

**JEAN-PIERRE PETIT**

*Las aventuras de Anselmo*

# POR UN PUÑADO DE AMPERIOS

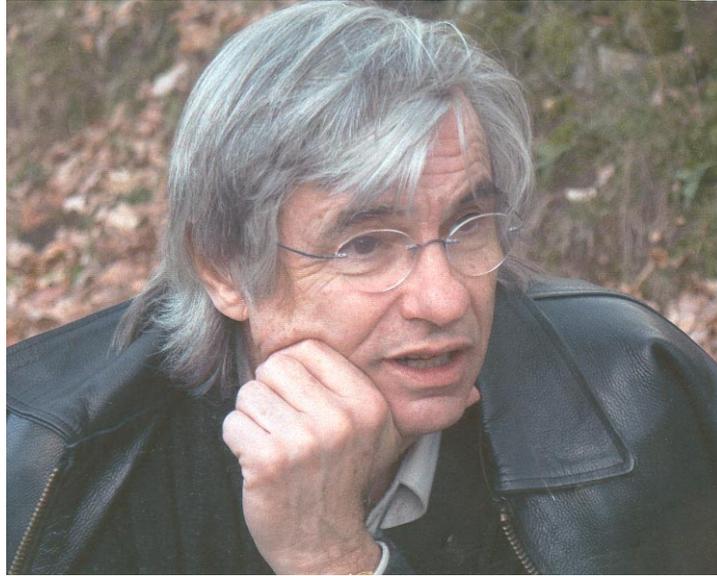


Traducción: Juan Carlos Anduckia

# Saber sin Fronteras

Association Loi de 1901

<http://www.savoir-sans-frontieres.com>



**Jean-Pierre Petit, presidente de la Asociación**

Antiguo director de investigaciones del CNRS, astrofísico y creador de un nuevo género : la Historieta Científica. Creada en el año 2005 junto con su amigo Gilles d'Agostini, la asociación Saber sin Fronteras tiene como finalidad distribuir gratuitamente el saber científico y técnico por todo el mundo. La asociación funciona gracias a donaciones y retribuye a sus traductores con 150 euros por cada historieta traducida (en el 2007), asumiendo además los cargos bancarios de las transferencias. Numerosos traductores en todo el mundo contribuyen a aumentar diariamente el número de álbumes traducidos, los cuales ascienden en el 2007 a 200 y son telecargables de manera gratuita en 28 idiomas, incluyendo el Laostaní y el Ruandés.

El presente archivo pdf puede ser duplicado y reproducido sin restricciones, parcial o totalmente, y utilizado por los profesores en sus cursos a condición de que lo hagan sin ánimo de lucro. Puede ser depositado en bibliotecas municipales, escolares y universitarias, tanto en forma impresa como en redes de tipo Intranet.

El autor tiene previsto completar la presente colección de historietas con álbumes más elementales, para chicos de 12 años. Igualmente están en proceso de elaboración álbumes « hablantes » para analfabetas, así como álbumes bilingües para el aprendizaje de idiomas a partir de las lenguas de origen.

La asociación está buscando continuamente nuevos traductores que puedan traducir las obras a su propia lengua materna y que posean las competencias técnicas que los habiliten para realizar buenas traducciones de los álbumes que emprenden.

## Para contactar la asociación basta con ir a su página web

**Para realizar una donación:**

Para otros países → **Número de Cuenta Bancaria Internacional (IBAN) :**

<b>IBAN</b>
FR 16 20041 01008 1822226V029 88

y → **Código Identificador del Banco (BIC):**

<b>BIC</b>
PSSTFRPPMAR

Los estatutos de la asociación (en francés) están disponibles en su sitio web. Así mismo, la contabilidad puede ser accesada en línea, en tiempo real. La asociación no retiene dinero alguno de las donaciones, ni siquiera los costos de las transferencias bancarias, de modo que las sumas entregadas a los traductores son netas.

La asociación no paga a ninguno de sus miembros, que operan benévolamente y asumen ellos mismos los costos de funcionamiento y de administración del sitio web, costos que no son por lo tanto sufragados por la asociación.

Pueden estar seguros de que en esta especie de « obra humanitaria cultural », cualquiera sea la suma que ustedes donen, ésta será consagrada íntegramente a retribuir a los traductores.

En promedio, estamos poniendo en línea una decena de nuevas traducciones cada mes.

# PRÓLOGO



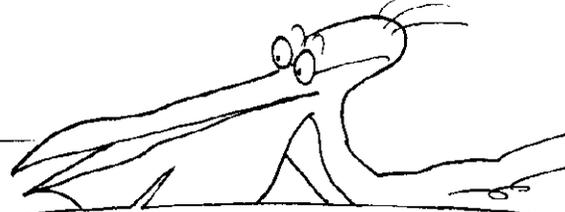
Está lloviendo, así que ni modo de salir



Papel, tijeras, cuerda, ovillo.  
¿Qué podemos hacer con todo eso? Nada...



¿De qué hablas?  
¡El tiempo está estupendo!



Cierto. Necesitamos un laboratorio real para poder hacer cosas interesantes. ¿Qué tal un ciclotrón?  
¿O un láser?



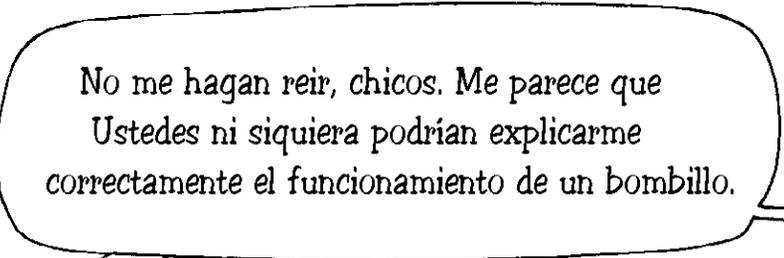
Pero de qué se quejan, si tienen todo lo que necesitan...

¡No estarás insinuando que en esta casa hay todo lo necesario para ilustrar los grandes problemas científicos!

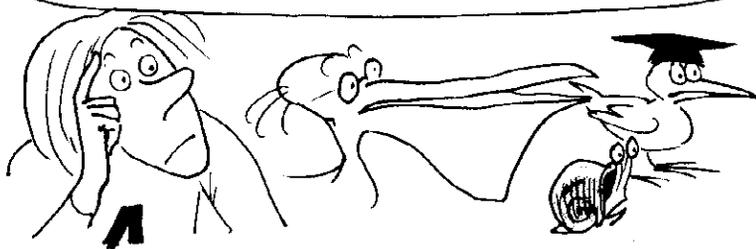
Rutherford (\*) solía decir que podía hacer investigación incluso en el Polo Norte



Sí, está bien. Pero... ¿qué podemos hacer aquí?



No me hagan reír, chicos. Me parece que Ustedes ni siquiera podrían explicarme correctamente el funcionamiento de un bombillo.



(\*) Físico neozelandés, descubrió el átomo en 1905

Bueno. No entremos en pánico. El filamento del bombillo se calienta debido a que a través de él pasa una **CORRIENTE ELÉCTRICA**

¿Y qué es lo que es una corriente eléctrica?

¡NULOS!  
¡Son nulos para esto!

Hmm, la cosa se pone complicada...

¿Pero por qué se calienta el filamento?

# INTENSIDAD

Veamos. Pienso que podemos simularlo con la ayuda de una analogía hidráulica

Una vasija de lavado sacada del zarzo, un medidor de agua desconectado...

...Creía que estaban hablando de electricidad

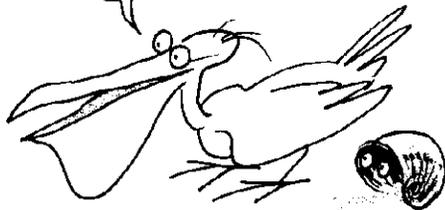
Es fácil. El desnivel  $h$  representa la **DIFERENCIA DE POTENCIAL**

Y la manguera representa la **RESISTENCIA ELÉCTRICA**. Si su longitud es  $L$  y su área seccional  $s$ , el flujo de salida es proporcional a  $hs/L$

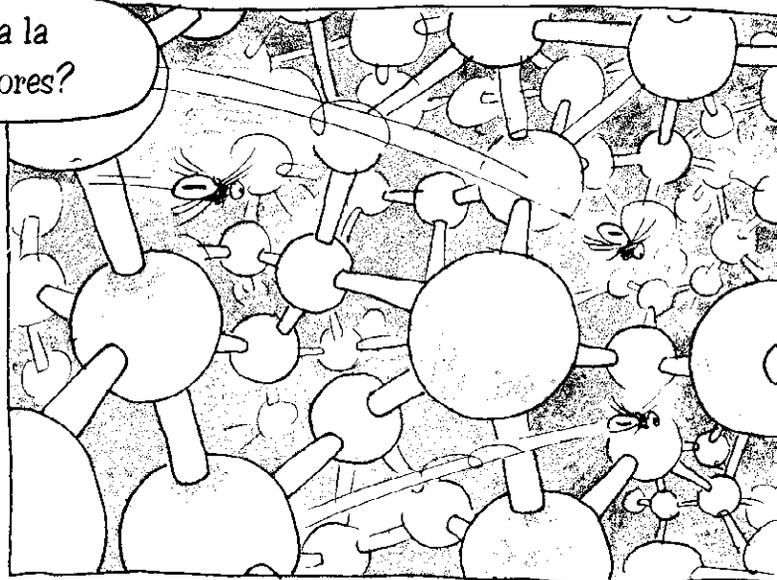
Si hacemos doble la longitud de la manguera, el flujo de salida se reduce a la mitad

# RESISTENCIA

Dime, Sofia, ¿qué tipo de fricción limita la velocidad de los electrones en los conductores?



Un hilo de cobre no es un tubo vacío...

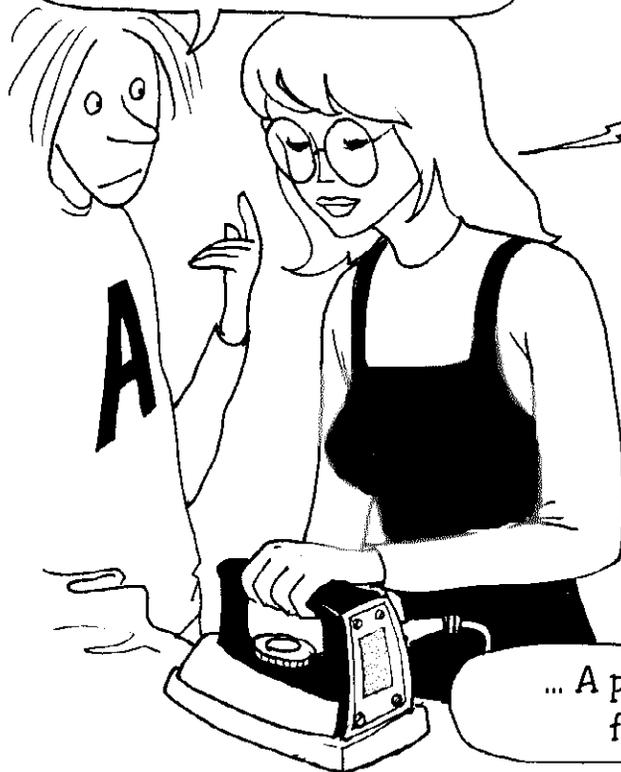


En un metal los átomos están fijos y forman una especie de red. Los electrones libres existen a cualquier temperatura y pueden moverse en esta red. Es sólo cuando colisionan con los átomos que su avance se frena, creando un efecto de **RESISTENCIA ELÉCTRICA**

¿Pero por qué se calienta el metal?



Las colisiones sacuden la estructura atómica y esta agitación se transmite de un átomo a otro creando un efecto de **CONDUCCIÓN TÉRMICA**



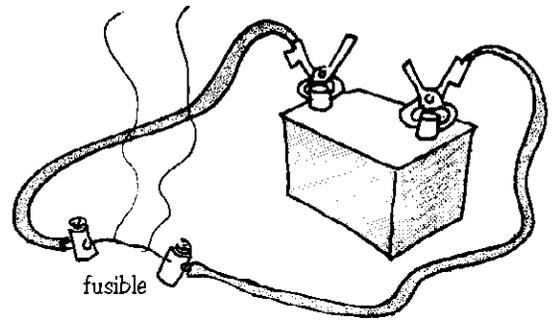
Ah, sí, es lo que conocemos como **EFFECTO JOULE**

Todo se aclara...



... A pesar de que todavía no explica por qué el filamento de un bombillo emite luz...

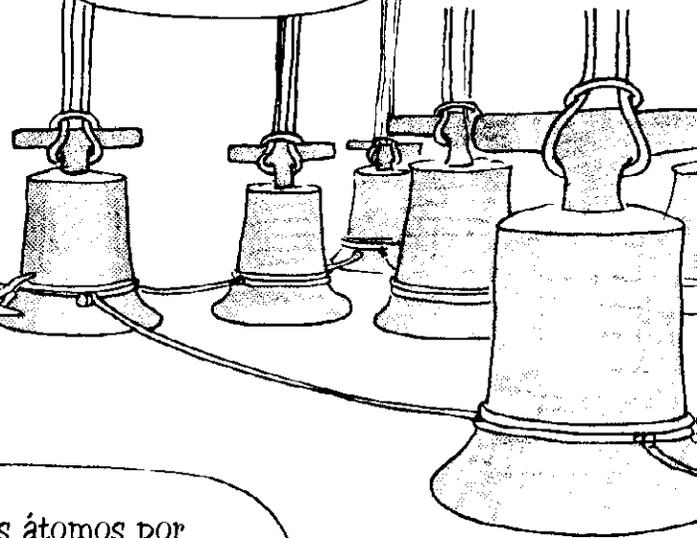
La agitación puede llegar incluso a distorsionar la red metálica, produciendo fusión



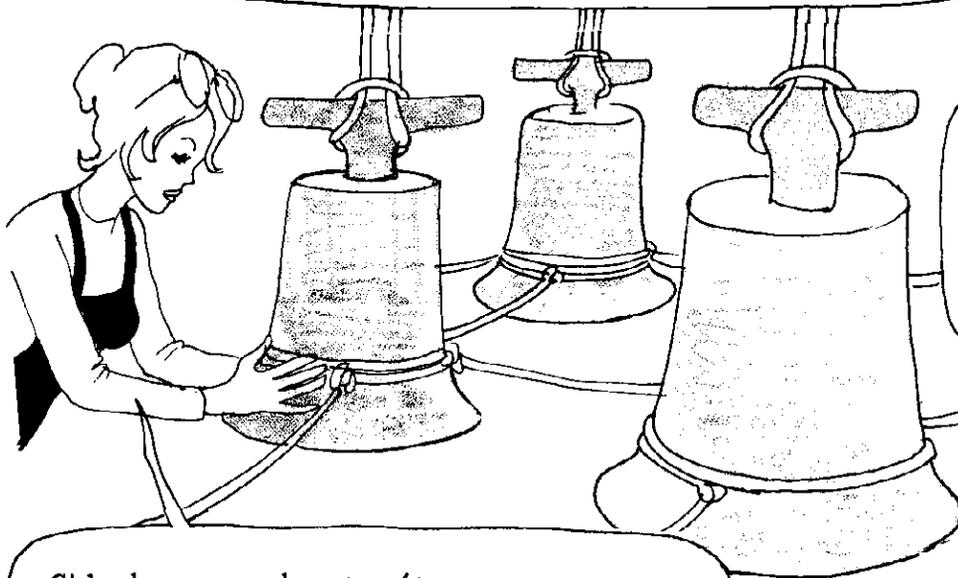
¿Y la luz de dónde viene?



¡Ooops, se quema!



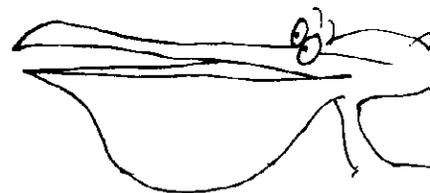
Imagina ahora que representamos los átomos por medio de campanas unidas entre sí con cuerdas elásticas



Es una buena manera de representar el fenómeno de conducción térmica en un sólido



Si le das a uno de estos átomos-campana una serie de empujoncitos suaves, estos se propagarán a toda la estructura por medio del elástico



# INCANDESCENCIA

Pero si el empujón es más fuerte, o si se acumula un gran número de empujones, entonces la campana evacuará toda esta **ENERGÍA** acumulada emitiendo ondas sonoras

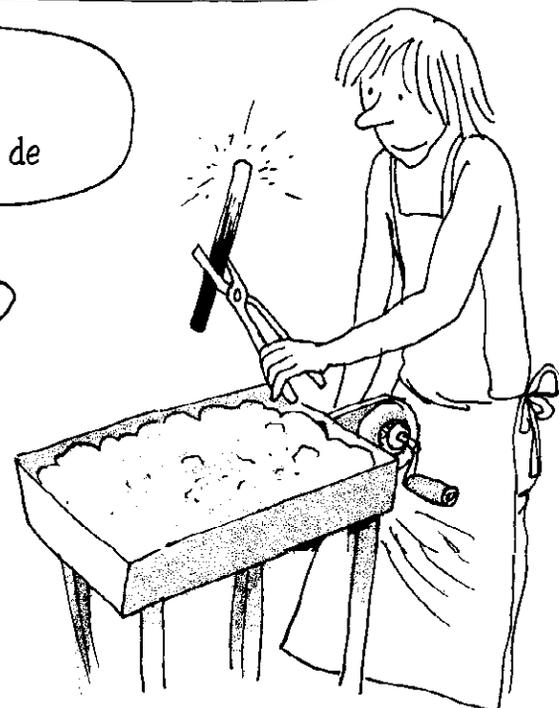
Ok, comprendo: de la misma forma que los átomos en el filamento emiten energía lumínica a partir de una cierta temperatura, para evacuar el exceso de energía que no puede ser disipada por el fenómeno de conducción térmica



Aún más si haces un agujero en el bombillo para reducir las pérdidas de calor por conducción térmica

La emisión de energía por radiación será tanto más intensa cuanto mayor sea la temperatura del sólido. Por esto para los filamentos se usan materiales como el tungsteno, que pueden resistir temperaturas de  $3000^{\circ}\text{C}$  sin fundirse

Muy bien. Queda claro que los sólidos calientes irradian energía. ¿Pero por qué se pone **ROJA** la barra de hierro?



Porque está a una temperatura menor que el filamento del bombillo. Una plancha también irradia energía.

Pon la cabeza en esta sartén cromada. Verás que refleja la energía irradiada (\*) por tu piel.

Es verdad, lo puedo sentir

Tú también irradas...

¿También yo irradio...?

Mi querido Tiresias... Dado que eres un animal de sangre fría, dudo mucho que emitas mayor cosa

De hecho, la única manera en que los átomos de un sólido dejan de vibrar y de emitir energía es cuando este se encuentra a la temperatura del CERO ABSOLUTO, que es un estado de mínima energía.

(\*) Este tipo de radiación no visible, emitida por medios o cuerpos a baja temperatura, se llama radiación INFRARROJA

Bien, ahora que sabemos todo acerca del bombillo, pienso que podemos comenzar a develar todos los secretos de esta modesta casa



Anselmo, la luz de la cocina se fundió.  
¿Podrías cambiarla?

# EL TUBO DE NEÓN



... Los átomos de neón en el tubo se desprenden de la energía que reciben de los impactos de los electrones que viajan a través del tubo

¡Claro!  
¿O acaso cómo crees que funcionan el horno a gas, el fuego y el sol?





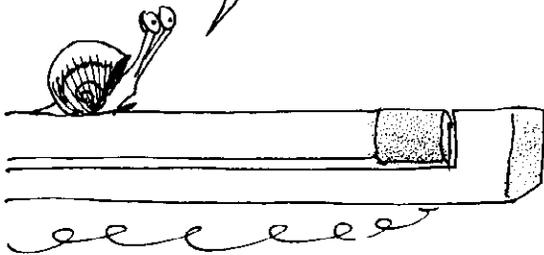
En un gas caliente, es la colisión entre las moléculas resultante de la **AGITACIÓN TÉRMICA** la que origina la emisión de luz



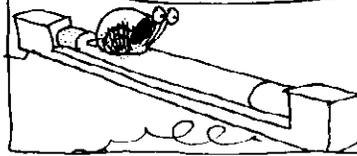
Así es. No puede ser tan complicado. Se conecta el tubo, una corriente fluye a través suyo, el gas se calienta y emite luz



Sólo hay un problema, Anselmo... y es que el gas permanece frío con el tubo funcionando



Tienes razón. Algo me está faltando...

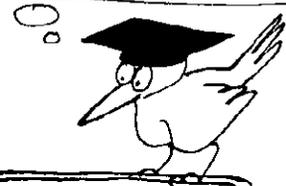


# CONDUCTIVIDAD ELÉCTRICA

En estos casos la guía más segura es el experimento. Pongamos un poco de neón en un tubo. Pondré un electrodo en cada extremo y los conectaré a un generador eléctrico



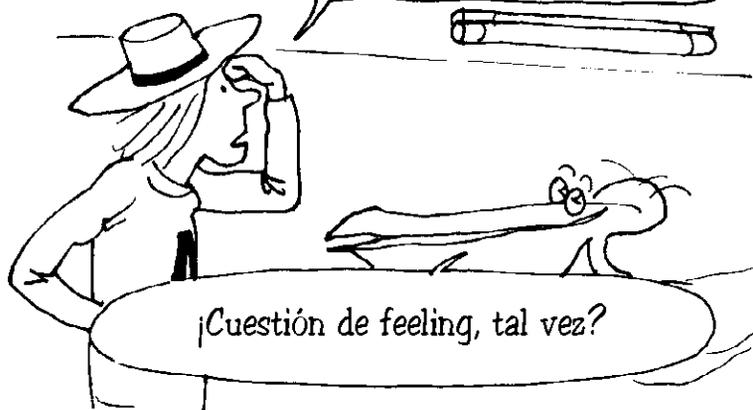
Me encantan los experimentos



Ponemos el neón a la presión atmosférica



¡Pero si por el tubo de neón de la cocina pasa un amperio a doscientos veinte voltios!



En un **CONDUCTOR**, el paso de una corriente eléctrica se debe al movimiento de **ELECTRONES LIBRES**

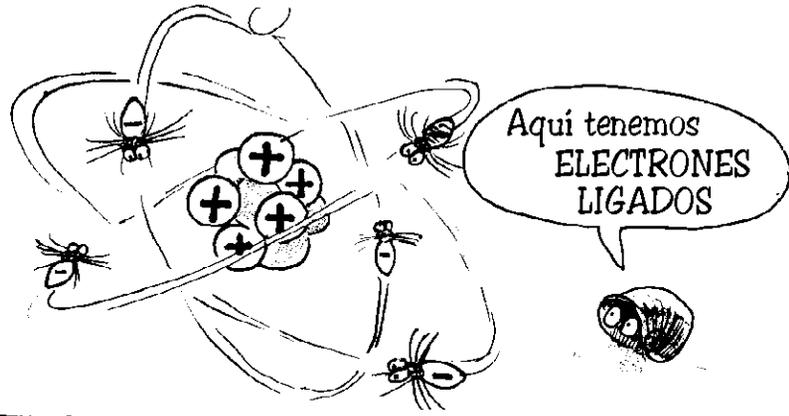
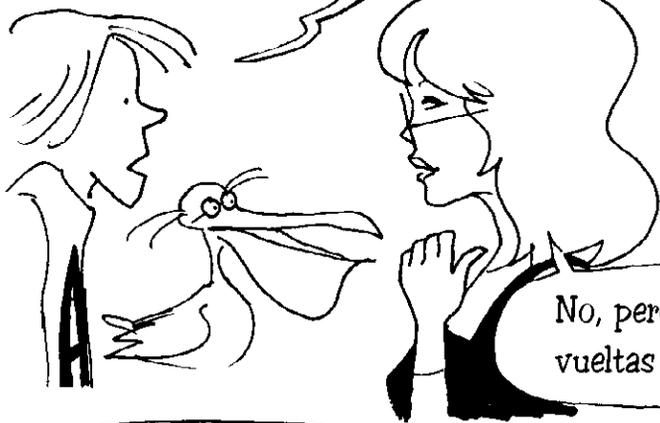


Mientras que en el neón, a una temperatura ordinaria, hay muy pocos

¿Pero por qué la corriente pasa a través de un metal?



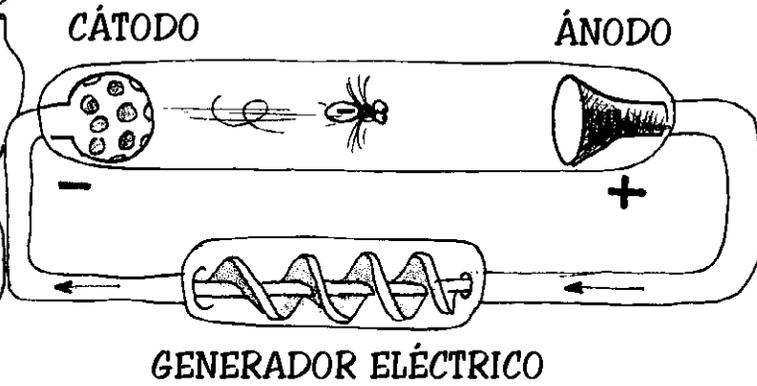
¿Quieres decir que no hay electrones en un gas a baja temperatura?



No, pero la mayor parte de ellos está ocupada dando vueltas en sus órbitas, en torno a los núcleos de los átomos

¿Y qué es lo que hace circular a los electrones?

Son puestos en movimiento por el GENERADOR, que actúa como una bomba



Bueno, ¿entonces cuál es el problema?

Perfecto, funciona

Tiresias, quitate de ahí

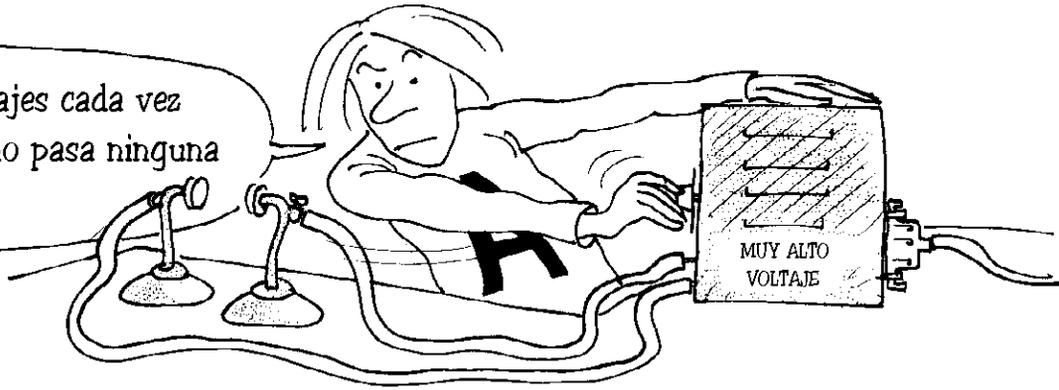
¡Ouch!

Anselmo encontró una BOMBA ELÉCTRICA

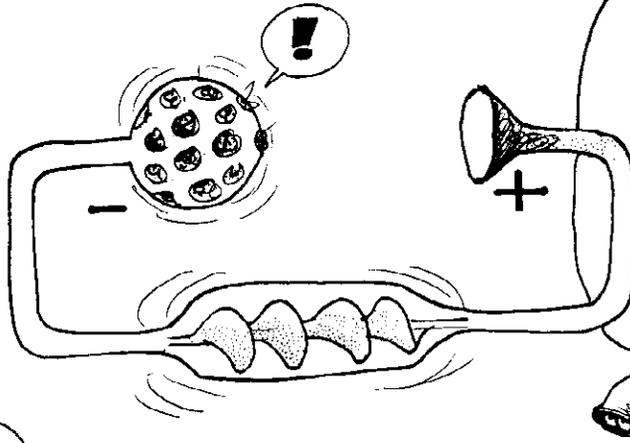
Es un generador de alto voltaje de corriente directa

# EL ARCO ELÉCTRICO

Qué curioso. ¡Escojo voltajes cada vez mayores y sin embargo no pasa ninguna corriente eléctrica!

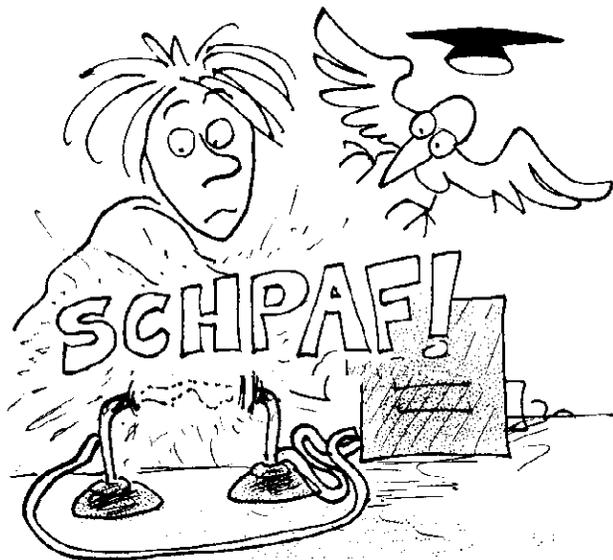
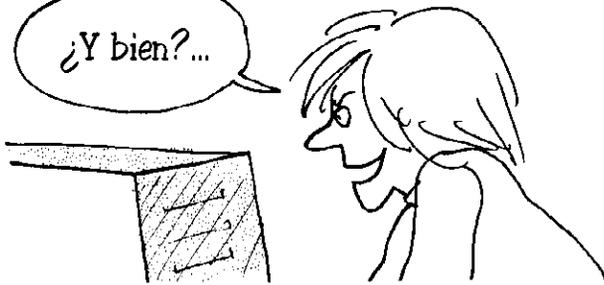


Veinte mil voltios...  
treinta mil...



Incrementando el voltaje en el generador, Anselmo aumenta la "presión electrónica" en el cátodo

¿Y bien?...



¿Se puede saber qué fue lo que pasó?

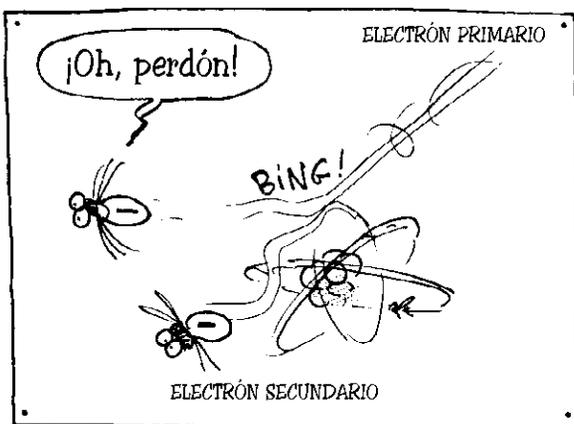
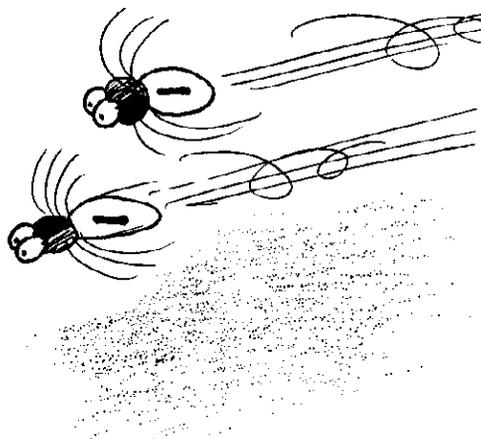


¿Estás bien?

Nos podemos ir, se acabó todo

# LA AVALANCHA ELECTRÓNICA

Un generador eléctrico crea entre sus electrodos un CAMPO ELECTROMOTRIZ que tiende a mover los electrones libres. Incluso en un gas a una temperatura ordinaria, existe un pequeño número de ellos que va a ser voluntariamente atraído del cátodo hacia el ánodo. Acelerando en sus colisiones con los átomos, estos electrones, llamados primarios, van a adquirir una cierta energía (cinética) para poder arrancar los electrones ligados a los átomos, transformándolos en nuevos electrones libres

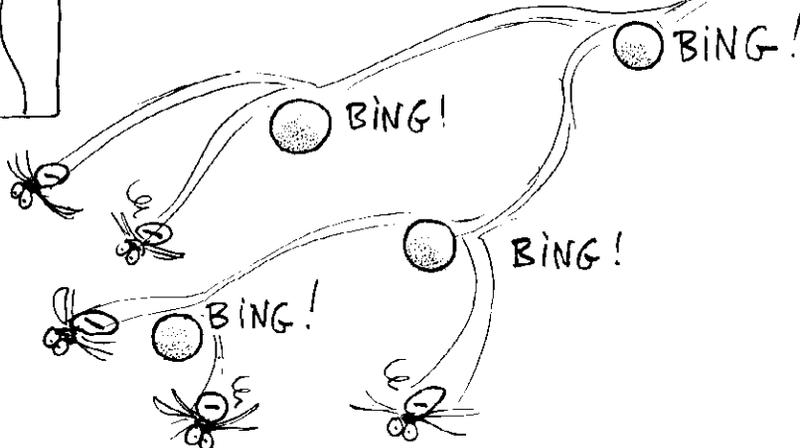


Cada electrón liberado en la colisión se convierte en un **ELECTRÓN LIBRE**, y acelera de la misma manera

Cada electrón inicial, primario, puede así dar origen a un buen número de nuevos electrones secundarios



A eso le llamamos la **AVALANCHA ELECTRÓNICA**

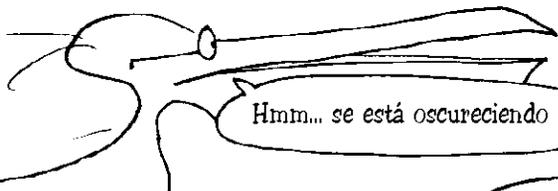




En el experimento anterior, eso quedó demostrado por un repentino aumento en la intensidad del flujo de electrones

En otras palabras, repentinamente el gas entre los electrodos se convirtió en un buen conductor. Y el generador, entrando en **CORTO CIRCUITO**, se quemó

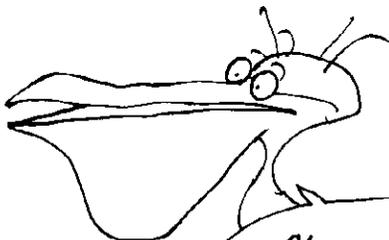
En el aire, una **DESCARGA** de este tipo ocurre cuando, a la presión atmosférica, la diferencia de potencial alcanza 30.000 voltios por centímetro



Hmm... se está oscureciendo

# BOUM!

El **RAYO** es un arco eléctrico que se produce cuando la diferencia de potencial entre la nube y la tierra sobrepasa este umbral de descarga



¿Cómo puede la electricidad hacer tanto ruido?



En el arco eléctrico hay una violenta liberación de calor que crea una **ONDA DE CHOQUE**

Pero todo eso no resuelve mi problema, ni explica por qué pasa una corriente eléctrica por el tubo de neón de la cocina

¡El misterio continúa!

# CAMINO LIBRE PROMEDIO

Veamos. La avalancha electrónica se produce cuando el electrón se las arregla para adquirir suficiente energía en función del espacio, a lo largo de su trayectoria...



¡Vaya, esto está lleno!

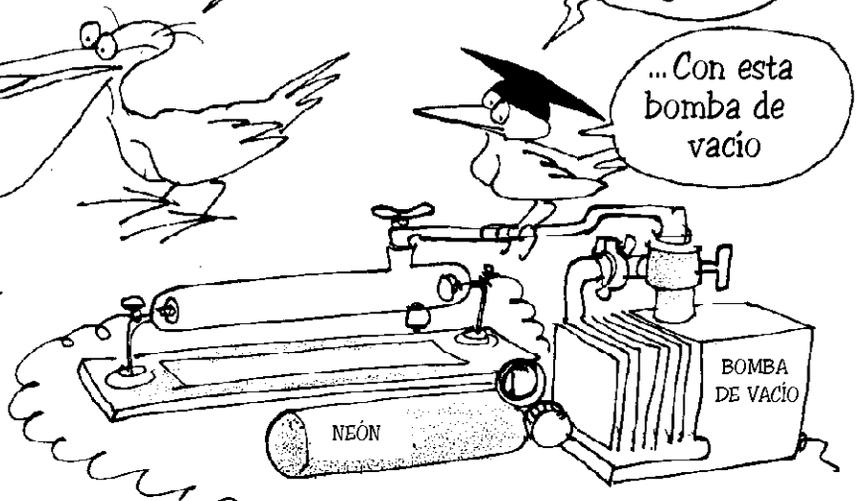
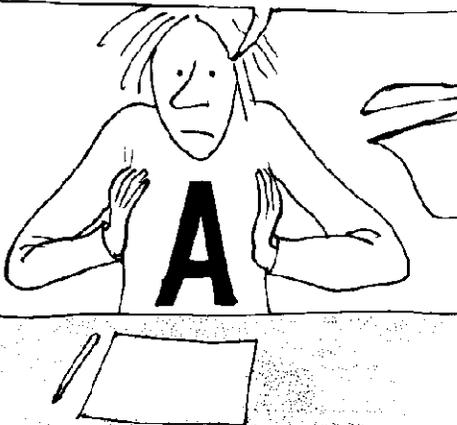
A la que llamamos CAMINO LIBRE PROMEDIO

Me parece que si logro aumentar este camino libre promedio del electrón, este acelerará por más tiempo y adquirirá mayor energía

Pero... ¿cómo aumentas este camino libre?

¡Fácil, sólo tienes que disminuir la densidad del gas!...

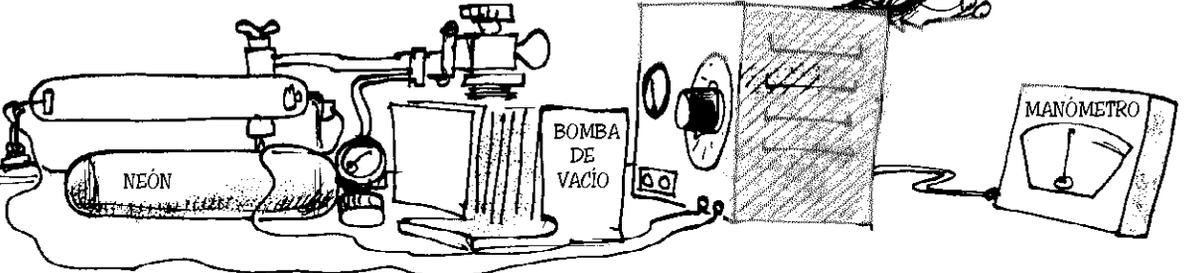
... Con esta bomba de vacío



Escojo doscientos voltios y bombeo

PATAFLOUP  
PATAFLOUP  
PATAFLOUP

La presión disminuye...

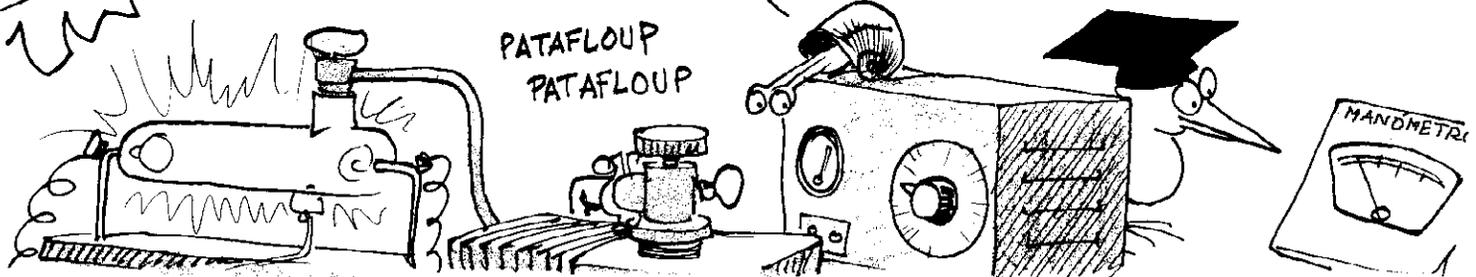


¡YUUPI!

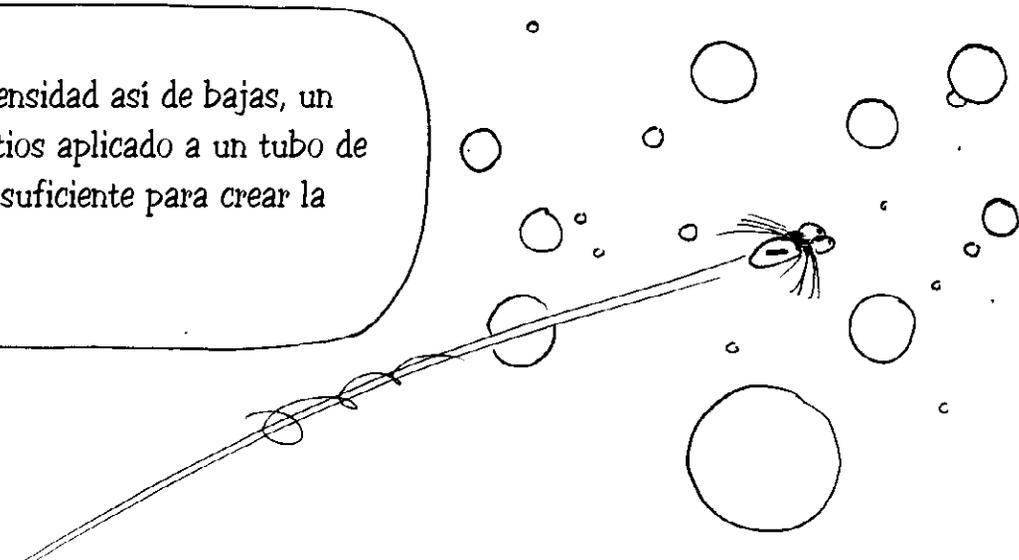
¡Sofía, el tubo se ilumina!

La presión ha caído a diez milésimos de atmósfera

¡Y pasa una corriente!



Con una presión y una densidad así de bajas, un voltaje de doscientos voltios aplicado a un tubo de cincuenta centímetros es suficiente para crear la avalancha electrónica



# IONIZACIÓN

# DESIONIZACIÓN

En esta... avalancha de la que hablas hay una creación continua de electrones libres. Pero si la descarga se prolonga, al final no habría más que electrones libres, ¿no es así?

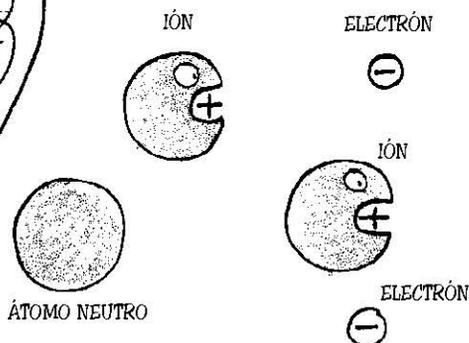


No

¿Todos los átomos estarían ionizados al final?

Como puedes ver, León, todo electrón que se libera deja una carga positiva tras de sí. A este átomo cargado se le llama IÓN

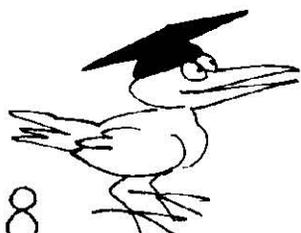
Pero... cargas con signos contrarios se atraen, ¿o no?



Así es. Los electrones tienden a regresar a los átomos, neutralizándolos. Este fenómeno se conoce como DESIONIZACIÓN

Y la creación simultánea de electrones libres y iones constituye el fenómeno de IONIZACIÓN

En la desionización el eventual exceso de energía cinética se disipa en forma de radiación, la cual contribuye a la emisión de luz en el gas

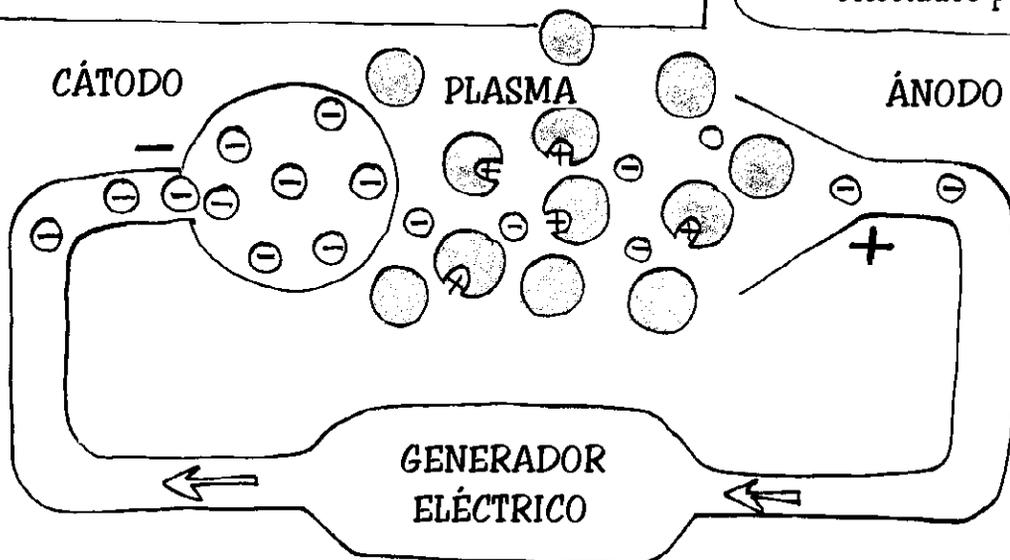


# EL PLASMA

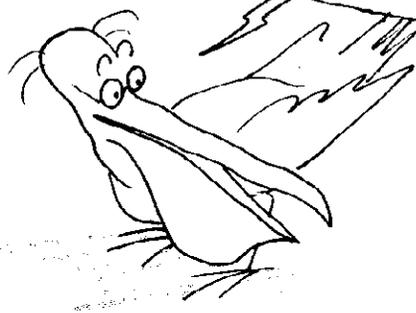
Resumamos. Una especie de bomba de electrones, llamada generador eléctrico, enriquece un **CÁTODO** de electrones. Esta carga catódica actúa sobre los electrones del gas y los acelera creando continuamente nuevos electrones libres mediante el efecto de avalancha electrónica. Cuando los fenómenos de **IONIZACIÓN** y de **DESIONIZACIÓN** se equilibran, se obtiene una mezcla de iones, de electrones y de átomos neutros llamado **PLASMA**, eléctricamente neutro.



La corriente de electrones circula. Estos son emitidos por el cátodo y colectados por el ánodo



¡Santo cielo, entonces cuando enciendo una luz de néon estoy creando un **PLASMA**!



¡Es increíble lo que puedes encontrar en una casa!



¡Plasma!?!



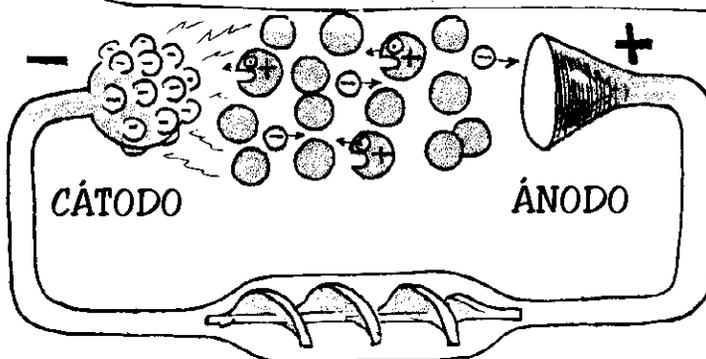
Un tubo de neón encendido contiene un plasma. Max dice que el sol es un plasma, una gran bola de gas ionizado. ¿Pero por qué el sol es caliente, mientras que el tubo de neón se mantiene frío?

En un plasma "frío" son los choques de los electrones con los átomos los que mantienen la ionización, mientras que en el sol son las colisiones entre los átomos. Necesariamente están en un estado de agitación y por eso el gas se calienta

En el tubo de neón se produce una **IONIZACIÓN NO TÉRMICA**

Pero en un plasma de ese tipo hay dos tipos de cargas: los electrones y los iones. En principio, la fuerza eléctrica actúa sobre los dos, ¿no?

Exacto. El campo eléctrico que reina dentro del tubo y que pone las cargas en movimiento atrae los electrones en un sentido



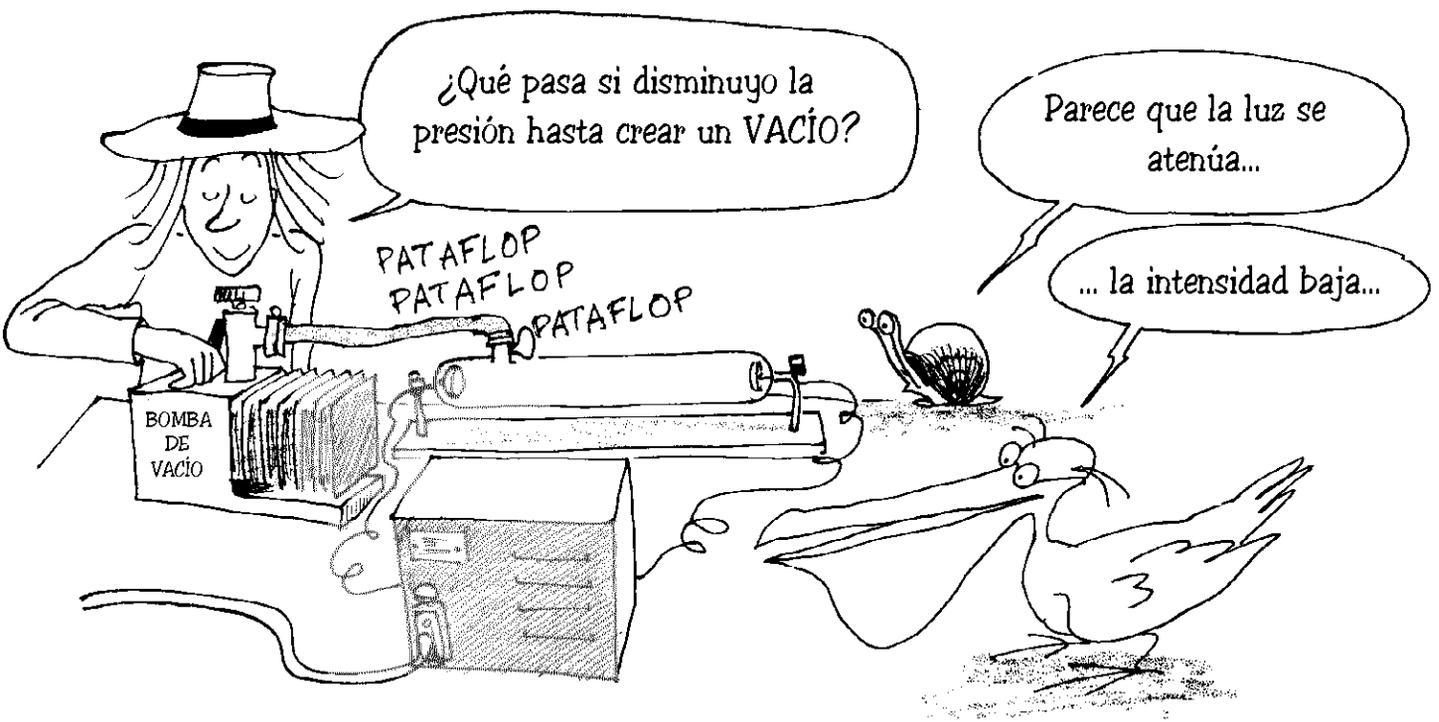
y los iones en el otro.

El campo se debe a la acumulación de electrones en el cátodo, debida a la "presión" electrónica

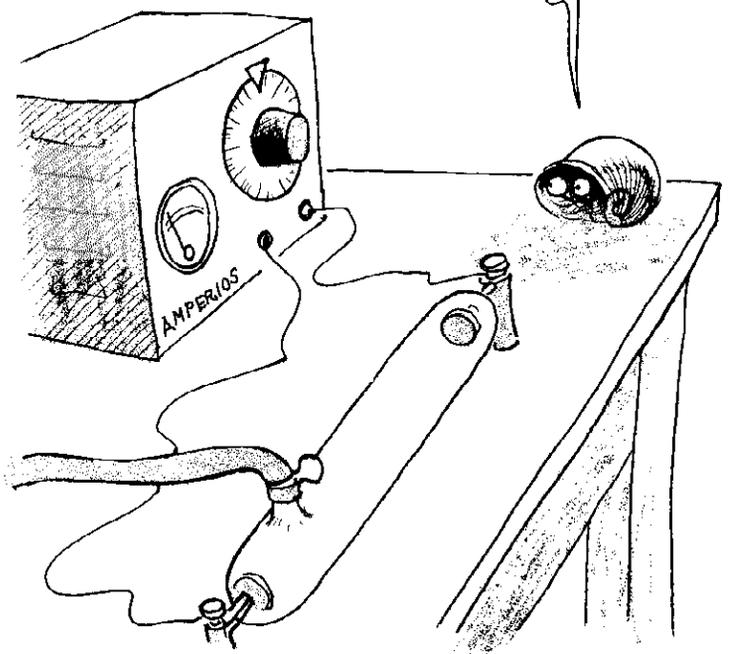
La colisión con los átomos neutros frena el avance de las cargas. Sólo los electrones, ligeros y móviles, logran encontrar un camino en medio a ese desorden

Eso quiere decir que en el tubo de neón la **CORRIENTE IÓNICA** es despreciable comparada con la **CORRIENTE ELECTRÓNICA**

# EMISIÓN CATÓDICA

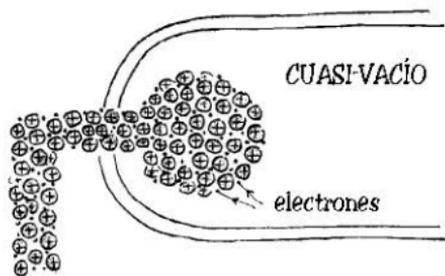


No comprendo. A una alta presión, nada funcionaba, pero a un presión baja empieza a funcionar. Pero si ahora comenzamos a bajar la presión la corriente se debilita. Como si el cátodo encontrara cada vez más difícil expulsar sus electrones.

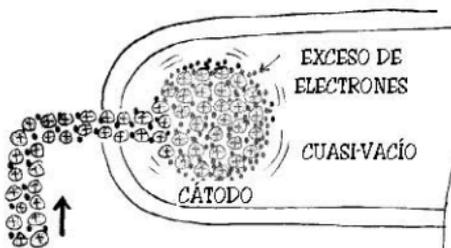


¿Por qué?

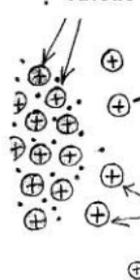




El cátodo es un pedazo de metal hecho de núcleos de átomos con carga positiva y electrones



átomos del cátodo



¿Vienes, querida?

iones del gas

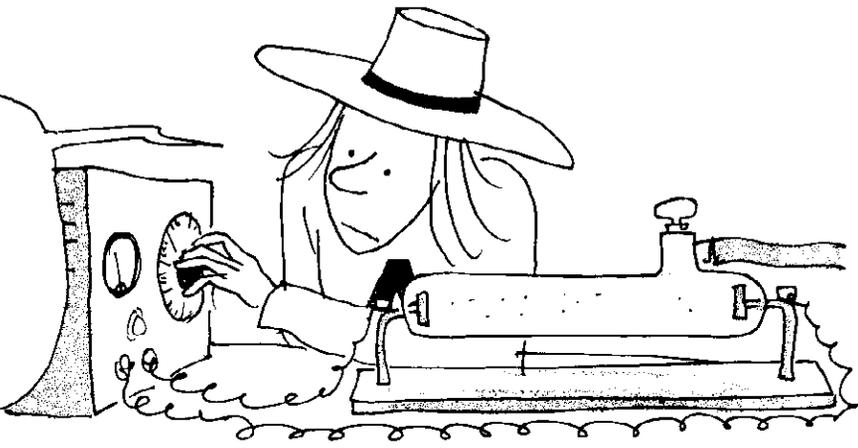
Un generador eléctrico tiene como efecto acumular electrones libres en el metal del cátodo. Pero si el voltaje es insuficiente, la presión electrónica es muy débil como para permitir a los electrones anclarse en los átomos del metal

En cambio, si hay átomos del gas en estado ionizado ayudarán a los electrones a escapar

Pero si el gas es muy denso, no pasará más la corriente. Lo que indica que existe una presión óptima(\*)

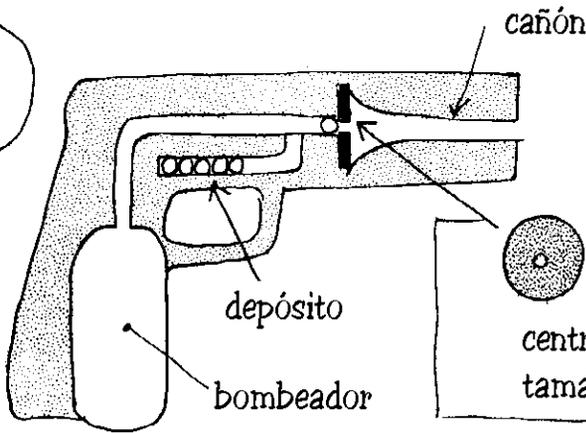
(\*) El mínimo de Paschen

Cuando hay casi vacío en el tubo, hay que aplicar un voltaje de varios miles de voltios para que sean emitidos unos cuantos electrones del cátodo



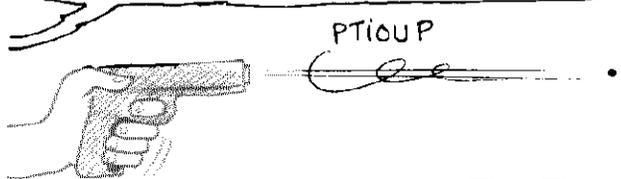
Este voltaje no depende del metal de que está hecho el cátodo

Esta es una vieja pistola NEUMÁTICA



Membrana de caucho con un orificio en el centro algo menor que el tamaño del balín

Cuando se aprieta la cacha, la membrana se deforma y el balín es expulsado con fuerza



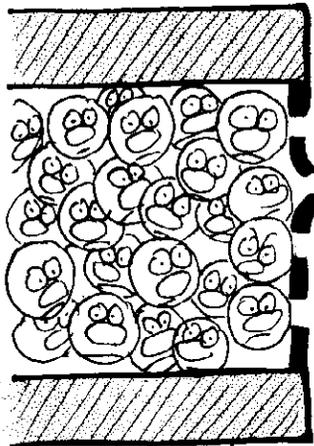
PTIUP

Como cuando uno escupe la pepa de una cereza

¡Cuidado, ahí voy!

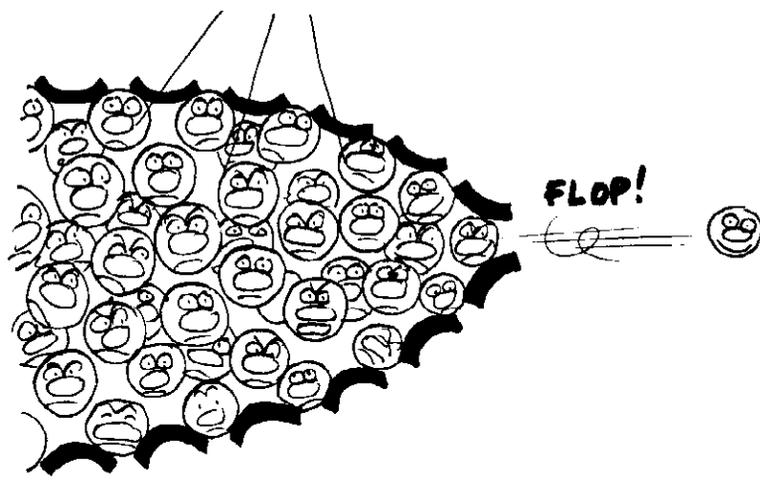
FTIUP!

Cuando un cátodo emite, se comporta como una especie de coladera con una gran cantidad de orificios a través de los cuales los electrones son expulsados con violencia por la "presión electrónica"

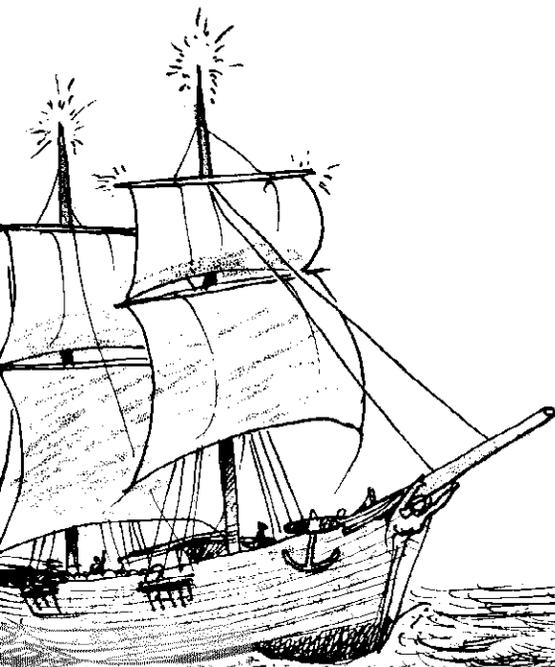


# EL EFECTO DE LOS PUNTOS

ELECTRONES



Normalmente, las balas-electrones  
atravesarán más fácilmente la pared  
elástica donde esta esté curvada



Bajo ciertas condiciones  
meteorológicas, esto  
produce, en el mar, en los  
extremos de los mástiles y  
las vergas, lo que conocemos  
como FUEGO de  
SAN TELMO ...

...Y explica también por qué el rayo,  
de preferencia, toma el camino de los  
pararrayos



ELECTRONES

Volvamos a las descargas en los tubos de vacío

Podemos facilitar ampliamente la emisión electrónica calentando el cátodo, por ejemplo haciendo circular a través de él una pequeña corriente, como se aprecia aquí, con un segundo generador de bajo voltaje (una simple batería es suficiente)

CORRIENTE PARA CALENTAR EL CÁTODO

CÁTODO CALIENTE

EMISIÓN TÉRMICA DE ELECTRONES EN EL VACÍO

CORRIENTE DE DESCARGA EN EL TUBO

BOMBA PRINCIPAL DE ALTO VOLTAJE

¡Vaya, qué bien! Es tremendamente eficaz. Puedo hacer pasar una corriente por el tubo con menos de cien voltios

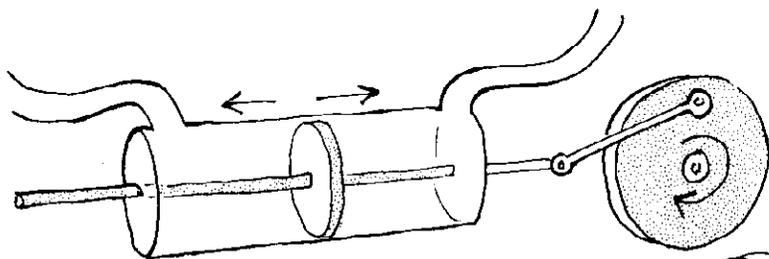
Dinos Sofia, todo esto que estamos tratando de hacer, ¿qué es?

Si, todo este juego con electrones...

¡Eso se llama **ELECTRÓNICA!**



# CORRIENTE ALTERNA



Aquí tenemos otro tipo de generador eléctrico-bomba, que funciona de forma alternativa

Se trata de una divertida "bomba" que aspira y sopla alternativamente

Me perdi...

Pero y entonces... ¿dónde pones el ánodo y dónde el cátodo?

Los electrodos desempeñan  
alternativamente las dos funciones

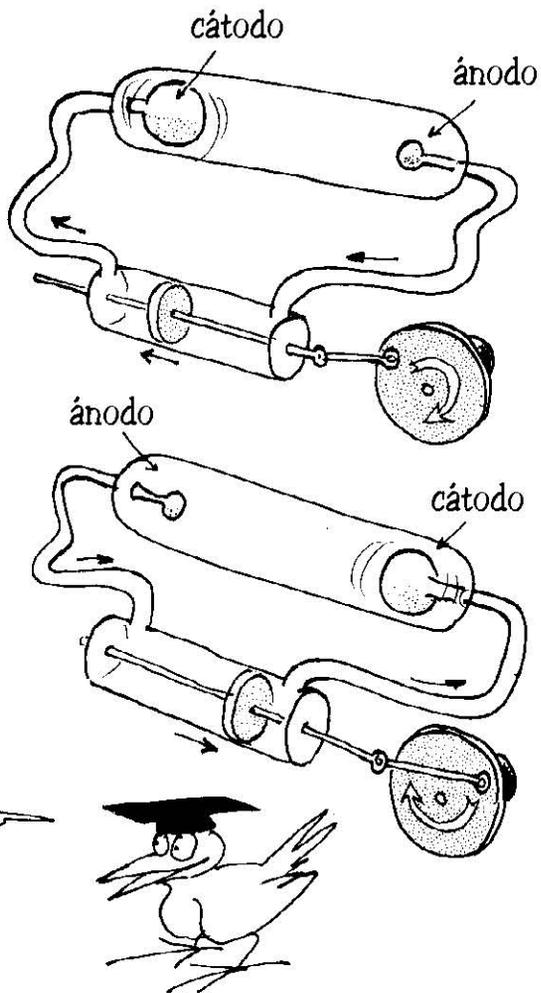
¿Entonces se puede  
adaptar todo lo que  
dijimos anteriormente?

La avalancha electrónica,  
la ionización no térmica  
y todo lo demás...

Hum, sí, suena lógico, pues de otra forma no veo  
cómo puede funcionar el tubo de neón de la cocina  
con 220 V de corriente alterna

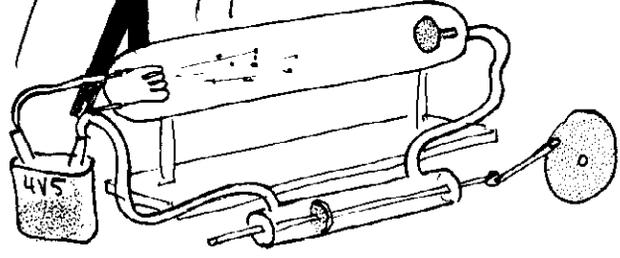
# EL DIODO

¿Mas qué sucede si mando corriente alterna al  
mismo montaje con un electrodo caliente y con  
un electrodo frío?

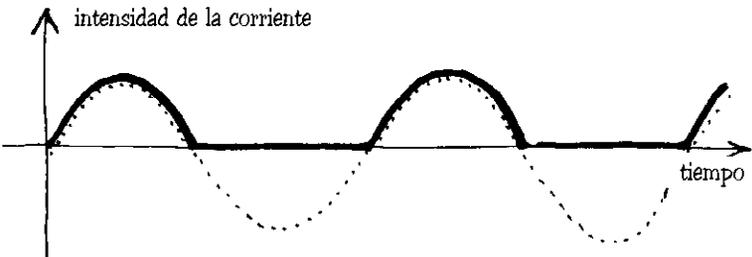




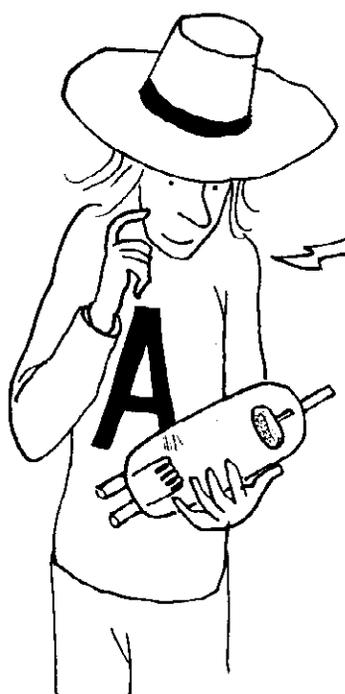
Cuando el electrodo caliente se utiliza como cátodo, emite



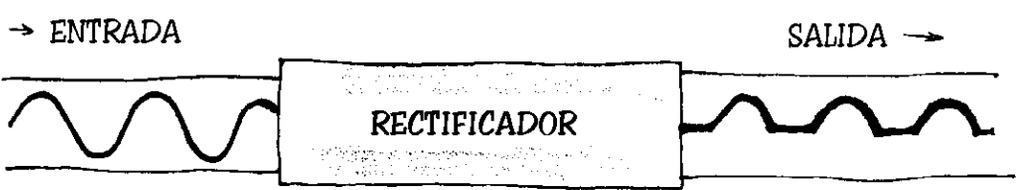
En cambio, cuando queremos que el electrodo frío emita, se rehúsa y la corriente ya no circula.  
Anselmo, has fabricado un **RECTIFICADOR DE CORRIENTE**



La línea punteada representa la "presión electrónica" en el cátodo caliente, y la línea negra los electrones por éste emitidos



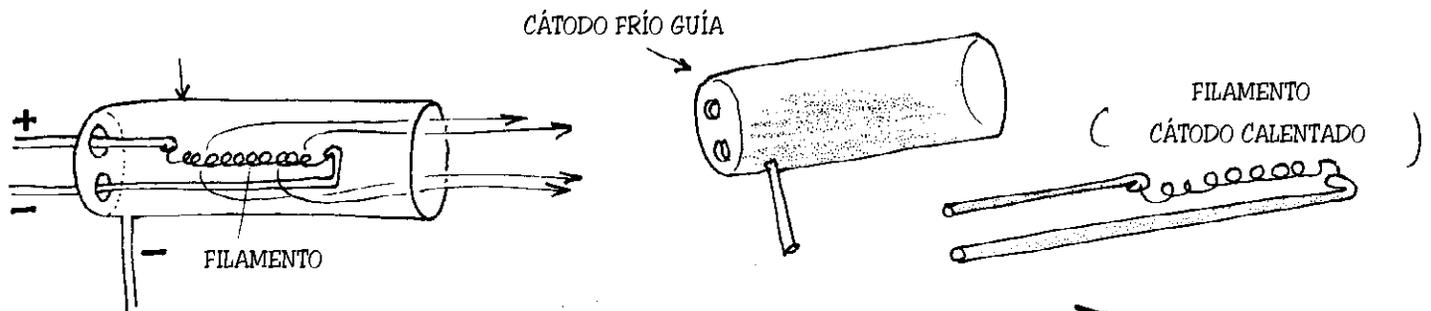
La verdad ignoro por qué la casa se alimenta con corriente alterna, pero lo que sí está claro es que este DIODO puede ser utilizado para "rectificar" la corriente, es decir para transformar corriente alterna en corriente "cuasi directa"



# EL CAÑÓN DE ELECTRONES

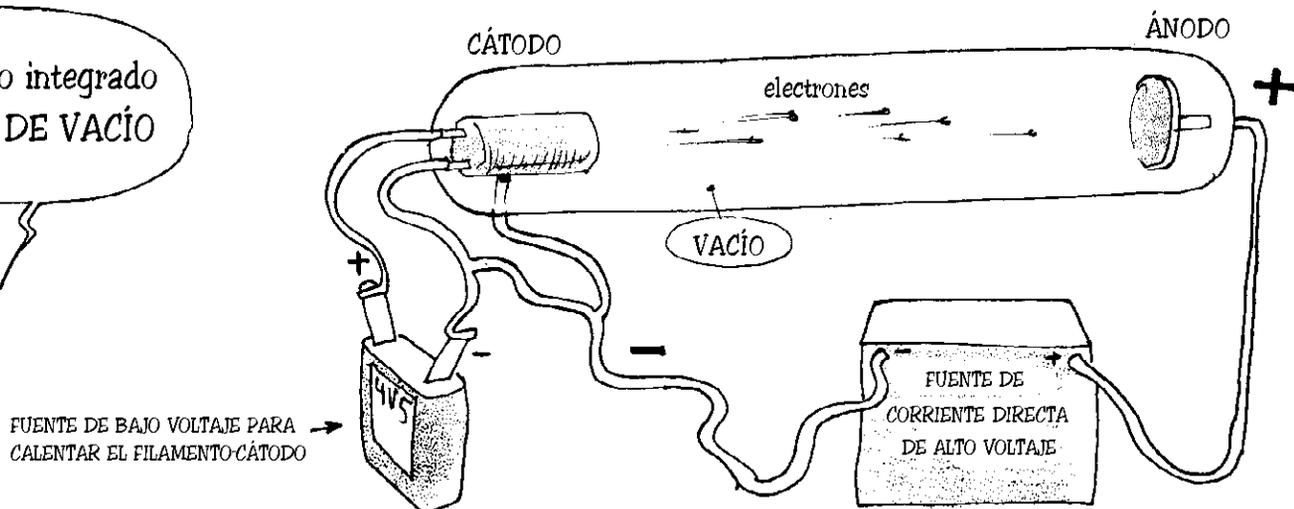
En resumen, hay dos tipos de cátodos pero sólo el cátodo caliente puede emitir electrones y producir una corriente. El cátodo frío sólo puede ser portador de cargas negativas

El cátodo caliente emite electrones en todas las direcciones

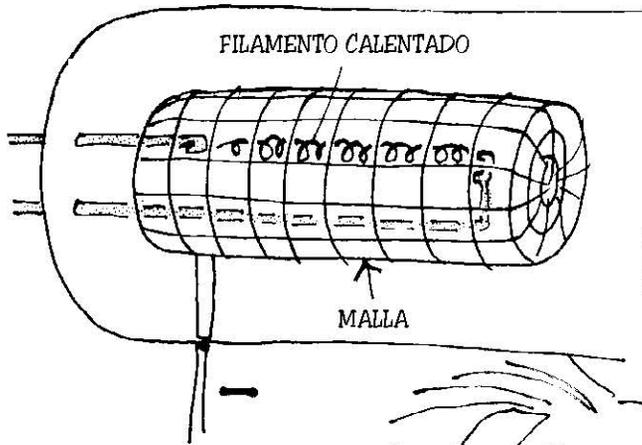


Con este cátodo frío (cuya corriente generada es infima), Anselmo obliga a los electrones emitidos por el cátodo caliente a salir siguiendo el eje del CAÑÓN DE ELECTRONES, el cual constituye su única salida

He aquí todo integrado en un TUBO DE VACÍO



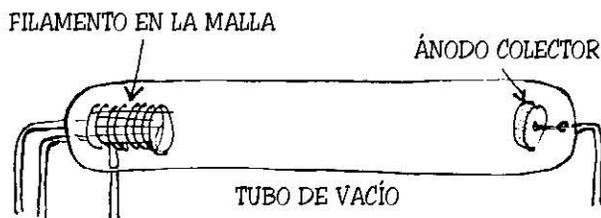
# EL TRIODO



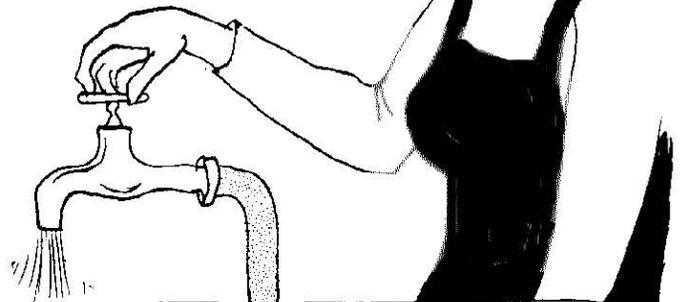
Miren: he encerrado mi cátodo caliente y mi filamento emisor de electrones en una especie de jaula o malla metálica. Cuando esta no está cargada, los electrones pasan libremente. Pero si la cargo negativamente, repele a los electrones que tratan de liberarse del filamento y que luego retroceden . Anulo la corriente.

Has fabricado una GUÍA DE CONTROL

Modificando la carga eléctrica de tu malla, por medio de su voltaje, puedes modular según tu voluntad una corriente importante usando sólo una pequeña cantidad de energía

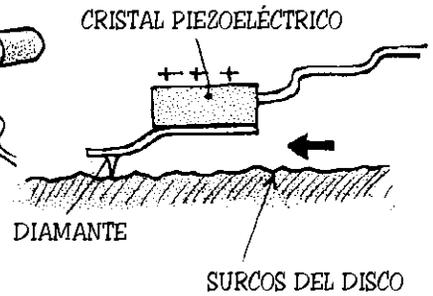
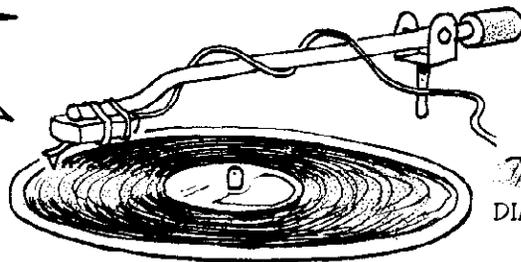


Oh, sí, exactamente como cuando abres o cierras una llave

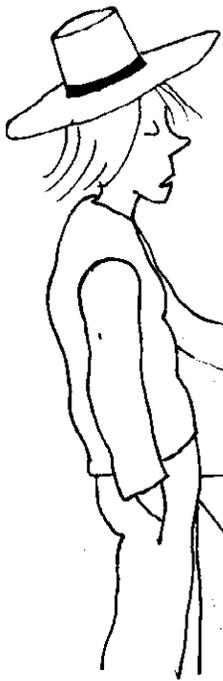


El TRIODO, compuesto de tres electrodos: el cátodo caliente, el ánodo colector y la malla, es la base de los AMPLIFICADORES DE CORRIENTE

¿Y entonces qué con la electrónica?



Aquí, como ves, impulsos eléctricos débiles creados por un cristal piezoeléctrico unido a un diamante en el brazo de un tocadiscos, se utilizan para modular la corriente producida por un triodo amplificador



Pues sí, uno nunca cae en cuenta de la complejidad de las leyes que se ponen en juego en la cocina, en el baño o en la sala de una casa...



A propósito, aquí hay un televisor.  
¿Cómo es que funciona?

¿Qué es lo que hace iluminar la pantalla?

Eso ya es otra cosa

¡Aquí vengo!



# FLUORESCENCIA

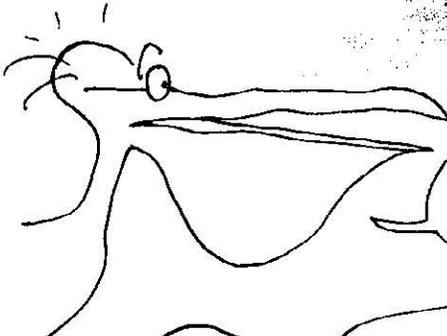


Ciertas sustancias tienen la propiedad de absorber la radiación de ciertas frecuencias y de emitirla en otras

Ah, sí, la FLUORESCÉINA, por ejemplo, absorbe la luz blanca, que es la mezcla de todos los colores del arco iris, y tiene la propiedad de emitirla como verde



El nylon absorbe la radiación ultravioleta y emite en el azul. Lo ví una noche en una discoteca. ¡Toda la gente llevaba collares luminosos!



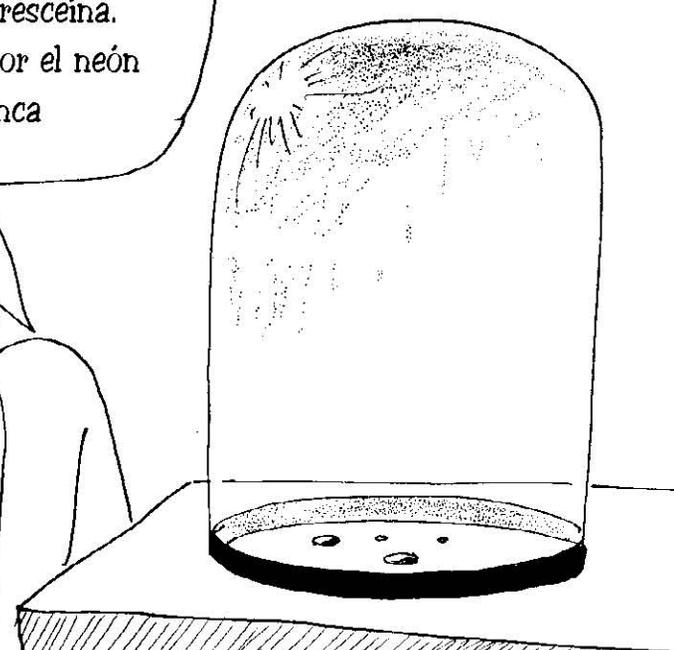
¿Cómo es, Tiresias? ¿Tú vas a las discotecas en las noches?



El tubo de neón está recubierto internamente por una sustancia que reacciona diferente a la fluoresceína. Absorbe la luz azul emitida por el neón y la emite como luz blanca



Acabo de encontrar una campana de vacío, que nos será más cómoda para realizar los experimentos que el tubo a gas



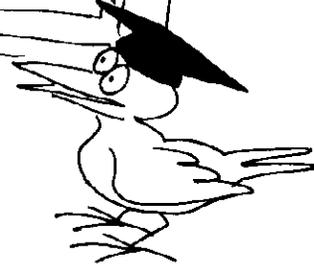


Puse un poco de sustancia fluorescente en el interior de la campana. La bomba está debajo

Puedo ver el cátodo-cañón de electrones y el ánodo colector



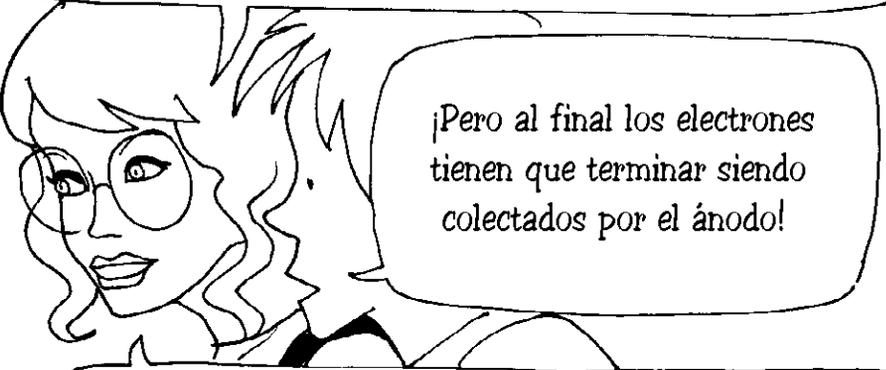
¡Qué buen material!



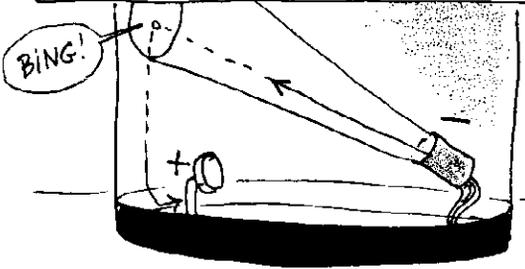
Ok, hacemos vacío... ¿y entonces?

Recuerda la pistola de aire que usamos anteriormente. El cátodo expulsa electrones a alta velocidad y con una gran energía cinética, contra la cual el poder de atracción del ánodo no representa gran cosa

A los electrones no parece importarles la posición del ánodo

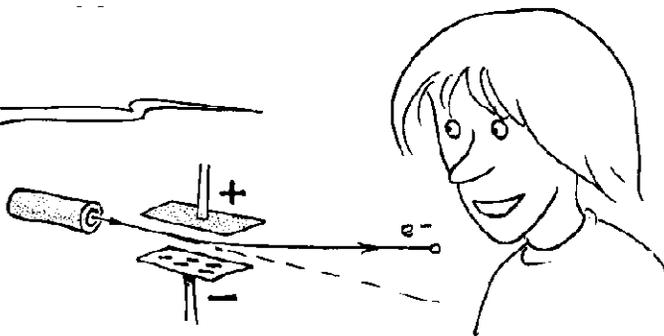


¡Pero al final los electrones tienen que terminar siendo colectados por el ánodo!

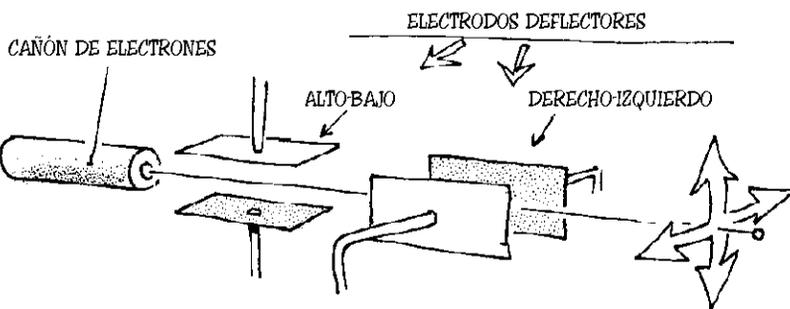


Lentamente se dirigirán hacia él después de perder su energía al chocar contra el vidrio de la campana

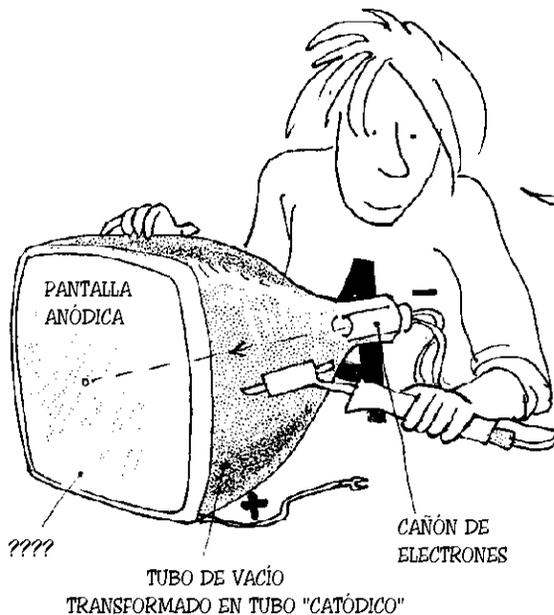
En el cañón de electrones podía canalizar los electrones emitidos por un filamento. Cátodos fríos me permitirían entonces desviar a voluntad un haz muy fino de electrones

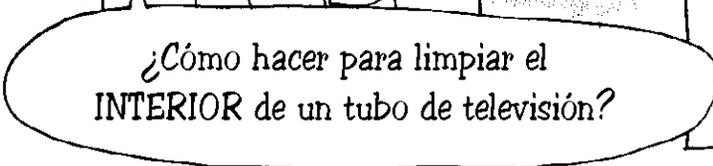


Con dos juegos de electrodos obtenemos un control completo y preciso sobre el haz



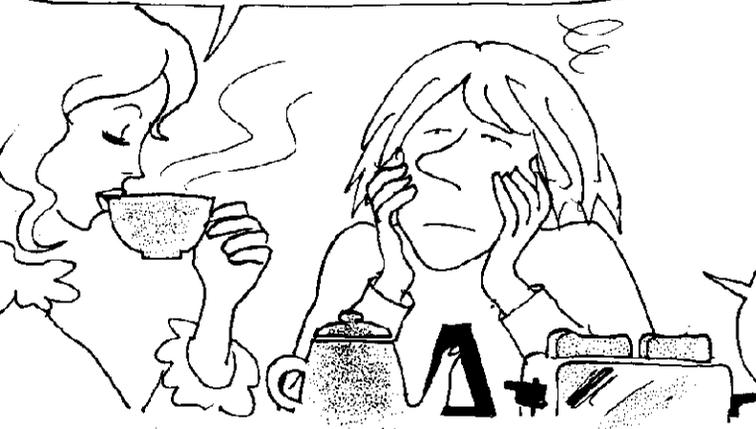
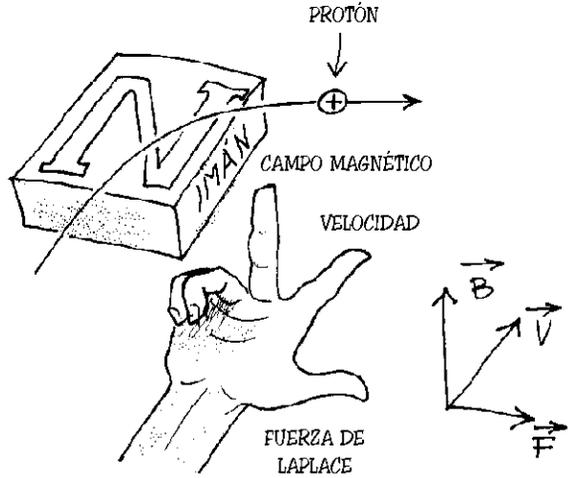
El televisor requiere de una modificación adecuada de la geometría de la campana de vacío





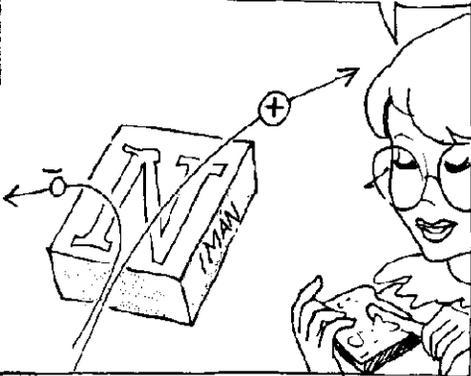
# LA FUERZA DE LAPLACE

Es sencillo. Toda partícula cargada que se mueve cruzando las líneas de fuerza de un campo magnético experimenta una fuerza correspondiente a la **REGLA DE LA MANO DERECHA**



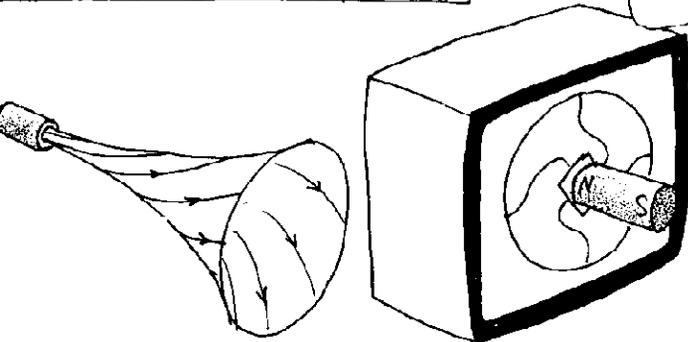
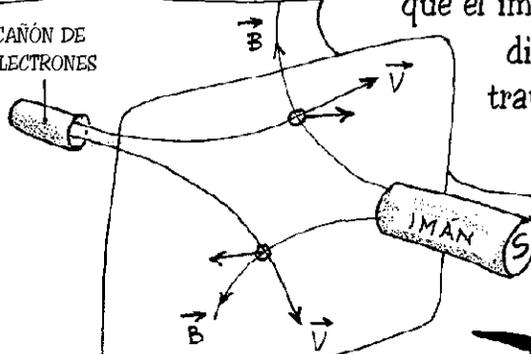
Si. ¿Pero si se trata de electrones cargados negativamente, qué?

Cambia el sentido de la fuerza

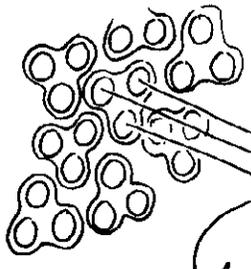


Si lo aplicamos a la televisión, vemos que el imán cambia la dirección de la trayectoria de los electrones

CAÑÓN DE ELECTRONES



...De ahí la distorsión de la imagen en la pantalla



La pantalla de un televisor a color tiene una serie de tres pigmentos que, al ser impactada por los electrones, reacciona produciendo respectivamente luz azul, roja y verde (\*). El objetivo debe ser muy preciso. Tu imán crea una imantación residual en los pigmentos que desvía los electrones y produce las iridescencias de colores



¿Quieres decir que el tubo se dañó?



No. Pero tenemos que remover el pequeño magnetismo residual que creaste en los pigmentos

¿Y eso cómo se hace?



¡Santo cielo...! ¿Qué es lo que está haciendo?

Sofia está creando un campo magnético variable que disminuye al retirar el lápiz. ¿Fácil, no?



¡¿Fácil?!

Este fenómeno será explicado más adelante.  
*La Dirección*

(\*) Combinándolos se pueden obtener todos los colores del arco iris.

Bueno, muy bien, la pantalla está limpia otra vez pero sigo sin comprender cómo es que tenemos electricidad en casa o cómo funciona una simple batidora...

Pues averígualo. Tienes todo lo que necesitas en la casa

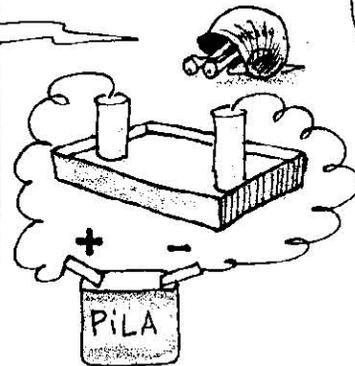
Parece que a Sofia le gusta bromear. ¿Qué es lo que hay aquí? Imanes, alambre, sal, agua... ¡Ni siquiera tengo lo necesario para fabricar una batería!



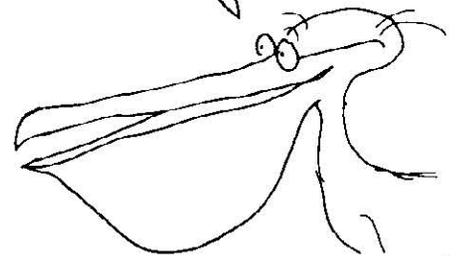
Y además... ¿pasa corriente a través de un líquido?

# ELECTROLITOS

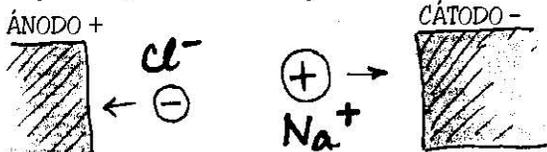
Bueno... En los metales hay un montón de electrones libres impacientes por moverse. Asimismo, para permitir el paso de una corriente, un gas debe convertirse en un plasma. ¿Y en los LÍQUIDOS?



Supongo que habrá electrones libres...



Cuando se disuelve sal de cocina, cloruro de sodio ( $\text{NaCl}$ ) en agua, sus átomos se diluyen en el líquido y el cloro le quita al sodio un electrón. Este IÓN de cloro  $\text{Cl}^-$  se mueve hacia el ánodo



mientras que el ión de sodio  $\text{Na}^+$  se mueve hacia el cátodo.

*La Dirección*

Por lo tanto, en los líquidos la corriente eléctrica no se debe al movimiento de electrones libres, como ocurre en los metales, sino a un **TRANSPORTE DE IONES**



¿Y qué les pasa a estos iones?  
¿Logran penetrar los electrodos?

No, el ión de cloro deja su electrón en el ánodo y otro electrón, emitido por el cátodo, neutraliza el ión de sodio...

...Y así se cierra el círculo

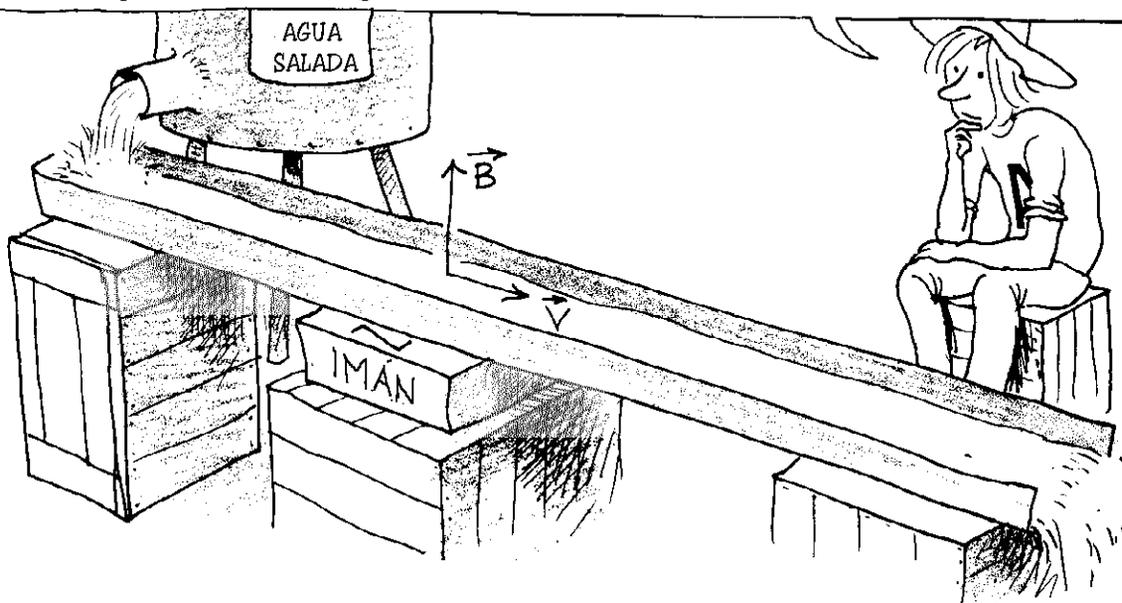
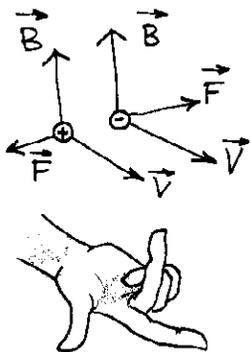
¿Y en qué andará ahora Lanturly?

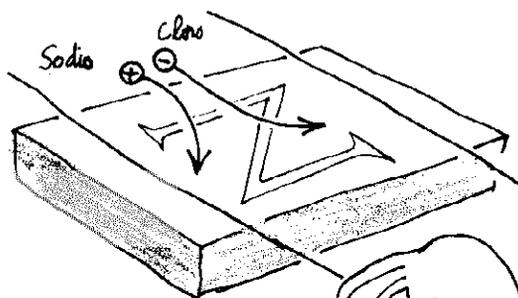
Al parecer está preparando un retorno a la hidráulica

A alistar los traperos...

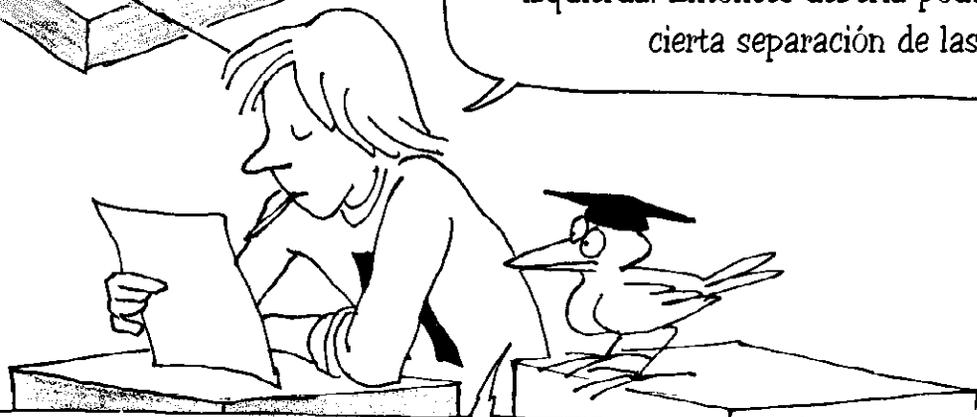
# FUERZA ELECTROMOTRIZ

Sofía dijo que toda carga eléctrica que se mueve en un campo magnético experimenta una **FUERZA DE LAPLACE**. Por lógica, dicha fuerza debe actuar también sobre los iones  $\text{Cl}^-$  y  $\text{Na}^+$  presentes en el agua salada en movimiento



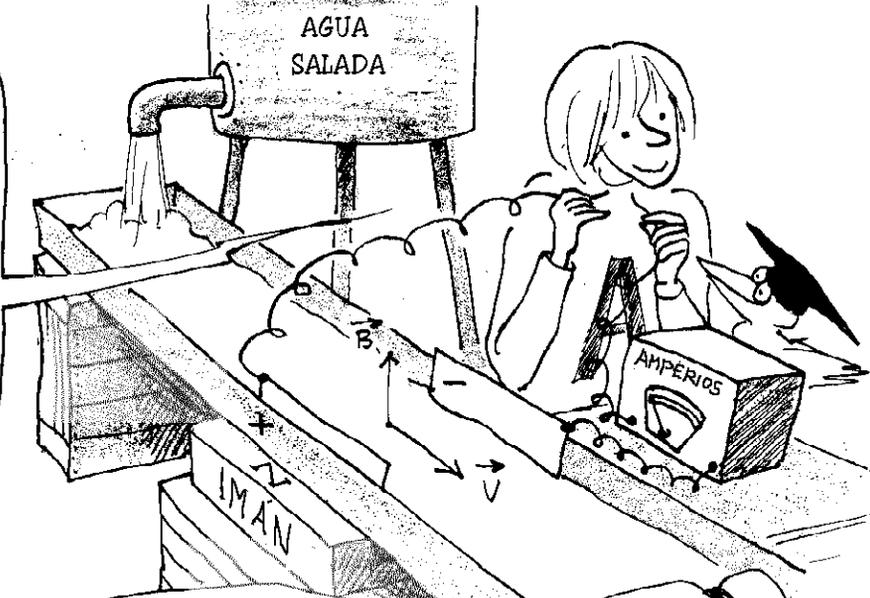


Veamos. En un campo magnético vertical, dirigido de abajo hacia arriba, mis iones de sodio van a tender hacia la derecha y mis iones de cloro a la izquierda. Entonces debería poder observar una cierta separación de las cargas



Esa es una visión muy esquemática, pues en un líquido los iones van a experimentar un gran número de colisiones con las moléculas del agua, lo que va a frenar su avance. Además, las fuerzas, proporcionales a la velocidad del flujo y a la intensidad del campo magnético, serán muy débiles

A pesar de eso, mi querido Max, estarás de acuerdo en que hay una migración de cargas en sentidos opuestos. Por lo tanto debería observarse el paso de una corriente eléctrica al colocar dos electrodos en los "bordes" del flujo, unidos con un alambre de cobre



¡Tienes razón, hay una corriente!



No es muy grande, pero pasa

¿Saben quién hizo por primera vez este experimento?



No...

Fue el inglés Michael Faraday, en 1857. Se sirvió de agua salada del río Támesis cuando había marea alta y de... la componente vertical del campo magnético terrestre, apenas unas décimas de gauss (\*). Inventó así este tipo de generador eléctrico, denominado **MAGNETOHIDRODINÁMICO**, abreviado **MHD**

Pero un generador así tiene una potencia ridícula...

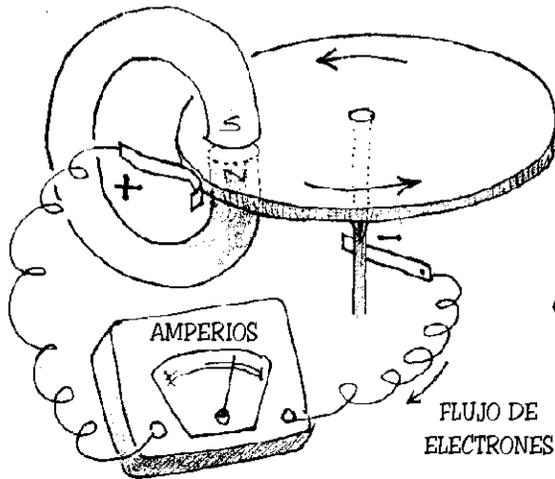
Es que el agua no es el mejor ingrediente para crear un generador eléctrico

¿Entonces qué vamos a usar?  
¿Cobre fundido?

¿Pero por qué estás pensando sólo en un líquido?

# LA RUEDA DE BARLOW

Sofia tiene razón. Si damos vueltas a un disco de metal en el espacio de un imán, se logra una migración de cargas eléctricas, electrones en este caso, dado que las cargas positivas en el metal no se pueden mover dentro de él



Aquí tenemos entonces nuestro primer **GENERADOR ELÉCTRICO**

(\* ) El imán más pequeño de costurero es de unos cien gauss



Cuando deslizo este conductor entre las caras del imán, siento una cierta fuerza que opone resistencia

Como puedes ver, las cargas son como automóviles que van por una autopista, representada por el movimiento del metal. Las cargas positivas son como camiones pesados incapaces de girar a la derecha o a la izquierda, o de cambiar de velocidad. Están ligados al flujo de vehículos y entre ellos. Los electrones, en cambio, son como pequeños motociclistas que, al comienzo, también siguen el flujo general

¡Ja! ¿Viste cómo se me atravesó?

¡Estos electrones no tienen modales!

¡¡Me hicieron perder el impulso!!

¡Ey, apúrate que no tengo todo el día!

¡Y esto es lo que pasa!

¡Otro que se estresa por nada!

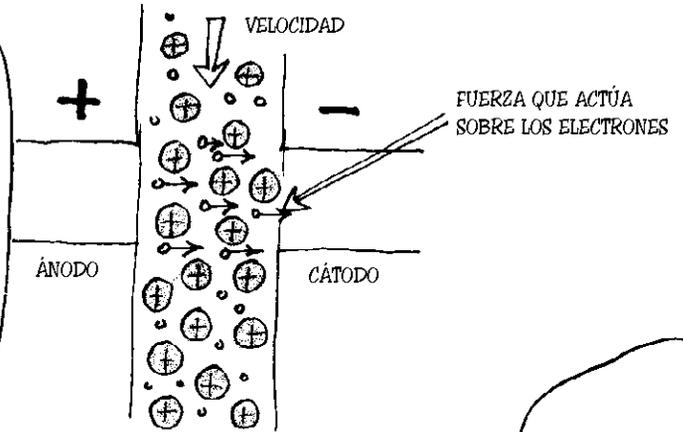
¡Quitate de ahí, idiota!

ELECTRONES  
TOMAR LA  
DESVIACIÓN

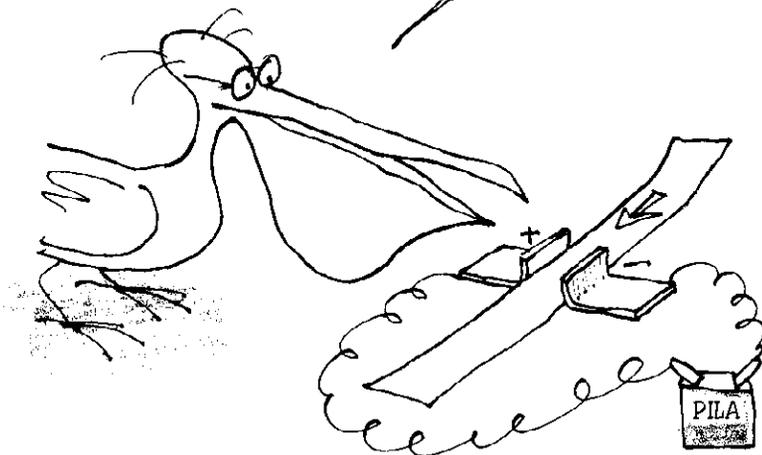
Aquí tienes, en un nivel microscópico, la explicación de por qué es necesario ejercer una fuerza y realizar un TRABAJO para producir energía eléctrica



Sáquenme de una duda. Olvidemos el campo magnético. ¿No podría yo obtener una fuerza de frenado idéntico provocando cierta desviación lateral del flujo de electrones en dirección a los electrodos, con la ayuda esta vez de un campo eléctrico creado por un generador?

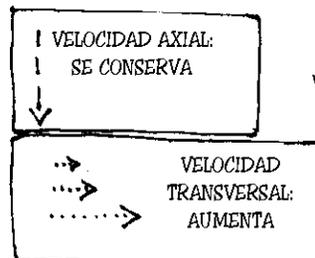


No, León. Eso sería completamente diferente

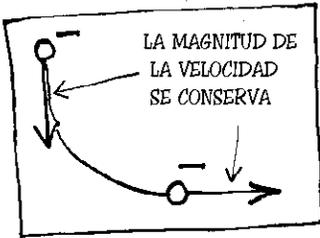


Cuando actúas sobre una carga eléctrica, anclada en medio a un flujo de átomos que se desplazan a una velocidad  $\vec{V}_0$ . con la ayuda de una fuerza eléctrica creada por un generador, le comunicas una componente transversal de velocidad  $\vec{V}_t$ . Pero la componente axial  $\vec{V}_0$  no se modifica. Un generador, por lo tanto, comunica energía a las cargas eléctricas

ACCIÓN DEL CAMPO ELÉCTRICO



ACCIÓN DEL CAMPO MAGNÉTICO



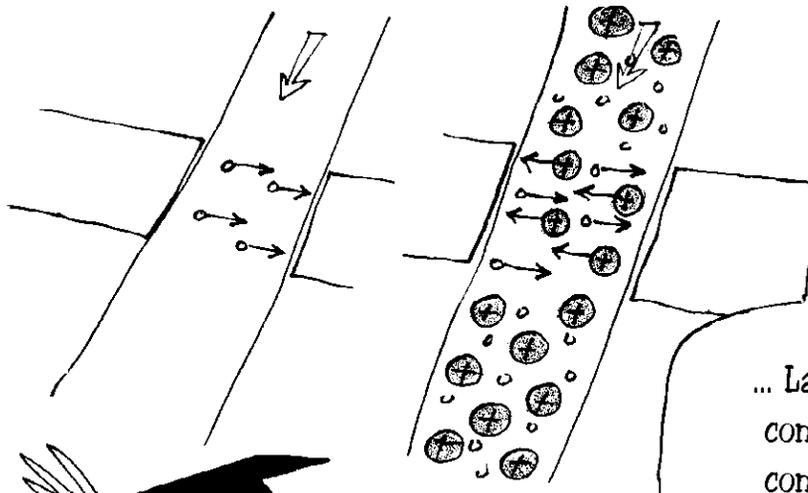
Al contrario, un campo magnético transversal no modifica la energía cinética,  $\frac{1}{2} mV^2$ , de la partícula cargada. La dirección de la velocidad cambia pero no su magnitud. En este caso, la componente axial de la velocidad, paralela al flujo general, disminuye. Resulta entonces un frenado general en el conductor.



Bien, pero en los dos casos de la figura, estoy haciendo un llamado transversal a la población de electrones libres...

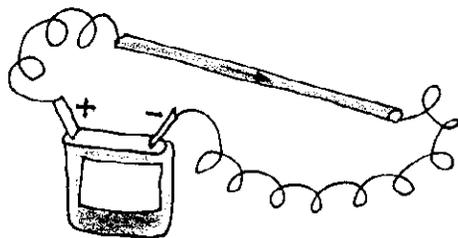
... por lo que debería observar una fuerza transversal

Olvidas, León, que la FUERZA DE LAPLACE actúa también sobre las cargas positivas y que dichas fuerzas se compensan...

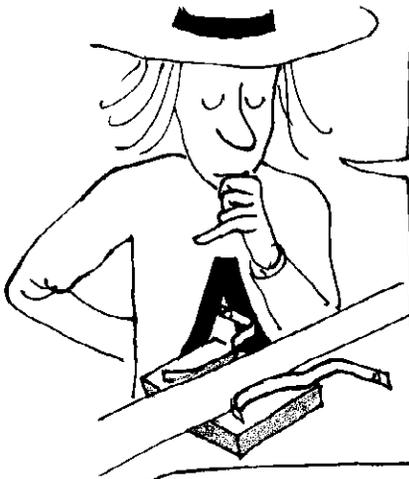


... Las cargas eléctricas fuertemente unidas al conductor transmiten esta fuerza de manera continua, y las cargas libres la retransmiten periódicamente por medio de colisiones

Es por esto que cuando la electricidad fluye a través de un cable, no lo empuja

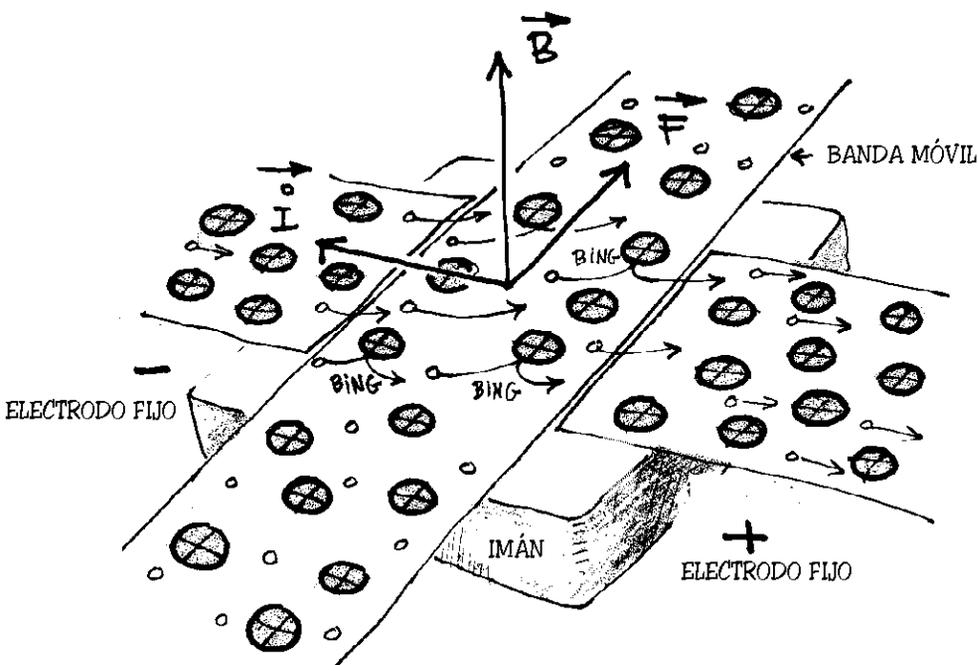


# EL MOTOR ELÉCTRICO



Todo esto me ha dado una idea. Haciendo circular una corriente transversalmente a la banda conductora, no creo una fuerza, como hemos visto. ¿Pero qué ocurre si combino los dos efectos: el paso de una corriente debida a un generador, y la rotación del vector de velocidad debido al efecto de un campo magnético perpendicular a la velocidad de desplazamiento de las cargas?

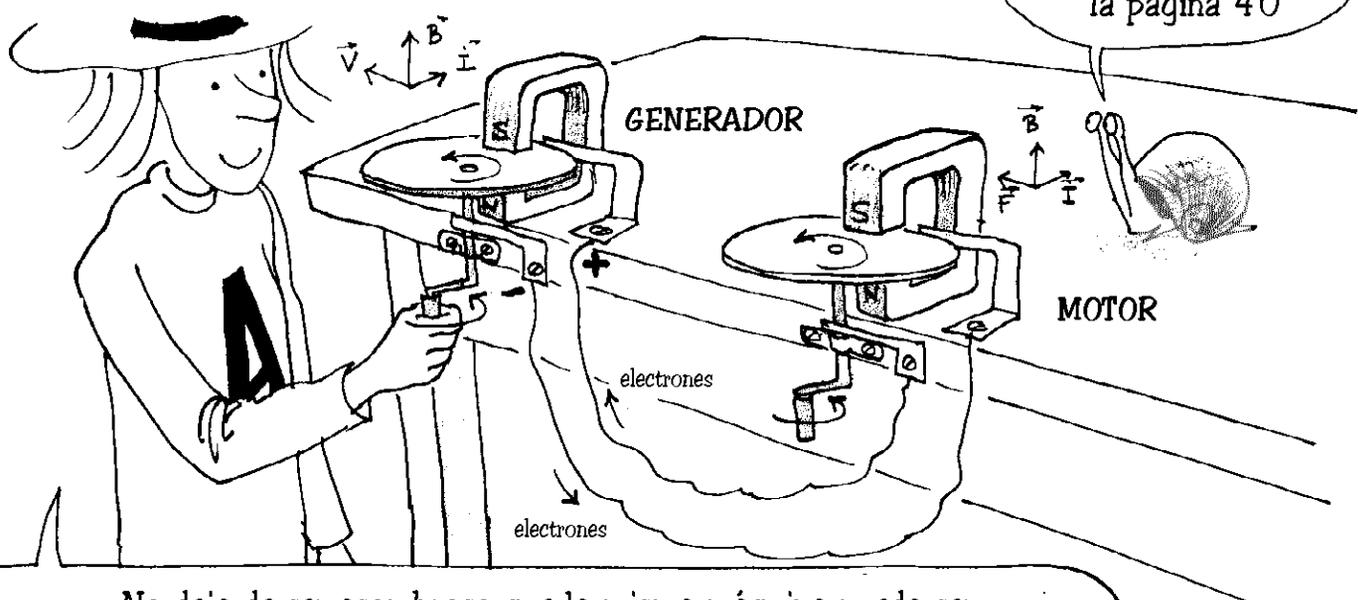
El generador pone en movimiento los electrones, que van a tender a atravesar la cinta al pasar del cátodo al ánodo. Pero el campo magnético, curvando su trayectoria, les transmitirá parte del impulso adquirido de acuerdo con el eje de la banda, la cual experimentará una fuerza



El análisis del comportamiento microscópico, al nivel del átomo, permite deducir el comportamiento macroscópico, al nivel de nuestro experimento



# REVERSIBILIDAD

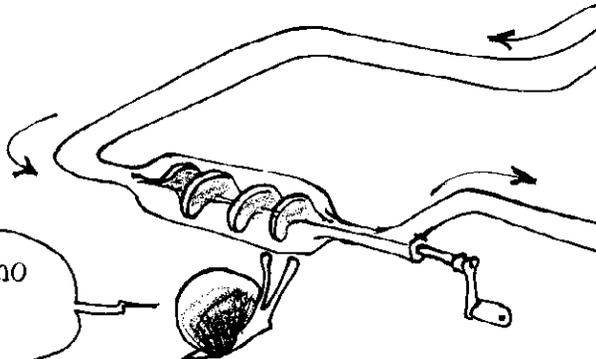


No deja de ser asombroso que la misma máquina pueda ser utilizada como generador de corriente o como motor

Desde este punto de vista, las máquinas electromagnéticas son un medio muy cómodo para transmitir energía



Podríamos hacer lo mismo con una turbina



Veamos... uniendo las manivelas entre si podríamos tener un MOVIMIENTO PERPETUO

Léon, sabes muy bien que la energía se disipa en los conductores debido a la fricción

En los conductores eléctricos, inmóviles o en movimiento, el movimiento de las cargas eléctricas va acompañado de numerosas colisiones con las partículas no cargadas

¡Muévansel!

¡Aún estacionados estamos embotellados!

¡Vas a ver lo que es un átomo nuevo!

¡¿Viste a ese cómo me cerró el camino?!

¡Cálmate, querido!

¡Pon cuidado!  
¡Que pongas cuidado!

¡Se atraviesan sin importarles nada!

# RELATIVIDAD

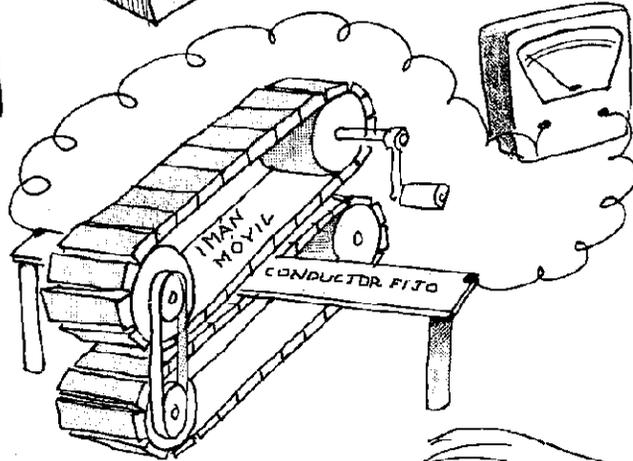
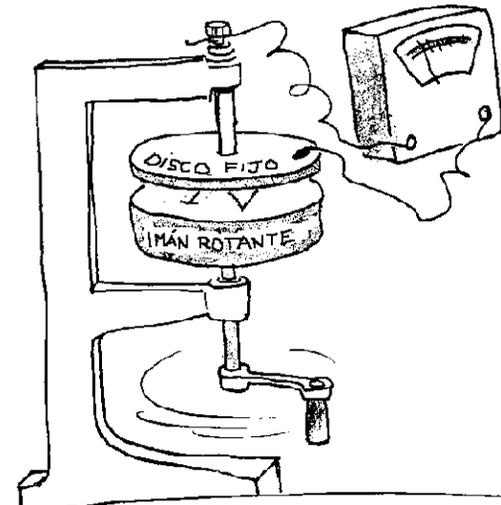
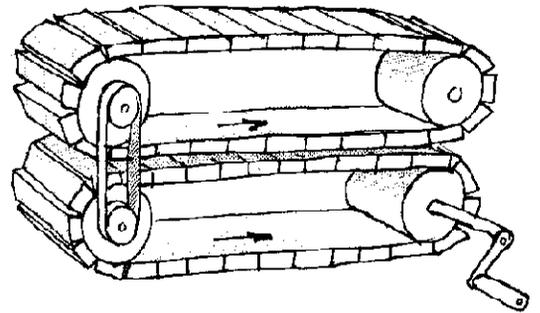
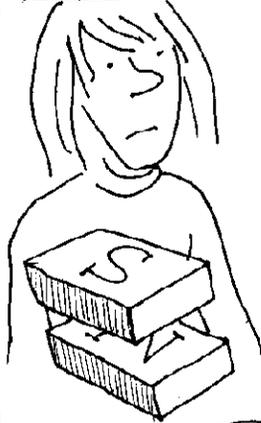
Tiresias, sabes, se me ha ocurrido una buena idea...



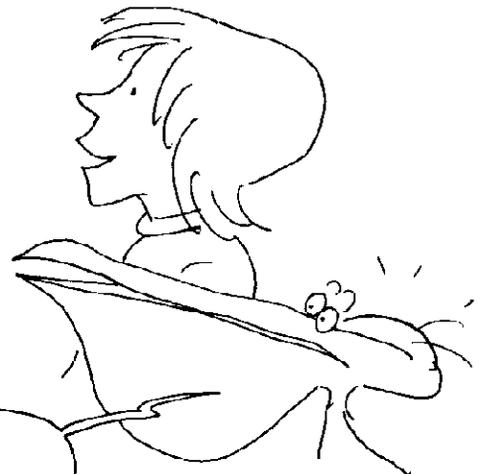
... ¡Necesito estar completamente seguro!



He unido estos imanes en forma de bandas rodantes



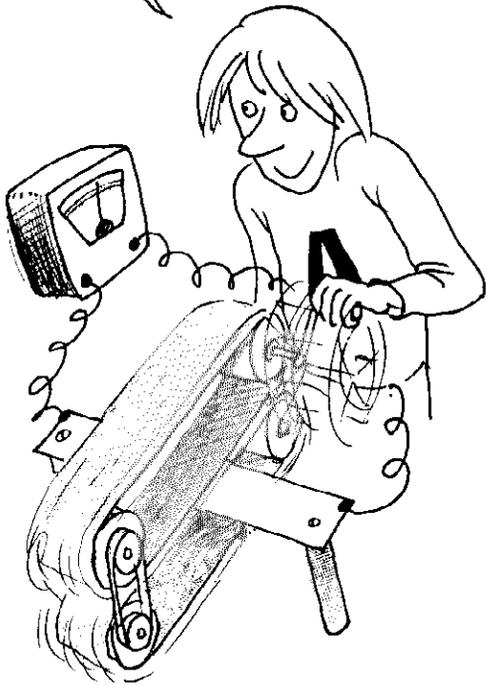
En lugar de mover el conductor a lo largo de las líneas de fuerza del campo magnético (constante en la región de interacción), inmovilizo el conductor y... ¡hago girar el campo!



¡Completamente diabólico!

Sin duda he generado una corriente, mira...

Lo que eso quiere decir es que en cuanto a las FUERZAS DE LAPLACE, lo que cuenta es la relación entre la velocidad de las cargas y la del imán



# IMANES

Sofia, ¿qué es un CAMPO MAGNÉTICO?

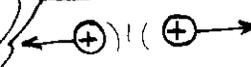
Mejor sería preguntar: ¿PARA QUÉ SIRVE?

¿Qué quieres decir con eso?

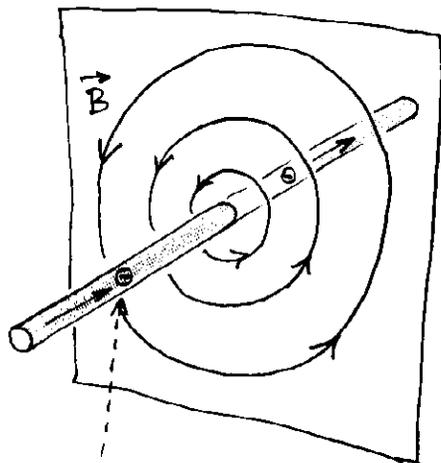
Dos cargas eléctricas en reposo se atraen o se repelen, según si son de signos contrarios o del mismo signo

Y experimentan una fuerza cuando se mueven a través de las líneas de fuerza de un campo magnético

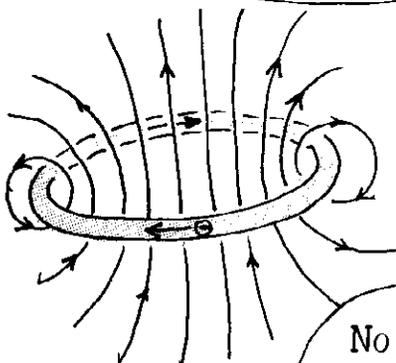
De acuerdo. ¿Pero qué es lo que crea el campo magnético?



La corriente

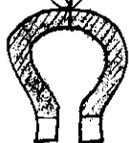


MOVIMIENTO DE LOS ELECTRONES

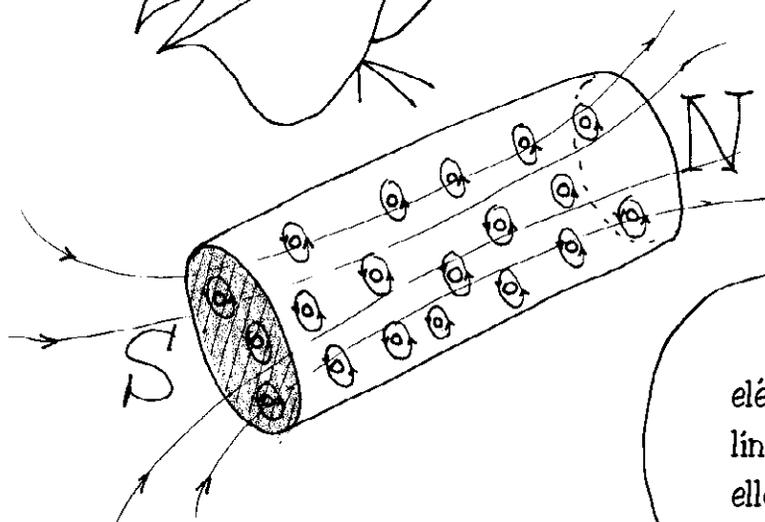


No olvidemos que debido a las rarezas de los científicos, el sentido convencional de la corriente es opuesto al del movimiento de los electrones

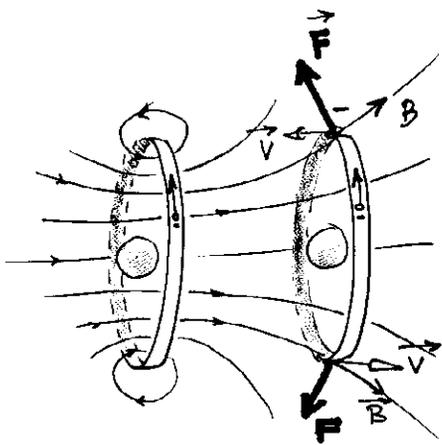
¡Pero no hay corriente en un imán permanente!



Cada átomo puede ser considerado como un imán minúsculo, en el que el campo magnético resulta del movimiento orbital de los electrones alrededor del núcleo. En un imán permanente esos mini-imanés son paralelos entre sí

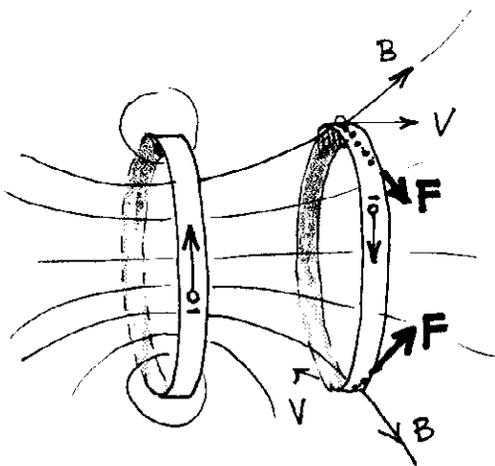


Los imanes actúan sobre las cargas eléctricas en movimiento que cruzan las líneas de fuerza del campo magnético por ellos creado. ¿Pero por qué actúan entre ellos, uno con otro?



Si coloco dos espiras frente a frente, recorridas por corrientes del mismo sentido, los electrones estarán sometidos a una fuerza que tenderá a:

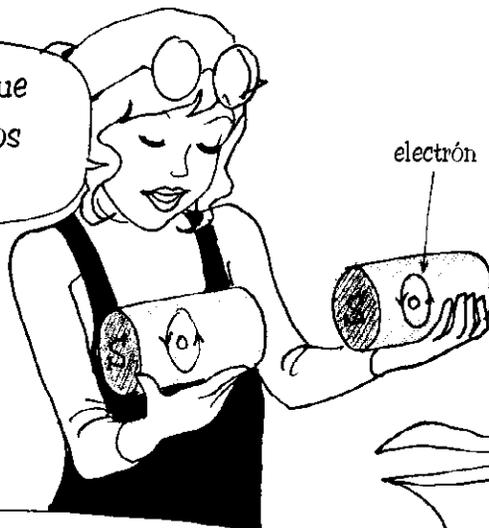
- dilatar cada espira
- acercarlas mutuamente



Pero si invierto el sentido de circulación de los electrones en la segunda espira, la fuerza de Laplace va a tender a:

- contraer cada espira
- alejarlas mutuamente

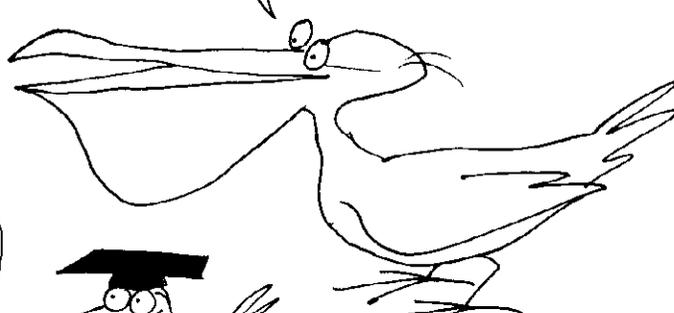
Es más o menos lo que ocurre con los átomos de dos imanes



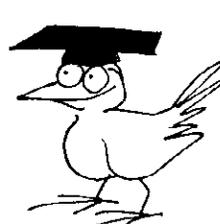
electrón

Pero según lo que vimos antes, una espira permanece inafectada por la presencia de un campo magnético uniforme orientado según su eje, ¿no es así?

De la misma forma que una barra imantada es totalmente indiferente a un campo magnético uniforme orientado según su eje



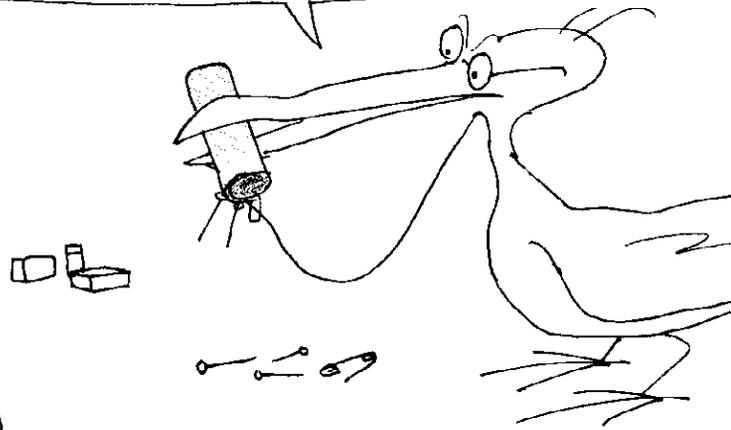
Pues claro, o si no para propulsarse bastaría con proveerse de una buena brújula...



Por el contrario, una espira colocada en un campo magnético tiende a girar de tal forma que su propio campo se alinea con el primero. Este es el principio de funcionamiento del GALVANÓMETRO DE MARCO MÓVIL. Una brújula no es otra cosa que un conjunto de galvanómetros diminutos de este mismo tipo



Bien. ¿Entonces alguien me puede explicar por qué un imán atrae el hierro pero no el plomo o el azúcar?

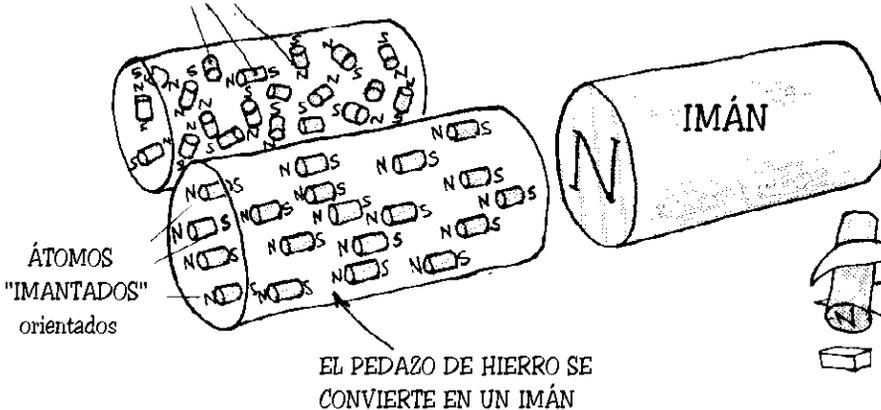


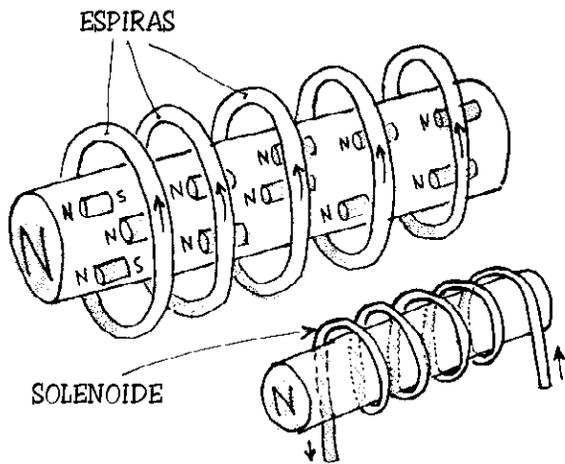
Es sencillo: los átomos de hierro son pequeños imanes. Además, gozan de una relativa movilidad. Cuando se les acerca un imán suficientemente potente, los átomos de hierro se dan vuelta y se alinean, y el hierro se convierte él mismo en un imán cuyo campo se superpone al campo del imán inductor



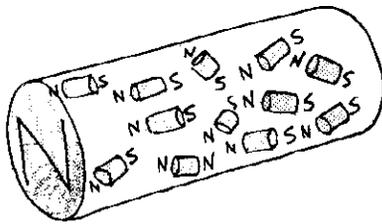
Nada con el azúcar...

ÁTOMOS "IMANTADOS" (orientaciones aleatorias)

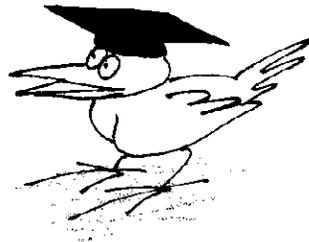




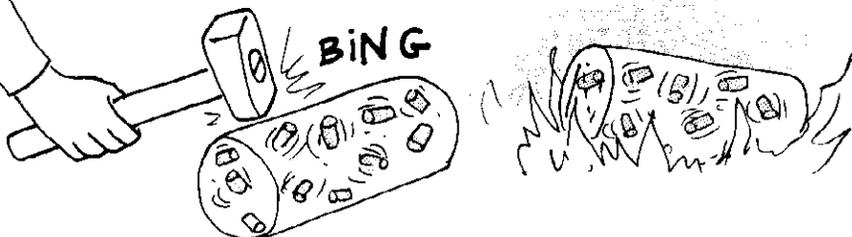
Ahora comprendo por qué se coloca un núcleo de hierro en los **ELECTROIMANES**. Este sirve para reforzar el propio campo creado por el sistema de espiras



Cuando se retira el imán magnetizador o el solenoide, los átomos imantados del hierro conservan hasta cierto punto su orientación. Quiere decir que hay un **MAGNETISMO RESIDUAL...**



... Y que podemos hacer desaparecer devolviéndole la movilidad a los átomos imantados ya sea calentando el hierro, golpéandolo o sometiéndolo a un campo magnético variable, tal como lo hice con la ayuda de un pequeño imán unido a un lápiz con los pigmentos en el tubo de televisión que accidentalmente habían sido magnetizados



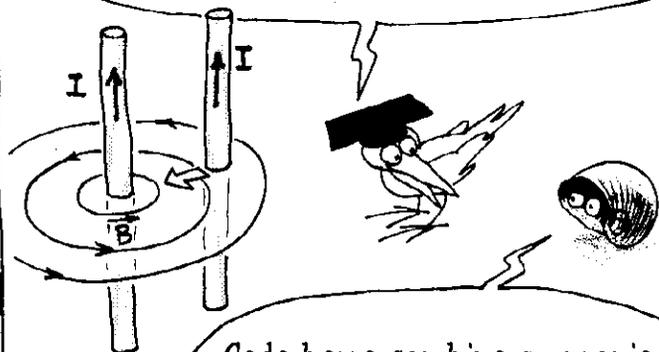
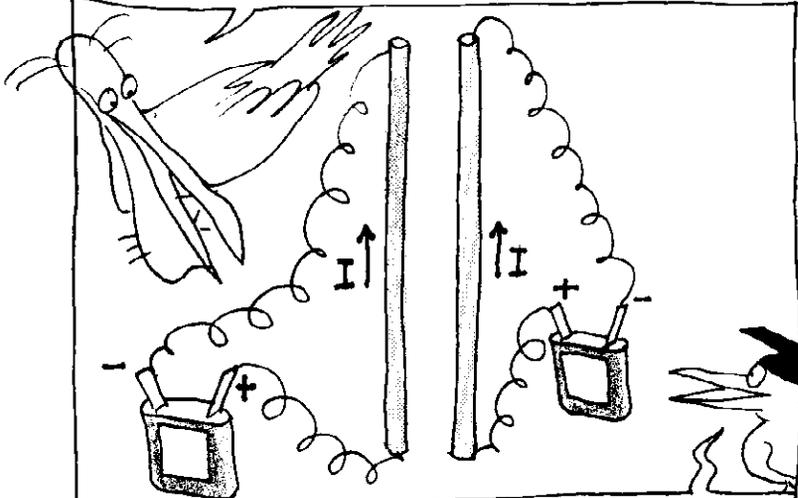
Creo haber comprendido:  
 el campo magnético es algo que ha sido inventado  
 para traducir el hecho de que las cargas eléctricas  
**EN MOVIMIENTO** interactúan, y que esta nueva  
 fuerza electrodinámica, o electromagnética, se suma  
 a la fuerza básica electrostática



# RELATIVIDAD OTRA VEZ

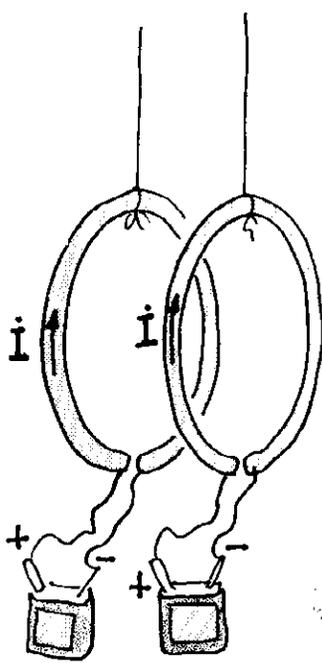
¿Cómo medir un campo magnético de la manera  
 más objetiva posible?

Bajo ciertas condiciones, las dos barras  
 experimentan una igual atracción mutua



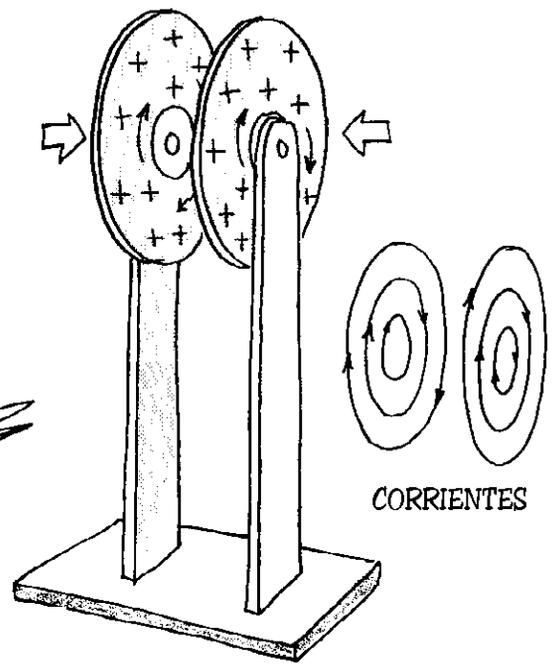
Podemos para eso poner paralelamente dos  
 barras con la misma corriente eléctrica  $I$

Cada barra combina su propia  
 corriente con el campo  
 magnético creado por la otra  
 barra



Podemos enrollar las dos barras, lo que hace que las dos espiras recorridas por corrientes paralelas se atraigan

Según vimos en la pág. 51

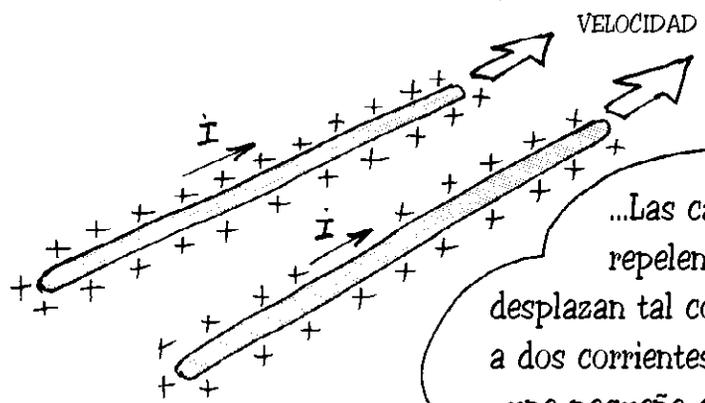
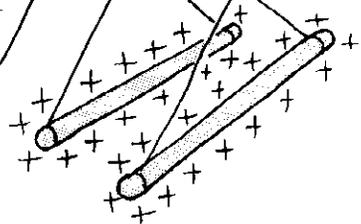


Así mismo, podemos colocar cargas eléctricas del mismo signo en discos enfrentados para hacerlos girar. Esto es equivalente a las corrientes y estará acompañado de una fuerza electromagnética



Miren esto un momento...

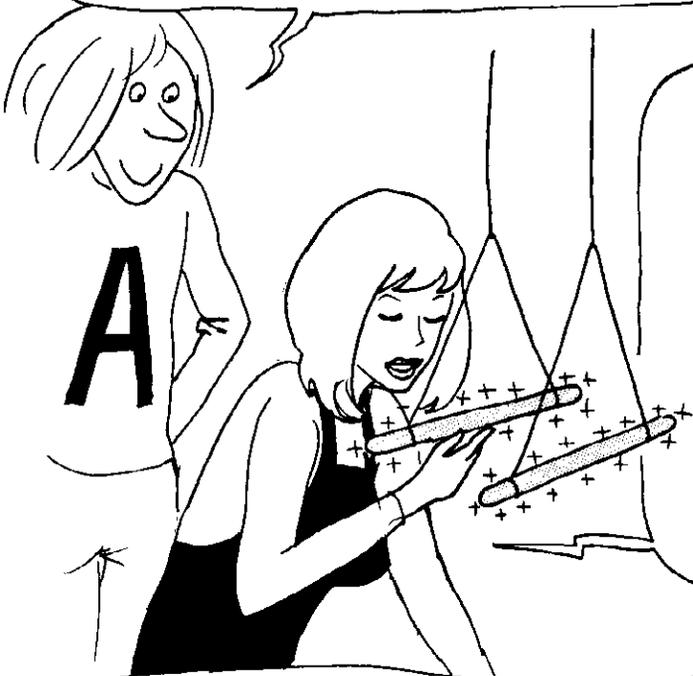
Puedo cargar eléctricamente estas dos barras de vidrio o de baquelita con sólo frotarlas con un paño de lana...



...Las cargas del mismo signo se repelen, pero si las barras se desplazan tal como se muestra, eso será equivalente a dos corrientes paralelas y estará acompañado de una pequeña componente de atracción



La Tierra gira en torno al Sol, que a su vez gira alrededor de nuestra galaxia, la Vía Láctea, a 234 Km/s. La galaxia también puede ser que se desplace en relación al Universo. ¡Es formidable, Sofía: apuntando las dos barras paralelas cargadas eléctricamente en todas las direcciones del cielo y midiendo la fuerza entre ellas, deberíamos poder determinar en qué dirección del Universo nos movemos y con qué velocidad!



¡No, no vas a poder medir nada! Esta FUERZA ELECTROMAGNÉTICA, ligada al MOVIMIENTO, sólo sería perceptible para un observador que se moviera con respecto a las cargas. Cualquiera sea nuestro movimiento en relación al Sol, a la galaxia o al cosmos, nos movemos a la misma velocidad que las barras

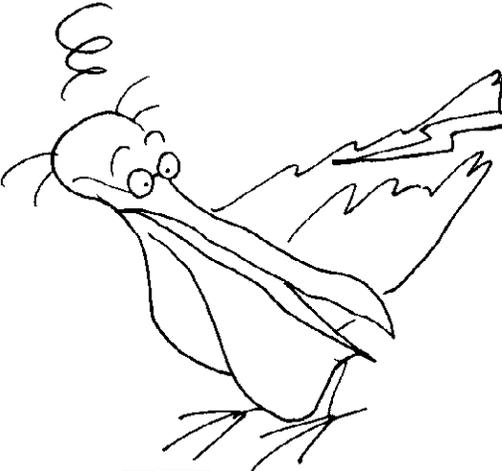
El electromagnetismo es relativista por naturaleza

El experimento sugerido por Anselmo recuerda a aquél realizado por MICHELSON (\*) a comienzos del siglo XX, y que consiste en medir la velocidad de la luz en todas las direcciones con el fin de descubrir el movimiento absoluto de la Tierra en el Universo

Eso no me sorprende pues alguien ya me había dicho que la luz era una onda electromagnética



(\*) Físico norteamericano, ganador del Nobel en 1907



¡Conque una simple casa puede albergar problemas de naturaleza relativista!



Ah, aquí tenemos un objeto que con toda seguridad funciona con electricidad. Pero no hay nada que gire ni electrodos...



¿Para qué servirá?

¡Tiresias, sal de ahí inmediatamente!

¿Por qué...?



Ese sistema permite transmitir energía a distancia. Si lo hubieras prendido habrías quedado cocinado por inducción

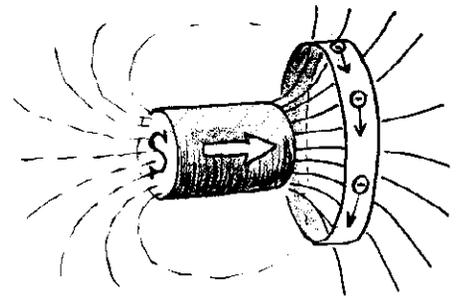
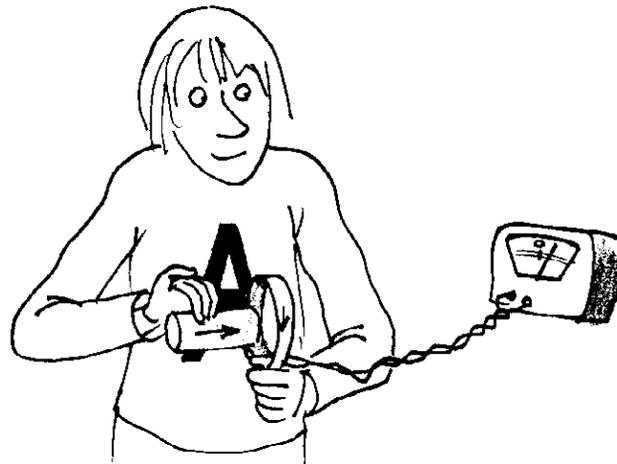
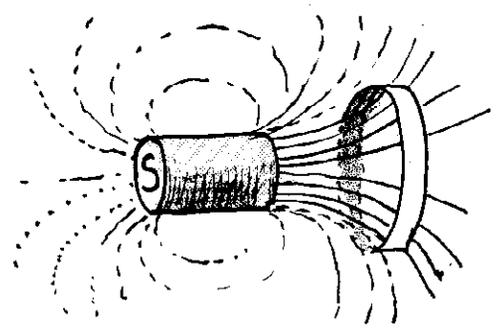


¿Cocinado por inducción...?

# INDUCCIÓN



Observa. Anselmo ha colocado una espira de cobre frente a un imán permanente. Un cierto número de líneas de fuerza pasan por su interior y otras por el exterior

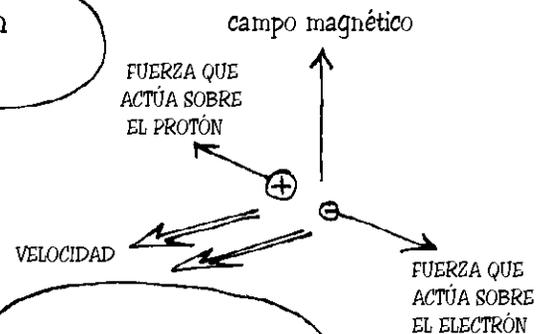


Manteniendo cerca el imán de la espira él logra mover el conjunto de líneas de fuerza en bloque. A medida que éstas cruzan el metal de la espira, resulta una fuerza electromagnética que actuando sobre los electrones da lugar a una corriente INDUCIDA

Si el imán y la espira permanecen inmóviles uno con respecto al otro, la corriente se anula



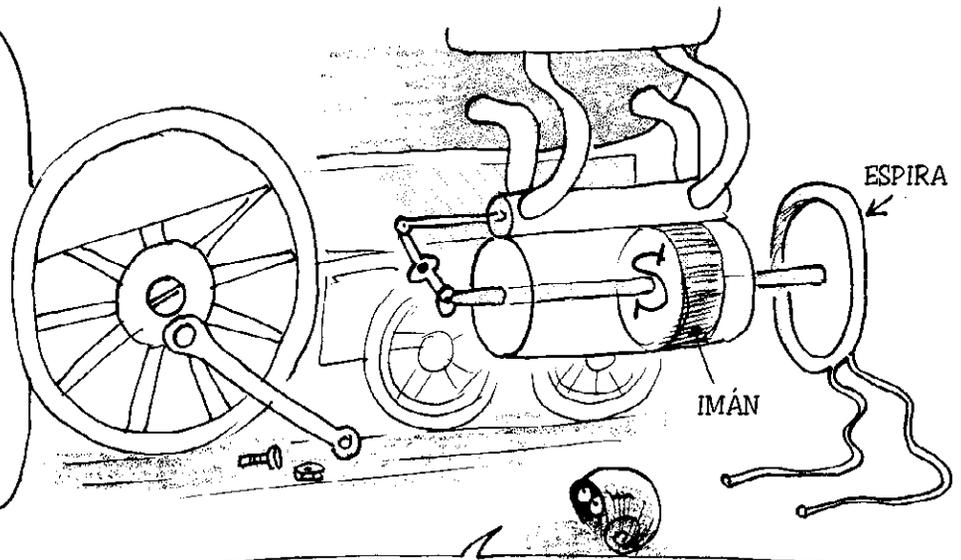
En cambio, si retiras el imán, la corriente se invierte



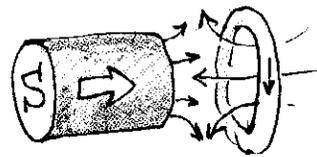
Se trata de una enésima aplicación de la ley única de LAPLACE



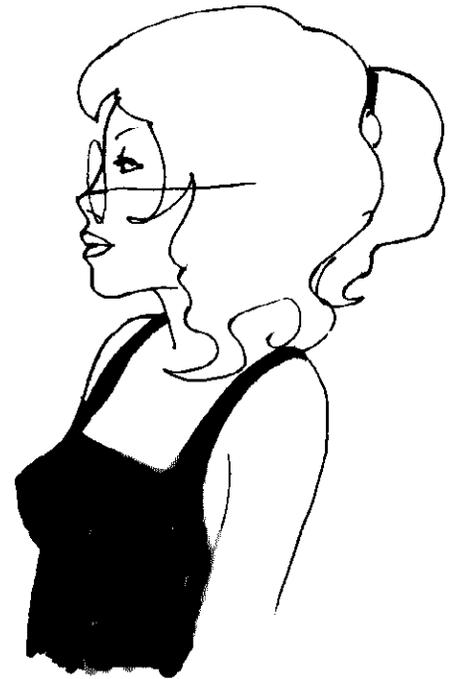
Mira, Tiresias, he modificado esta máquina a vapor reemplazando el pistón por un imán, de manera que pueda hacer un movimiento de va y viene, creando así en la espira una **CORRIENTE ALTERNA**



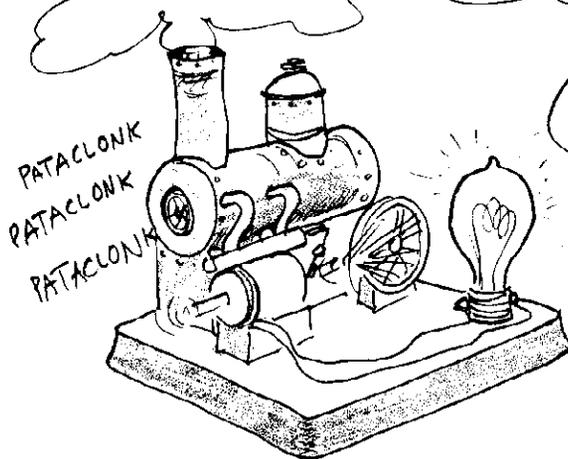
Si el pistón se desliza sin fricción, encontramos una manera de producir gratuitamente energía eléctrica, ignorando, por supuesto, la pequeña pérdida producida por efecto Joule en la espira



Olvidas que el paso de la corriente creará su propio campo magnético, que se opondrá al movimiento del imán-pistón (**LEY DE LENZ**). Así que tienes que realizar **TRABAJO** para poder producir dicha energía



Aquí tenemos un primer generador de corriente alterna



¡Santo cielo!  
¿Qué es todo esto!?

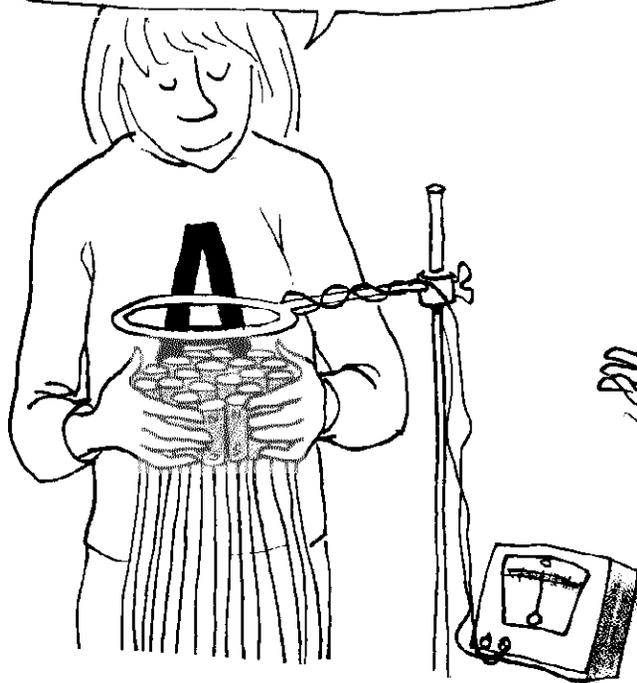
Ya conoces a Lanturly.  
Simplemente se puso a  
aplicar el principio del  
generador

En este caso, en lugar de  
mover la espira, hace  
mover el imán

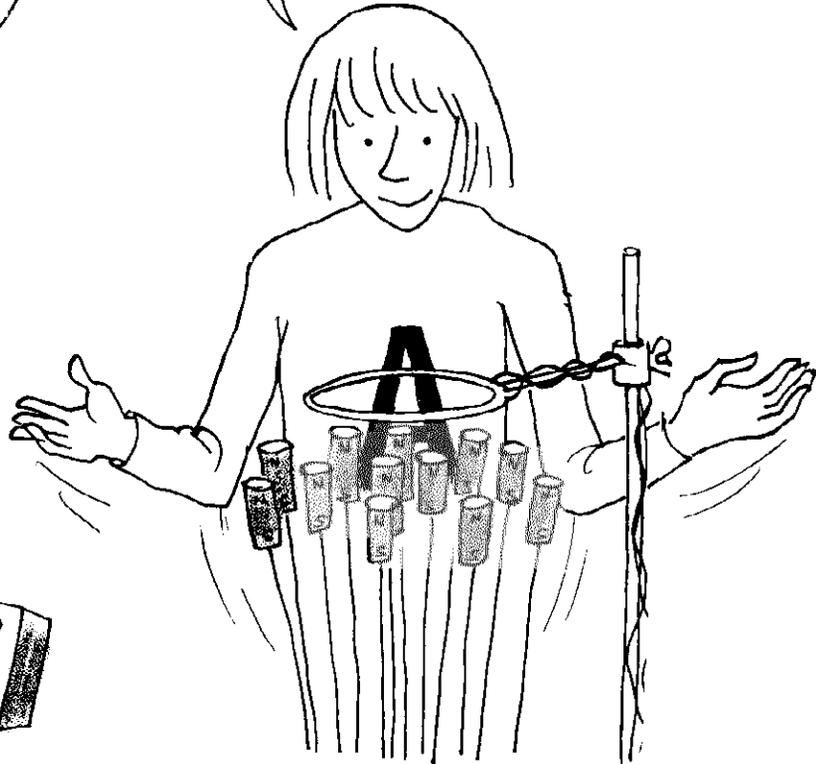
BLEB  
BLEB  
BLEB

CHTONK

Puesto que estamos produciendo corriente alterna colocando uno o varios imanes frente a una espira, ¿qué opinas de mi GENERADOR EN HAZ? He fijado los imanes a barras flexibles...



...Cuando las suelto, se separan y se acercan alternadamente, produciendo una corriente alterna en la espira

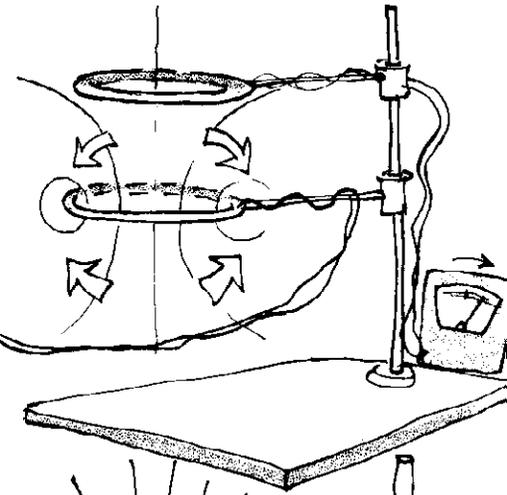


Bien. Esa máquina convierte en energía eléctrica la energía almacenada en las barras. ¿Y...?



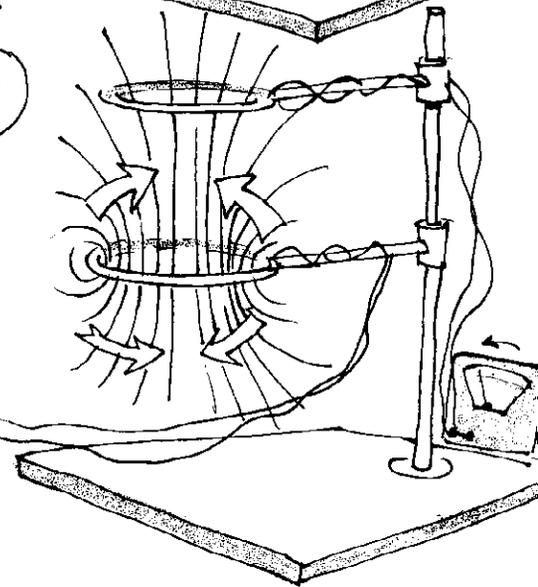
Reproduce lo que sucede cuando aumentas la corriente que pasa por la espira. Todo ocurre como si nuevas líneas de fuerza fueran creadas en su superficie, "comprimiendo" las viejas, como un haz

Y viceversa. Cuando disminuyo la corriente, la espira se "chupa" las líneas de campo unas tras otra, y el haz se pierde



¡Hop!

Eso explica por qué una espira atravesada por una corriente alterna puede transmitir energía a distancia hacia otra espira



## CALENTAMIENTO HF

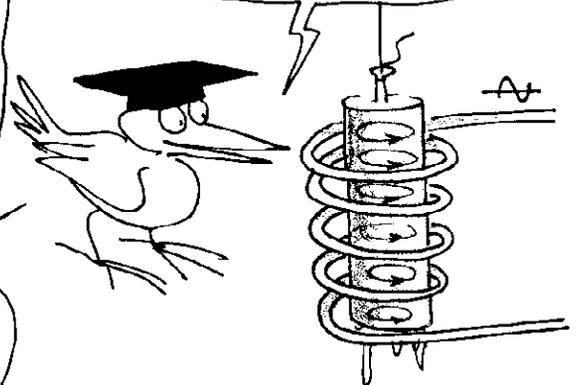
¿Y eso para qué?

Es un sistema para calentar muy eficiente. Podríamos incluso llegar a cocinar completamente un dedo con un anillo si se colocara en un espacio rodeado de un campo magnético variable

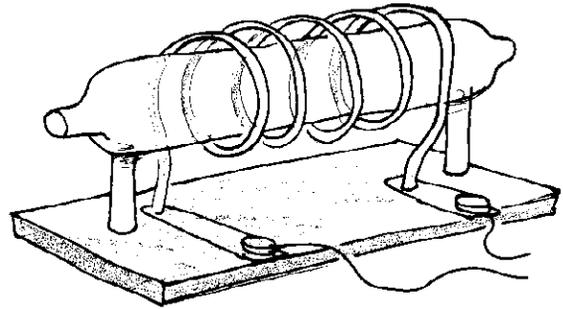
SOLENOIDE

Podríamos también calentar conductores en bloque y crear una infinidad de loops de corriente

Y fundir lingotes de oro...



Y calentar un gas con la ayuda de una bobina por la que se hace pasar una corriente de alta frecuencia...



En resumen, podríamos calentar y cocinar todo aquello que conduzca bien la electricidad...

¿Qué tan misterioso habrá en este aparato vacío?

... ¡Incluyendo los caracoles!



## EPÍLOGO

¡Este viaje por el electromagnetismo ha sido apasionante!



Sí. ¡Quién hubiera creído que una casa pudiera guardar tantos problemas científicos dentro de ella!

Pues les propongo otro experimento, tiene que ver con electromagnetismo y mecánica de fluidos...



Ah, muy bien. ¿De qué se trata?



**FiN**