR HORAS DE TRABAJO EN EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 4?

Una vez tuvimos la confirmación de los errores que habíamos cometido, referentes a la forma de generación de la aceleración, teníamos dos posibilidades: o dejar de lado nuestro **PROTOTIPO 4** y empezar de nuevo desde cero, o intentar calcular las aceleraciones que podía desarrollar nuestra máquina.

Decidimos optar por hacer un esfuerzo de estudio de los movimientos circulares y lanzarnos al cálculo. Para ello era necesario describir el movimiento que haría un microorganismo en nuestra máquina en peligro de abandono. El microorganismo depositado en el tubo eppendorf que mueve el motor 2, como se observa en la figura, iba a rotar en el plano YZ y a su vez se iba a mover en círculo sobre el plano XY.



Es decir, un sistema de coordenadas se mueve con relación a otro sistema de coordenadas como se aprecia en la figura. El movimiento resultante será una composición del movimiento relativo del microorganismo con relación a la varilla de aluminio y de un movimiento de la propia varilla. El estudio de este movimiento absoluto se sale de los contenidos de Física que se abordan tanto en la ESO, como en Bachillerato. Sin embargo, no está todo perdido, los profesores nos proporcionan dos libros especializados, Física General, J.García Santesmases, Ed.Paraninfo.1980 y Problemas de Física, S.Burbano, Ed.MIRA, 1994 para ayudarnos. En sus páginas 60, 61, 62 y 123 respectivamente, se resuelven detalladamente dos problemas prácticamente iguales al que queremos resolver nosotros. No reproducimos el tratamiento matemático por ser engorroso y poco relevante para la investigación en este punto de la Memoria, lo que hicimos fue construir una hoja de cálculo con el programa EXCEL con los pasos que seguían los autores y sustituimos los datos por los nuestros. A continuación presentamos un ejemplo del cálculo de la aceleración a la que estaría sometido un microorganismo, girando con una varilla de 30cm de radio, y el tubo eppendorf situado a 5cm del eje de giro del motor 2.

TABLA DE VALORES PARA EL CÁLCULO DE LA ACELERACIÓN PROMEDIO DURANTE UNA VUELTA DE UNA VARILLA DE ALUMINIO DE 35 CM DE LONGITUD Y LOS TUBOS EPENDORFF SITUADOS A 5 CM DEL EJE DE GIRO DEL MOTOR 2 Y 3.

| Tiempo (s) | Ángulo de la varilla (radianes) | Ángulo de la varilla (Grados) | Velocidad angular tocadiscos W (rad/s) | Aceleración relativa (m/s ²) | Aceleración relativa Componente X (m/s ²) | Aceleración relativa Componente Y (m/s ²) | Velocidad angular Motor 2 W (rad/s) | Posición del tubo Eppendorf a un tiempo t (Grados) | Aceleración de arrastre (m/s ²) | SENO ángulo de la varilla |
|------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------|
| 0,07 | 0,51 | 29,00 | 2,00 | 1,40 | -0,68 | -1,22 | 1,00 | 4,07 | 0,01 | 0,07 |
| 0,14 | 1,01 | 58,00 | 2,00 | 1,40 | -1,19 | -0,74 | 1,00 | 8,08 | 0,01 | 0,14 |
| 0,20 | 1,54 | 88,00 | 2,00 | 1,40 | -1,40 | -0,05 | 1,00 | 11,46 | 0,01 | 0,20 |
| 0,41 | 3,11 | 178,00 | 2,00 | 1,40 | -0,05 | 1,40 | 1,00 | 23,49 | 0,01 | 0,40 |
| 0,51 | 3,91 | 224,00 | 2,00 | 1,40 | 0,97 | 1,01 | 1,00 | 29,22 | 0,01 | 0,49 |
| 0,64 | 4,71 | 270,00 | 2,00 | 1,40 | 1,40 | 0,00 | 1,00 | 36,61 | 0,01 | 0,60 |
| 0,68 | 5,04 | 289,00 | 2,00 | 1,40 | 1,32 | -0,46 | 1,00 | 38,96 | 0,01 | 0,63 |
| 1,13 | 4,71 | 270,00 | 2,00 | 1,40 | 1,40 | 0,00 | 1,00 | 64,59 | 0,01 | 0,90 |
| 1,25 | 5,24 | 300,00 | 2,00 | 1,40 | 1,21 | -0,70 | 1,00 | 71,77 | 0,01 | 0,95 |
| 1,38 | 5,76 | 330,00 | 2,00 | 1,40 | 0,70 | -1,21 | 1,00 | 78,95 | 0,01 | 0,98 |
| 1,50 | 6,28 | 360,00 | 2,00 | 1,40 | 0,00 | -1,40 | 1,00 | 86,12 | 0,01 | 1,00 |

| Aceleración arrastre Componente Z (m/s ²) | Aceleración arrastre Componente Y (m/s ²) | Velocidad relativa Componente X (m/s) | Velocidad relativa Componente Y (m/s) | Aceleración Coriolis Componente Z (m/s ²) | Aceleración Resultante Componente X (m/s ²) | Aceleración Resultante Componente Y (m/s ²) | Aceleración Resultante Componente Z (m/s ²) | Aceleración Resultante (m/s ²) | Media geométrica de la Aceleración resultante a lo largo de una vuelta de la varilla (m/s ²) |
|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,00 | -0,01 | 0,34 | 0,61 | 1,22 | -0,68 | -11,03 | 1,22 | 11,12 | 10,17 |
| 0,00 | -0,01 | 0,59 | 0,37 | 0,74 | -1,19 | -10,55 | 0,74 | 10,64 | |
| 0,00 | -0,01 | 0,70 | 0,02 | 0,05 | -1,40 | -9,86 | 0,05 | 9,96 | |
| 0,00 | -0,01 | 0,02 | -0,70 | -1,40 | -0,05 | -8,41 | -1,40 | 8,53 | |
| 0,00 | -0,01 | -0,49 | -0,50 | -1,01 | 0,97 | -8,80 | -1,01 | 8,91 | |
| -0,01 | -0,01 | -0,70 | 0,00 | 0,00 | 1,40 | -9,81 | -0,01 | 9,91 | |
| -0,01 | -0,01 | -0,66 | 0,23 | 0,46 | 1,32 | -10,26 | 0,45 | 10,36 | |
| -0,01 | 0,00 | -0,70 | 0,00 | 0,00 | 1,40 | -9,80 | -0,01 | 9,90 | |
| -0,01 | 0,00 | -0,61 | 0,35 | 0,70 | 1,21 | -10,50 | 0,69 | 10,60 | |
| -0,01 | 0,00 | -0,35 | 0,61 | 1,21 | 0,70 | -11,01 | 1,20 | 11,10 | |
| -0,01 | 0,00 | 0,00 | 0,70 | 1,40 | 0,00 | -11,20 | 1,39 | 11,29 | |

La aceleración media obtenida para nuestro ejemplo es 10,17 m/s², la facilidad de operación que nos daba la hoja de cálculo, nos permitió calcular la aceleración resultante para diferentes supuestos que contemplasen variaciones en la longitud de la varilla, velocidades de giro del motor del tocadiscos, velocidades de giro de los motores 2 y 3 y diferentes posiciones de los tubos eppendorf en los depresores linguales. Los resultados obtenidos con cualquier combinación eran siempre superiores a 9,8 m/s².

Definitivamente, no podíamos salir airosos de la situación, nos habíamos equivocado al intentar reproducir las aceleraciones de la gravedad de los distintos planetas con una máquina similar a la que se nos presentaba en el artículo de la revista Investigación y Ciencia. Con ese dispositivo era imposible disminuir el valor de la aceleración de la

gravedad terrestre. Nuestros deseos chocaron con la aplastante realidad de la Física y las Matemáticas

6. ¿QUÉ HACEMOS?... ¡APRENDER DE NUESTROS ERRORES!

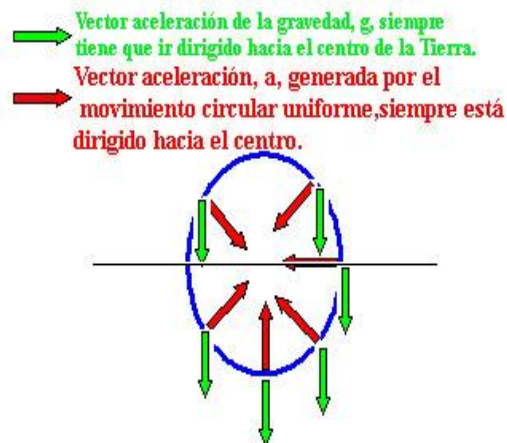
Nos encontramos en un momento crítico de la investigación, en el mes de febrero no solo no teníamos un prototipo viable, sino que acumulamos numerosos fracasos técnicos. ¿Qué hacer? abandonar y reconocer nuestra incapacidad para dar una respuesta a la pregunta planteada al concurso del Museo Elder, o comenzar nuevamente desde cero.

Pues ni lo uno ni lo otro, decidimos seguir adelante pero no partiendo desde cero sino aprovechando las enseñanzas del fracaso. Aprender del error, que es uno de los principios de la Ciencia.

El cúmulo de conocimientos teóricos, el análisis de los cálculos y representaciones gráficas de los movimientos realizados con anterioridad, nos permite albergar esperanza.

7. CAMBIO DE DIRECCION EN LA INVESTIGACIÓN: CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO 5.

Si nos fijamos en la siguiente representación de un movimiento circular uniforme sobre el que actúa la aceleración de la gravedad:

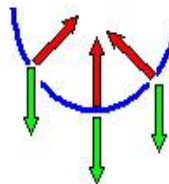
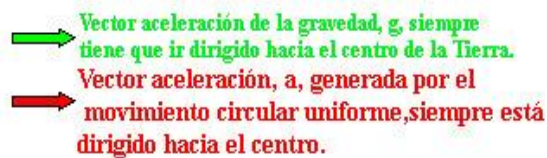


Observaremos que, en la mitad superior, los vectores aceleración de la gravedad (color verde) y aceleración generada por el movimiento circular (rojo) tienen mismo sentido, (hacia abajo), aunque diferente dirección; por tanto, la aceleración resultante sería la suma de estos vectores (previa descomposición vectorial en sus componentes en un sistema de referencia) y tendría siempre un valor superior a $9,8 \text{ m/s}^2$.

En la mitad inferior, los vectores aceleración de la gravedad (color verde) y aceleración generada por el movimiento circular (rojo) tienen sentido contrario, (hacia abajo, g y hacia arriba, a); por tanto, la aceleración resultante sería la resta (previa descomposición vectorial en sus componentes en un sistema de referencia) y tendría siempre un valor inferior a $9,8 \text{ m/s}^2$.

Hemos de recalcar en este punto de la explicación que estamos trabajando bajo la hipótesis de un movimiento compuesto: el microorganismo se ve arrastrado por el líquido debido a las fuerzas de cohesión del fluido, pero al mismo tiempo el microorganismo es capaz de desplazarse respecto al sistema de referencia del líquido, debido a causas externas, en este caso, gracias al peso.

Concluimos que necesitábamos un dispositivo que únicamente produzca la siguiente trayectoria o una parte de ella para lograr aceleraciones absolutas menores de $9,8 \text{ m/s}^2$, para las superiores a este valor, la trayectoria tendría aspecto de curva convexa.



Inmediatamente se nos viene a la mente la imagen de un péndulo, pero no nos vale este dispositivo, debido a que es necesario que la velocidad de oscilación sea constante para nuestras intenciones con los microorganismos. En un péndulo, la velocidad en los extremos es cero, pues tiene que cambiar el sentido de la velocidad (de izquierda a derecha de derecha a izquierda) y en la parte baja su velocidad es máxima. En un péndulo la velocidad varía en los distintos puntos de la trayectoria curvilínea que describe. Nuestro dispositivo debe describir una trayectoria curvilínea pero debe tener velocidad constante. Bajo estas condiciones empiezan a surgir diseños de modelos sobre el papel.

Construimos el nuevo dispositivo aprovechando materiales empleados en el **PROTOTIPO 4** y nuevos materiales, continuando la tradición y bautizándolo como **PROTOTIPO 5**.

Para ser fieles a lo ocurrido esos días de principios de Marzo, hemos de destacar que el motor utilizado en el **PROTOTIPO 5**, el motor del tocadiscos, no sobrevivió al segundo experimento ensayado: las 24 horas continuas de funcionamiento fueron excesivas para él.

Sustituimos el motor por otro que en principio nos presentaba mayores garantías de supervivencia, el motor de una bomba de extracción de agua de una lavadora estropeada, veía la luz el **PROTOTIPO 6**. Lamentablemente su vida fue mas corta aún, a las escasas tres horas de funcionamiento el motor había generado tanto calor que se habían fundido varias piezas de plástico del mismo. No desfallecemos y pensamos en conseguir un nuevo motor.



8. PROTOTIPO 7: EL DEFINITIVO

El tiempo va en nuestra contra y, por primera vez, decidimos hacer una pequeña inversión económica y adquirimos un ventilador en oferta en una gran superficie. Ironías del destino, hemos acabado trabajando con los materiales que nos "había predicho" Bob Dylan al comienzo de nuestra aventura investigadora: el tocadiscos y el ventilador.

Lo desmontamos y hacemos las adaptaciones correspondientes, eliminando los componentes que no nos hacen falta para generar el movimiento deseado, y que, únicamente, proporcionarían "sufrimiento" al motor al tener que moverlos.

Por fin la suerte nos sonrío y el bautizado como **PROTOTIPO 7** sobrevive hasta la fecha, cumpliendo eficazmente con su labor.



A continuación describimos los componentes y funcionamiento del **PROTOTIPO 7**:



COMPONENTE

DESCRIPCIÓN

1. CAJA DE TOCADISCOS

Aporta la estructura en la que va encajado el motor. Sus dimensiones y masa son las adecuadas para mantenerse inmóvil y hacer frente a los movimientos bruscos de la varilla y a la vibración del motor. Es material reciclado.

2. TUERCA FIJADORA

Tuerca que fija el motor a la caja del tocadiscos. Se practicó un agujero en la caja y se sacó el eje de transmisión del movimiento del motor a través de él.

3. EJE DE TRANSMISIÓN

Varilla de acero maciza que permite transmitir el movimiento circular del motor hasta la pieza 4, la biela.

4. BIELA



Pieza clave en la generación del movimiento curvilíneo buscado. Está fabricada con material reciclado: una rueda de piñones a la que hicimos un agujero en un lateral y al que atornillamos una pieza de metal doblada para permitir el vaivén de la biela.

5. PIEZA TRANSMISORA DE MOVIMIENTO

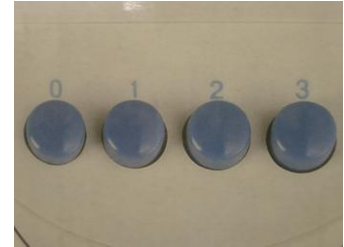


Conectada a la biela con un tornillo en su lateral, se mueve por acción del motor sobre la pieza 4. Esta pieza presenta un hueco horizontal que se inserta en una varilla roscada limitando así su movimiento. En la parte inferior y superior se le practican dos agujeros atornillando una varilla roscada vertical, inferior o superior según los planetas a estudio, en la que se colocarán los tubos eppendorf que contienen los microorganismos. Material reciclado de un ventilador estropeado.

| COMPONENTE | DESCRIPCIÓN |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p data-bbox="312 210 699 241">6.VARILLA OSCILANTE</p>  | <p data-bbox="890 210 1445 728">Varilla roscada de 1,05cm de longitud. Está atornillada a la pieza 5. Describe una trayectoria curvilínea, con velocidad constante y cambio de sentido muy brusco cuando alcanza un ángulo de 70° o -70° con respecto a la vertical. Una especie de vaivén violento. A esta varilla se adosan los eppendorff. Para el estudio de los planetas de gravedad mayor que 9,8 m/s² la varilla tiene 45cm y se coloca sobre la pieza 5. Material en préstamo por el personal de mantenimiento del IES.</p> |
| <p data-bbox="320 741 687 772">7.VARILLA FIJADORA</p> | <p data-bbox="890 741 1445 1064">Limita el movimiento de la varilla oscilante al conectar la pieza 5 con la caja del tocadiscos. Posee dos tuercas que pueden aprisionar según nuestro deseo la pieza 5 y controlar así la amplitud de la oscilación. Material en préstamo por el personal de mantenimiento del IES.</p> |
| <p data-bbox="443 1070 616 1102">1. MOTOR</p>   | <p data-bbox="890 1070 1445 1265">Motor de un ventilador, funciona a 220v y tiene una potencia de 70W. Puede operar a tres niveles de velocidad. Material adquirido por el equipo investigador.</p> |
| <p data-bbox="360 1512 647 1543">9.REFRIGERADOR</p> | <p data-bbox="890 1512 1445 1646">Ventilador para refrigerar. Disipa el calor que genera el motor principal aumentando así su vida de trabajo. Material prestado por un profesor.</p> |
| <p data-bbox="276 1675 735 1749">10.RELOJ DE CONTROL DEL REFRIGERADOR</p> | <p data-bbox="890 1675 1445 1870">Dispositivo que controla el encendido y apagado del refrigerador. Se programó para que permitiera el paso de corriente eléctrica cada 15 minutos. Material prestado por un profesor.</p> |
| <p data-bbox="276 1883 735 1915">11.VARILLA DE SUJECCIÓN</p> | <p data-bbox="890 1883 1445 1948">Evita el desplazamiento del brazo del ventilador.</p> |

8.1. FUNDAMENTO TEÓRICO SEGUIDO PARA EL DISEÑO DEL PROTOTIPO 7

El objetivo era generar un movimiento curvilíneo de velocidad constante que nos permitiera trabajar con una aceleración normal, a_n , fija, que es equivalente a trabajar con una aceleración constante, como ya hemos mencionado en apartados anteriores. El motor del ventilador puede trabajar con tres niveles de velocidad, pero una vez seleccionado el nivel apretando el botón correspondiente, la velocidad se mantiene constante para un tubo eppendorf situado en un punto determinado de la varilla roscada.



Para lograr el movimiento curvilíneo, la biela desplaza a la pieza 5 de forma muy brusca, lo que se traduce en un vaivén rápido de la varilla que alberga a los tubos eppendorf. Si bien es cierto, si nos ponemos escrupulosos, que en un tiempo determinado la varilla tiene que tener velocidad cero, si no, no sería posible un cambio de sentido de la misma, también es cierto que ese instante es muy pequeño debido a la intensidad del impulso que proporciona la biela. Consideramos despreciable ese instante con respecto al tiempo que el microorganismo permanece a velocidad constante.

La amplitud de la oscilación de la varilla debe ser fija. Esto se consigue con dos tuercas situadas en la varilla roscada que soporta a la pieza 5, debido a que fijan el espacio en el que se puede mover esta pieza. Nuestra varilla oscila 70° a la izquierda y 70° a la derecha de una imaginaria línea vertical con respecto al suelo. El cambio de sentido durante la oscilación de la varilla es inmediato, el motor, en un tiempo inapreciable por efecto directo de la biela, consigue esta acción. Con lo cual podemos afirmar que no es una oscilación a velocidad constante, no es un péndulo.

A continuación presentamos un diagrama de los dos vectores aceleración que tendría un microorganismo oscilando de izquierda a derecha, se mueve únicamente en los ejes X e Y.

Hemos de comentar nuevamente que nuestro estudio es solo una aproximación a la situación que viviría un microorganismo inmerso en un líquido en un planeta cualquiera. Simplificamos el estudio despreciando los efectos del líquido sobre el movimiento del microorganismo, no tenemos en cuenta las fuerzas de arrastre del fluido, y partimos de la **hipótesis de que el movimiento es un movimiento compuesto por:**

1. El movimiento del recipiente: curvilíneo y oscilante con un arco de 140° y velocidad constante proporcionada por el motor. Genera una aceleración denominada aceleración normal.

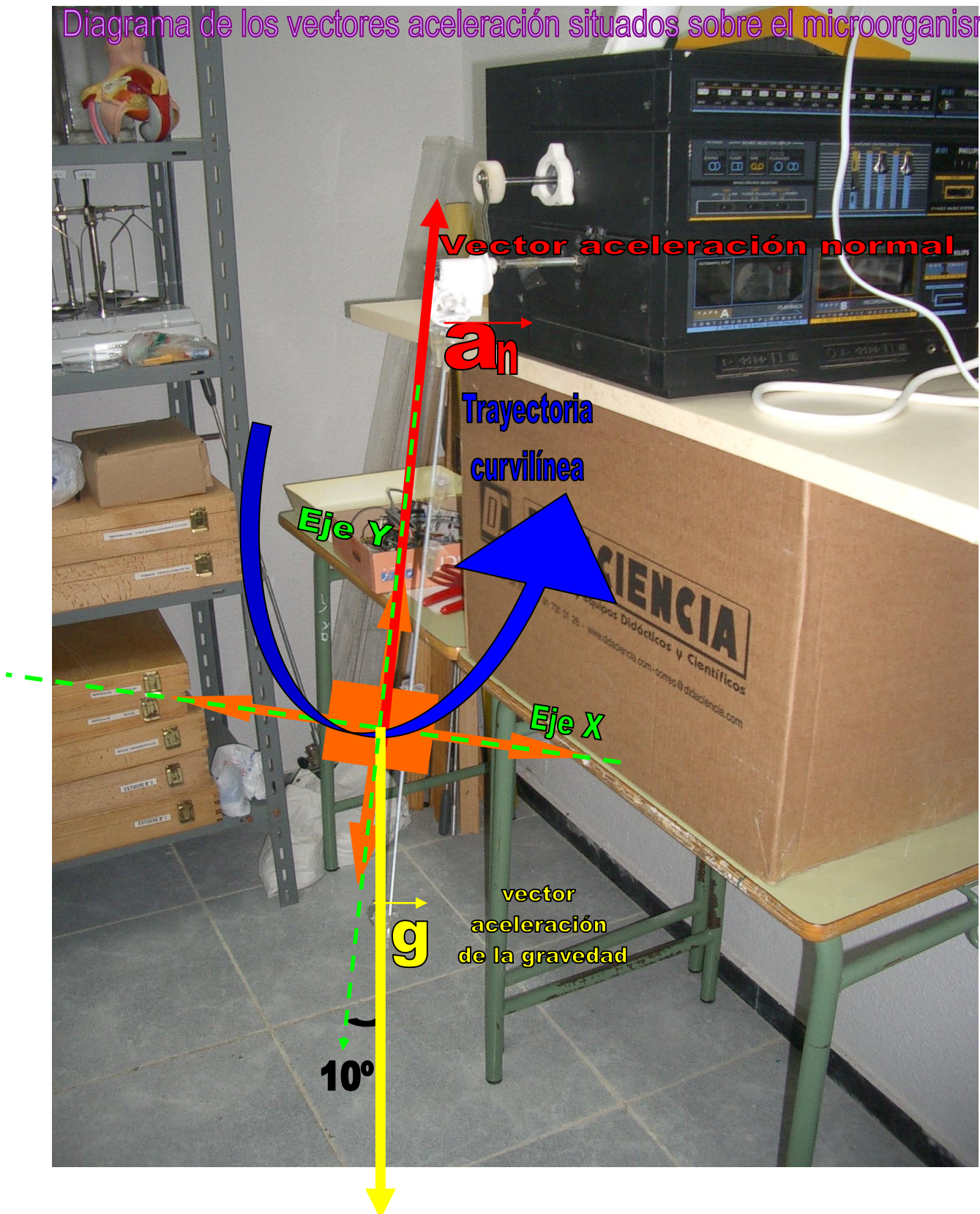
2. El movimiento de caída debido a la fuerza de atracción de la tierra, el peso. Sometido a la aceleración de la gravedad terrestre.

El microorganismo se ve arrastrado por el líquido debido a las fuerzas de cohesión del fluido, pero al mismo tiempo el microorganismo es capaz de desplazarse respecto al sistema de referencia del líquido, debido a causas externas, en este caso, gracias al peso. Suponemos que el movimiento del microorganismo es solidario con la varilla, es decir, tienen siempre la misma dirección y sentido uno con respecto a la otra. En nuestro supuesto el microorganismo nunca sale de estas limitaciones; sin embargo, somos conscientes de que la realidad es mucho más compleja.

El análisis vectorial que realizamos a continuación es válido de igual manera para los ensayos con gravedades superiores a la gravedad terrestre. Lo único que cambiaría sería el sentido de la aceleración normal, a_n , que sería el mismo que el de la aceleración de la gravedad.



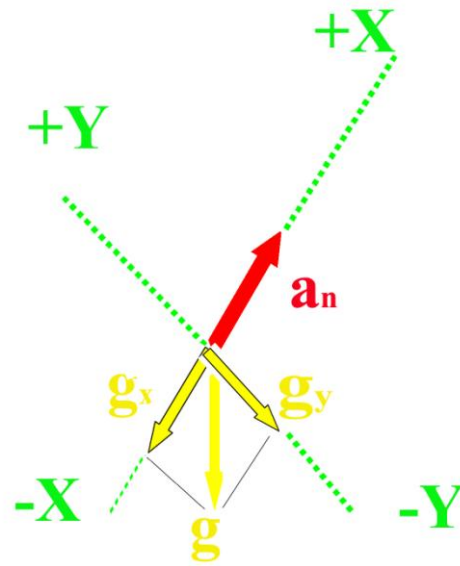
Diagrama de los vectores aceleración situados sobre el microorganismo



El tratamiento matemático de los dos vectores aceleración, a_n y g , para el microorganismo de la imagen anterior sería el siguiente, siguiendo las reglas del cálculo vectorial:

1. Los dos vectores forman entre sí 10° , el sistema de referencia lo hemos situado, para facilitar el cálculo matemático, de forma que siempre coincida el eje Y con el vector aceleración normal, a_n . Por tanto, como se observa en el diagrama, el vector

aceleración de la gravedad estaría siempre entre los ejes X y -Y. Para poder sumar vectores es necesario que tengan la misma dirección, por tanto, siguiendo las reglas del cálculo vectorial es necesario descomponer el vector aceleración de la gravedad en sus dos componentes: la componente g_x y la componente g_y :



2. Se suman los vectores que están situados sobre cada eje, teniendo en cuenta el sentido de los mismos. En el eje -Y únicamente está el vector g_y ; por tanto la aceleración resultante, la aceleración absoluta a la que está sometido el microorganismo, tendrá componente en el eje Y y su valor será el que tenga en cada caso g_y .

En el eje X, está el vector g_x y el vector a_n ; por tanto, la aceleración resultante, la aceleración absoluta a la que está sometido el microorganismo, tendrá su componente en el eje X y su valor será el que tenga en cada caso $a_n - g_x$.

El vector aceleración total, como cualquier vector, será igual a la suma de sus componentes vectoriales:

$$a_{total} = a_{total\ x} + a_{total\ y}$$

Como:

$$a_{total\ x} = a_n - g_x$$

$$a_{total\ y} = -g_y$$

Usando las razones trigonométricas de seno y coseno podemos calcular g_x y g_y :

$$g_x = g \cdot \cos 10^\circ = 9,8 \cdot \cos 10^\circ$$

$$g_y = g \cdot \sin 10^\circ = 9,8 \cdot \sin 10^\circ$$

Por tanto: $a_{total\ x} = a_n - g_x = a_n - g \cdot \cos 10^\circ = v^2/R - g \cos 10^\circ$

$$a_{total\ y} = a_n - g_x = -g_y = g \cdot \sin 10^\circ$$

Módulo del vector aceleración total: $|a| = (a_{total\ x}^2 + a_{total\ y}^2)^{1/2}$

El módulo del vector aceleración total, a , es el valor de la aceleración a la que está sometido el microorganismo a una distancia R del punto de oscilación (distancia desde el eppendorf a eje de giro) y a una velocidad v .

8.2. PUESTA A PUNTO DEL PROTOTIPO 7

Una vez descrito el procedimiento matemático a seguir para el cálculo de la aceleración total, pasamos a detallar las mediciones necesarias para comenzar los ensayos con microorganismos sometidos a las gravedades de los distintos planetas. El procedimiento seguido fue:

1. Dividimos en dos partes la investigación experimental; en primer lugar, investigaríamos el comportamiento de los microorganismos en los planetas de gravedad menor que la Tierra: Venus ($8,85 \text{ m/s}^2$), Marte ($3,72 \text{ m/s}^2$) y Mercurio ($3,70 \text{ m/s}^2$) y no perdemos de vista el objetivo de estudiar los efectos en la Luna ($1,62$). En una segunda etapa estudiaríamos Júpiter ($26,39 \text{ m/s}^2$), Saturno ($11,67 \text{ m/s}^2$), Urano ($11,43 \text{ m/s}^2$), Neptuno ($11,07 \text{ m/s}^2$) y Plutón ($1,96 \text{ m/s}^2$).

2. Es necesario conocer la velocidad (m/s), v , de cada punto de la varilla situado a R (m) del punto de oscilación, sobre el que colocaremos los eppendorf para posteriormente sustituirlo en la expresión $a_n = v^2/R$.

Para ello medimos la distancia que hay entre dos células fotoeléctricas que hemos unido con una cinta adhesiva. El pie de rey nos proporcionó el dato de $2,27 \text{ cm}$. Estas células se sitúan de forma que permitan el paso por ellas de una serie de palillos adosados a la varilla roscada. Con esta operación conseguimos que el cronómetro registrara el tiempo que tarda en pasar el palillo (situado a una determinada distancia del eje de giro, R (m) entre las células.

Si dividimos el espacio $2,27 \text{ cm}$ ($0,0227\text{m}$) entre el tiempo obtendremos la velocidad. Es decir, se ha medido el tiempo que tarda un punto de la varilla en recorrer una distancia muy corta para un determinado ángulo de oscilación: tenemos el dato aproximado de la velocidad puntual.

La velocidad a distintos grados de separación (para una misma distancia) de la varilla con respecto a la vertical, era prácticamente constante. Se va reconstruyendo nuestra moral investigadora, pues éste era una de las condiciones de operación, el movimiento curvilíneo uniforme.

Repetimos esta operación varias veces, para varios palillos (distancias), obteniendo los valores que reflejamos en la siguiente tabla:



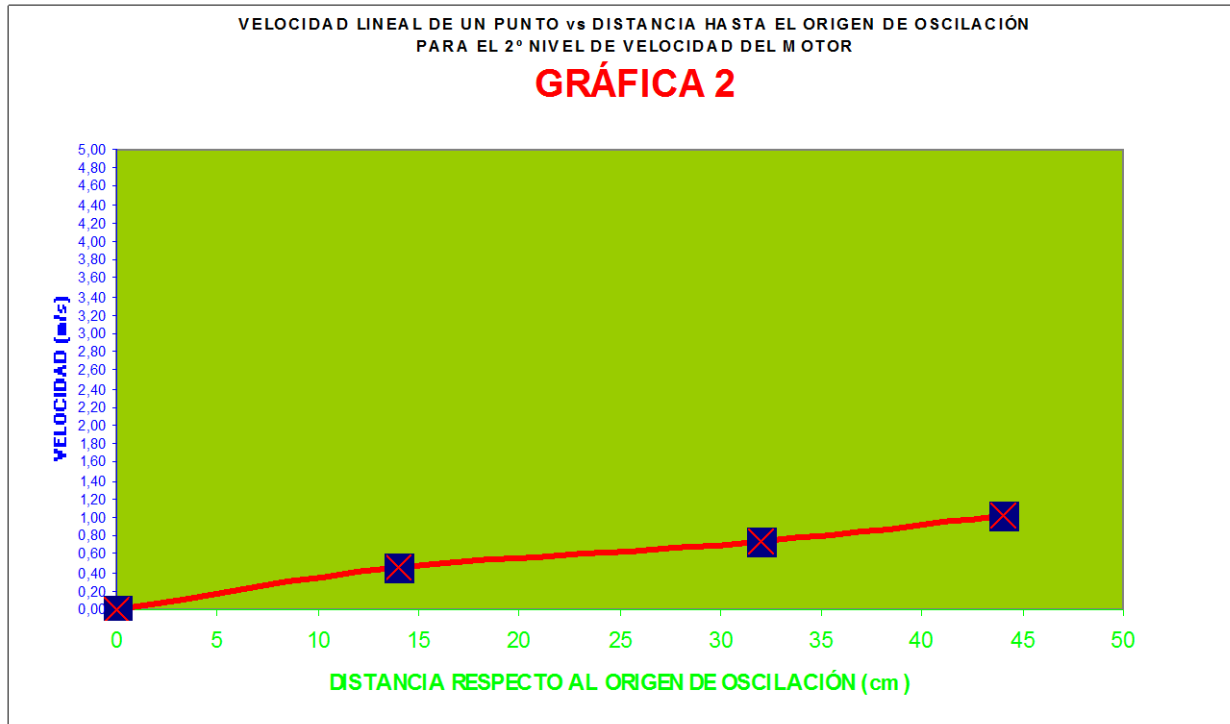
| DATOS DE LA VARILLA UTILIZADA PARA LOGRAR GRAVEDADES INFERIORES PLANETAS: VENUS, MARTE, MERCURIO Y TIERRA | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------|
| Distancia hasta origen de oscilación (cm) | Velocidad lineal (m/s) | Tiempo empleado en recorrer las células (s) |
| 0 | 0,00 | 0 |
| 9,5 | 0,39 | 0,058 |
| 33,5 | 1,37 | 0,042 |
| 40 | 1,63 | 0,026 |
| 50 | 2,04 | 0,012 |
| 80 | 3,27 | 0,003 |
| 90 | 3,67 | 0,001 |
| DATOS DE LA VARILLA UTILIZADA PARA LOGRAR GRAVEDADES SUPERIORES PLANETAS: NEPTUNO, URANO Y SATURNO | | |
| 0 | 0,00 | 0 |
| 14 | 0,31 | 0,073 |
| 32 | 0,75 | 0,032 |
| 44 | 1,03 | 0,022 |

La representación grafica de estos valores es la siguiente:

Aceleraciones de la gravedad inferiores a la de la Tierra



Aceleraciones de la gravedad superiores a la de la Tierra



En ambas gráficas se puede observar una recta. La velocidad en un punto es proporcional a la distancia de ese punto hasta el eje de oscilación. Las ecuaciones de ambas rectas son:

Gráfica 1

$$V(\text{ m/s}) = 0,041666 \cdot R(\text{ m})$$

Gráfica 2

$$V(\text{ m/s}) = 0,022866 \cdot R(\text{ cm})$$

Por tanto hemos construido una recta de calibrado para cada tipo de planetas, es decir, para cualquier posición podemos conocer su velocidad y viceversa.

Con el objeto de facilitar la determinación de la posición en la que debemos colocar el tubo con los microorganismos, para que estén sometidos a las aceleraciones de la gravedad de los distintos planetas, construimos una hoja de EXCEL. En ella se desarrolla un cálculo que describimos en el punto 2 de la página 32 de esta Memoria.

Se calcula la aceleración resultante a la que está sometido el microorganismo a distintos grados de separación con respecto a la vertical, es decir, a lo largo de un tramo de la oscilación, desde los 0 hasta los 70° (daría igual realizarlo en toda la oscilación). Posteriormente se realiza una media entre estos valores. El resultado obtenido lo consideramos como hipótesis de aproximación a la realidad del valor de la aceleración a la que está sometido el microorganismo.

Reproducimos únicamente los resultados de cada planeta estudiado:

| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta TIERRA | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|--|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición (grados) | Velocidad angular (rad/s) | Aceleración normal (m/s ²) | Componente | | A total Y | A total X | A resultante (m/s ²) | Aceleración media (m/s ²) | |
| | | | | | g_x (m/s ²) | g_y (m/s ²) | | | | | |
| 4,05 | 0,98 | 0,00 | 4,15 | 16,82 | 0,00 | 9,80 | 7,02 | 0,00 | 7,02 | 9,83 | |
| 4,05 | 0,98 | 10,00 | 4,15 | 16,82 | 1,70 | 9,65 | 7,17 | 1,70 | 7,37 | | |
| 4,05 | 0,98 | 20,00 | 4,15 | 16,82 | 3,35 | 9,21 | 7,61 | 3,35 | 8,32 | | |
| 4,05 | 0,98 | 30,00 | 4,15 | 16,82 | 4,90 | 8,49 | 8,34 | 4,90 | 9,67 | | |
| 4,05 | 0,98 | 40,00 | 4,15 | 16,82 | 6,30 | 7,51 | 9,32 | 6,30 | 11,25 | | |
| 4,05 | 0,98 | 50,00 | 4,15 | 16,82 | 7,51 | 6,30 | 10,52 | 7,51 | 12,93 | | |
| 4,05 | 0,98 | 60,00 | 4,15 | 16,82 | 8,49 | 4,90 | 11,92 | 8,49 | 14,64 | | |
| 4,05 | 0,98 | 70,00 | 4,15 | 16,82 | 9,21 | 3,35 | 13,47 | 9,21 | 16,32 | | |

| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta MARTE | | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|--|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición (grados) | Velocidad angular (rad/s) | Aceleración normal (m/s ²) | Componente | | A total Y | A total X | A resultante (m/s ²) | Aceleración media (m/s ²) | |
| | | | | | g_x (m/s ²) | g_y (m/s ²) | | | | | |
| 2,20 | 0,53 | 0,00 | 4,15 | 9,13 | 0,00 | 9,80 | -0,67 | 0,00 | 0,67 | 3,71 | |
| 2,20 | 0,53 | 10,00 | 4,15 | 9,13 | 1,70 | 9,65 | -0,52 | 1,70 | 1,78 | | |
| 2,20 | 0,53 | 20,00 | 4,15 | 9,13 | 3,35 | 9,21 | -0,08 | 3,35 | 3,35 | | |
| 2,20 | 0,53 | 30,00 | 4,15 | 9,13 | 4,90 | 8,49 | 0,65 | 4,90 | 4,94 | | |
| 2,20 | 0,53 | 40,00 | 4,15 | 9,13 | 6,30 | 7,51 | 1,62 | 6,30 | 6,51 | | |
| 2,20 | 0,53 | 50,00 | 4,15 | 9,13 | 7,51 | 6,30 | 2,83 | 7,51 | 8,02 | | |
| 2,20 | 0,53 | 60,00 | 4,15 | 9,13 | 8,49 | 4,90 | 4,23 | 8,49 | 9,48 | | |
| 2,20 | 0,53 | 70,00 | 4,15 | 9,13 | 9,21 | 3,35 | 5,78 | 9,21 | 10,87 | | |

| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta NEPTUNO | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------|---------------------------------|----------------------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------------|---------------------------------------------|--|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición (grados) | Velocidad angular (rad/s) | Aceleración normal (m/s ²) | Componente | | A total Y | A Total X | A resultante (m/s ²) | Aceleración media (m/s ²) | |
| | | | | | g_x (m/s ²) | g_y (m/s ²) | | | | | |
| 0,66 | 0,29 | 0,00 | 2,29 | 1,52 | 0,00 | 9,80 | 11,32 | 0,00 | 11,32 | 11,06 | |
| 0,66 | 0,29 | 10,00 | 2,29 | 1,52 | 1,70 | 9,65 | 11,17 | 1,70 | 11,30 | | |
| 0,66 | 0,29 | 20,00 | 2,29 | 1,52 | 3,35 | 9,21 | 10,73 | 3,35 | 11,24 | | |
| 0,66 | 0,29 | 30,00 | 2,29 | 1,52 | 4,90 | 8,49 | 10,00 | 4,90 | 11,14 | | |
| 0,66 | 0,29 | 40,00 | 2,29 | 1,52 | 6,30 | 7,51 | 9,02 | 6,30 | 11,00 | | |
| 0,66 | 0,29 | 50,00 | 2,29 | 1,52 | 7,51 | 6,30 | 7,82 | 7,51 | 10,84 | | |
| 0,66 | 0,29 | 60,00 | 2,29 | 1,52 | 8,49 | 4,90 | 6,42 | 8,49 | 10,64 | | |
| 0,66 | 0,29 | 70,00 | 2,29 | 1,52 | 9,21 | 3,35 | 4,87 | 9,21 | 10,42 | | |

| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta VENUS | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-------------------|---------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|---------------------------------------|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición (grados) | Velocidad angular (rad/s) | Aceleración normal (m/s ²) | Componente | | A total Y | A total X | A resultante (m/s ²) | Aceleración media (m/s ²) |
| | | | | | gx (m/s ²) | gy (m/s ²) | | | | |
| 0,28 | 0,07 | 0,00 | 4,31 | 1,21 | 0,00 | 9,80 | -8,59 | 0,00 | 8,59 | 8,84 |
| 0,28 | 0,07 | 10,00 | 4,31 | 1,21 | 1,70 | 9,65 | -8,44 | 1,70 | 8,61 | |
| 0,28 | 0,07 | 20,00 | 4,31 | 1,21 | 3,35 | 9,21 | -8,00 | 3,35 | 8,68 | |
| 0,28 | 0,07 | 30,00 | 4,31 | 1,21 | 4,90 | 8,49 | -7,28 | 4,90 | 8,78 | |
| 0,28 | 0,07 | 40,00 | 4,31 | 1,21 | 6,30 | 7,51 | -6,30 | 6,30 | 8,91 | |
| 0,28 | 0,07 | 50,00 | 4,31 | 1,21 | 7,51 | 6,30 | -5,09 | 7,51 | 9,07 | |
| 0,28 | 0,07 | 60,00 | 4,31 | 1,21 | 8,49 | 4,90 | -3,69 | 8,49 | 9,26 | |
| 0,28 | 0,07 | 70,00 | 4,31 | 1,21 | 9,21 | 3,35 | -2,15 | 9,21 | 9,46 | |

| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta URANO | | | | | | | | | | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición grados | Velocidad angular (rad/s) | A normal (m/s ²) | gx (m/s ²) | gy (m/s ²) | A Total y | A Total x | A Resultante (m/s ²) | A media (m/s ²) |
| | | | | | | | | | | |
| 0,85 | 0,37 | 10,00 | 2,29 | 1,93 | 1,70 | 9,65 | 11,59 | 1,70 | 11,71 | |
| 0,85 | 0,37 | 20,00 | 2,29 | 1,93 | 3,35 | 9,21 | 11,14 | 3,35 | 11,64 | |
| 0,85 | 0,37 | 30,00 | 2,29 | 1,93 | 4,90 | 8,49 | 10,42 | 4,90 | 11,52 | |
| 0,85 | 0,37 | 40,00 | 2,29 | 1,93 | 6,30 | 7,51 | 9,44 | 6,30 | 11,35 | |
| 0,85 | 0,37 | 50,00 | 2,29 | 1,93 | 7,51 | 6,30 | 8,23 | 7,51 | 11,14 | |
| 0,85 | 0,37 | 60,00 | 2,29 | 1,93 | 8,49 | 4,90 | 6,83 | 8,49 | 10,90 | |
| 0,85 | 0,37 | 70,00 | 2,29 | 1,93 | 9,21 | 3,35 | 5,29 | 9,21 | 10,62 | |

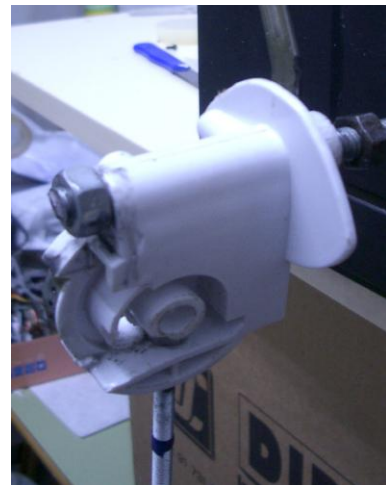
| Cálculo de la aceleración media para el tramo desde los 0° hasta los 70°. Planeta SATURNO | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------------|---------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-----------|-----------|----------------------------------|-----------------------------|
| Velocidad (m/s) | Radio (m) | Posición grados | Velocidad angular (rad/s) | A normal (m/s ²) | gx (m/s ²) | gy (m/s ²) | A Total y | A Total x | A Resultante (m/s ²) | A media (m/s ²) |
| | | | | | | | | | | |
| 0,96 | 0,42 | 10,00 | 2,29 | 2,20 | 1,70 | 9,65 | 11,85 | 1,70 | 11,97 | |
| 0,96 | 0,42 | 20,00 | 2,29 | 2,20 | 3,35 | 9,21 | 11,40 | 3,35 | 11,89 | |
| 0,96 | 0,42 | 30,00 | 2,29 | 2,20 | 4,90 | 8,49 | 10,68 | 4,90 | 11,75 | |
| 0,96 | 0,42 | 40,00 | 2,29 | 2,20 | 6,30 | 7,51 | 9,70 | 6,30 | 11,57 | |
| 0,96 | 0,42 | 50,00 | 2,29 | 2,20 | 7,51 | 6,30 | 8,50 | 7,51 | 11,34 | |
| 0,96 | 0,42 | 60,00 | 2,29 | 2,20 | 8,49 | 4,90 | 7,10 | 8,49 | 11,06 | |
| 0,96 | 0,42 | 70,00 | 2,29 | 2,20 | 9,21 | 3,35 | 5,55 | 9,21 | 10,75 | |

Para los planetas, Venus (0,07cm), Marte (53cm) y Tierra (97cm), la varilla se sitúa en la parte inferior de la pieza 5. Por el contrario, para los planetas Neptuno (29cm), Urano (37cm) y Saturno (42cm) se sitúa en la parte superior, con el objetivo de lograr sumar la aceleración provocada por el movimiento y la aceleración de la gravedad terrestre.

Estudiamos al planeta Tierra en la varilla para poder descartar en el crecimiento de los microorganismos el efecto del movimiento.

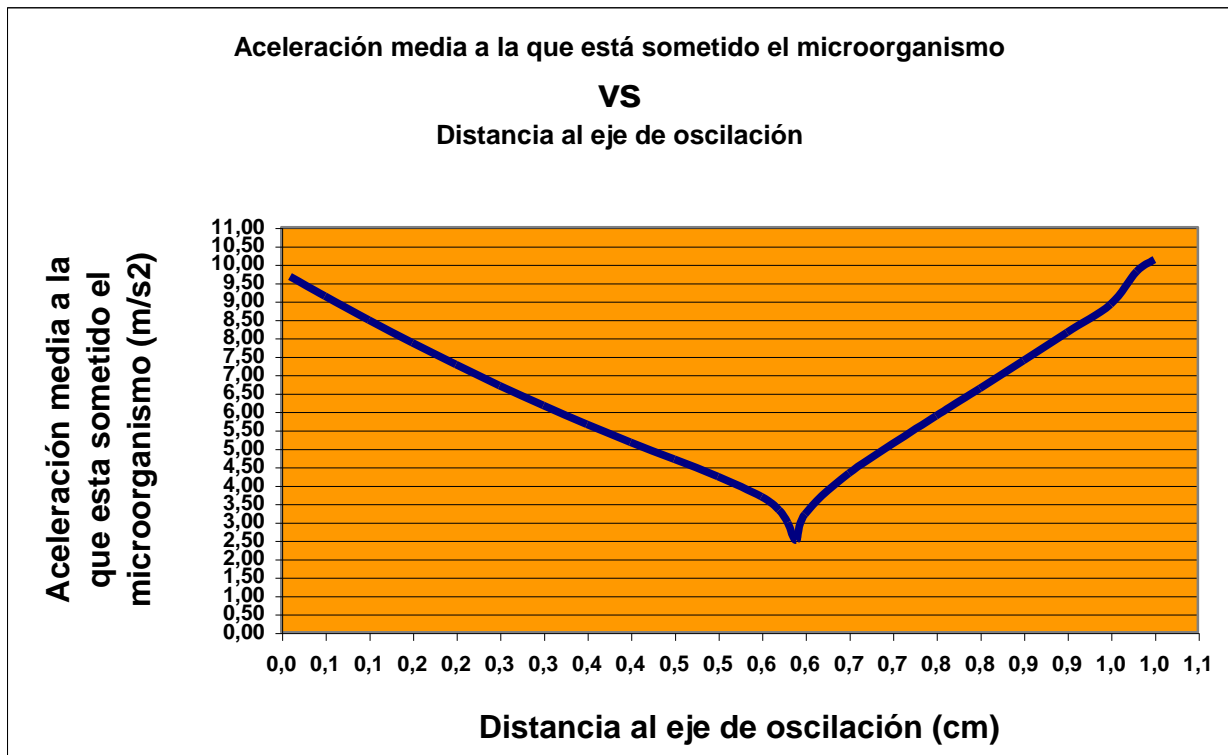
El **PROTOTIPO 7** no permite trabajar con gravedades inferiores a $2,50 \text{ m/s}^2$, ni superiores a 14 m/s^2 , para ello se necesitaría un motor que proporcionara mayor velocidad y unas varillas muy largas. Por tanto quedan fuera de nuestro estudio Júpiter y la Luna. Para el planeta Mercurio el estudio es el mismo que el realizado para Marte al tener gravedades muy similares.

La siguiente tabla relaciona las gravedades obtenidas para cada punto de la varilla, indicándonos los límites de funcionamiento del **PROTOTIPO 7** para la varilla inferior.



| Datos para la varilla utilizada en los siguientes planetas: MERCURIO, MARTE, TIERRA Y VENUS | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------|
| Velocidad lineal en cada punto (m/s) | Distancia (m) | Aceleración media a la que está sometido el microorganismo (m/s²) |
| 0,20 | 0,01 | 9,66 |
| 0,41 | 0,05 | 9,13 |
| 0,61 | 0,10 | 8,48 |
| 0,82 | 0,15 | 7,86 |
| 1,02 | 0,20 | 7,27 |
| 1,22 | 0,25 | 6,70 |
| 1,43 | 0,30 | 6,16 |
| 1,63 | 0,35 | 5,65 |
| 1,84 | 0,40 | 5,16 |
| 2,04 | 0,45 | 4,70 |
| 2,24 | 0,50 | 4,23 |
| 2,33 | 0,55 | 3,68 |
| 2,37 | 0,57 | 3,32 |
| 2,41 | 0,58 | 2,98 |
| 2,45 | 0,59 | 2,50 |
| 2,65 | 0,60 | 3,21 |
| 3,06 | 0,65 | 4,32 |
| 3,26 | 0,75 | 5,87 |
| 3,47 | 0,80 | 6,62 |
| 3,67 | 0,85 | 7,38 |
| 3,88 | 0,90 | 8,14 |
| 4,00 | 0,95 | 8,91 |
| 4,08 | 0,98 | 9,80 |
| 4,08 | 1,00 | 10,12 |

La representación grafica de estos valores es la siguiente:



En la representación gráfica se puede observar que hay un límite inferior: no es posible cualquier aceleración; la Luna con sus $1,96 \text{ m/s}^2$, queda, lamentablemente, fuera de nuestro estudio. No hay límite superior desde el punto de vista matemático; sin embargo, el motor del ventilador no tiene la potencia suficiente para hacer oscilar varillas de longitudes elevadas. Estamos en el mes de Mayo y ya no era posible diseñar y construir al **PROTOTIPO 8** por falta de tiempo.

9. RESUMEN DE LA PARTE DE LA INVESTIGACIÓN RELACIONADA CON LA FÍSICA

Tras recorrer un camino "lleno de curvas", fabricados siete prototipos y superado una "crisis de teoría física y de cálculo vectorial" conseguimos poner en marcha la investigación experimental con microorganismos. Deseamos antes de abordar la parte de análisis microbiológico hacer una serie de consideraciones:

1. La descripción del movimiento que realiza un microorganismo se hace bajo una serie de aproximaciones y limitaciones. No pretendemos reproducir exactamente la realidad gravitatoria de los diferentes planetas, nos es imposible, pero sí hacemos una interesante aproximación a lo que podría ser. Trabajamos, como muchas veces hacen los científicos, con modelos e hipótesis.

2. No se ha tenido en cuenta la influencia del fluido en el movimiento del microorganismo. La inclusión de los fenómenos de arrastre del líquido y choque del microorganismo con las paredes del tubo eppendorf, complicaría excesivamente la investigación y está fuera de nuestros conocimientos teóricos. Nuestro intento por abordar estos fenómenos ha chocado con la dificultad extrema que para nosotros supone el uso de ecuaciones diferenciales y demás aspectos de la Mecánica de Fluidos.

3. El movimiento de la varilla que proporciona el motor no es el movimiento de un péndulo, ya que no disminuye la velocidad conforme se acerca a los extremos, y tampoco la velocidad es máxima en la parte más baja (mitad del recorrido). Este hecho ha sido provocado en el diseño del dispositivo: el cambio de sentido en el movimiento es muy brusco y en los extremos la disminución y el aumento de la velocidad es prácticamente instantáneo.

4. El microorganismo de turno está sometido a un movimiento compuesto, el movimiento del recipiente, curvilíneo con un arco de 140° y velocidad proporcionada por el motor constante, y un movimiento de caída debido a la fuerza de atracción de la tierra, el peso. El microorganismo se ve arrastrado por el líquido debido a las fuerzas de cohesión del fluido, pero al mismo tiempo es capaz de desplazarse respecto al sistema de referencia del líquido, debido a causas externas, en este caso, gracias al peso.

La aceleración a la que está sometido el microorganismo es una composición de dos vectores, la aceleración normal y la aceleración de la gravedad.

5. La aceleración normal tiene la siguiente expresión: $a_n = V^2/R$; por tanto, podrá variar a lo largo de la longitud de la varilla, ya que la velocidad en cada punto de ésta depende de la distancia al eje de giro.

6. El cálculo de la aceleración a la que está sometido el microorganismo durante un trayecto de la varilla desde 70° hasta -70° , se realiza calculando la aceleración resultante a distintos grados de oscilación y realizando una media aritmética entre estos valores. No podemos afirmar rotundamente que el microorganismo esté sometido a una aceleración determinada y fija en todo el trayecto, nuestro dispositivo no nos lo permite, pero sí podemos afirmar que, en el tiempo que dura cada trayecto, la aceleración media tiene un valor que difiere muy poco de los valores en cada punto.

7. El tiempo total que permanece el microorganismo en el dispositivo es de 24 horas.

10. BIBLIOGRAFÍA:

- Física Recreativa, Yakov Perelman, Ed. Mir,1975,
- Revista Investigación y Ciencia N° Abril 1996.
- Física General, J.García Santesmases, Ed.Paraninfo.1980
- Problemas de Física, S.Burbano,Ed.MIRA, 1994.
- La Enciclopedia del Estudiante, AA.VV. Ed. Santillana
- Física y Química 4º ESO, E.Enciso,F.Miret.Ed.ECIR
- Física 2, Ángel Peña, Ed. McGraw-Hill
- Física y Química 4º ESO,AA.VV. Ed. Oxford
- Física y Química 1º Bachillerato.AA.VV.Ed.Oxford
- www-istp.gsfc.nasa.gov
- www.fundación-telefonica.com/at/ingravidos
- www.sc.ehu.es/sbweb/fisica
- www.ciencia facil.com
- www.monografías.com