



## Tubo de Rubens

Dinora Castro  
Juan Carlos González  
Sarahí Álvarez

Área: Secundaria

Categoría: Divulgación

Guadalajara, Jalisco, Junio 4, 2013

# Tubo de Rubens.

**Dinora Castro, Sarahi Alvarez y Juan Carlos González  
Carlos Torreblanca.**

## Sumario

*El tubo de Rubens es una demostración bastante común y llamativa de la propagación del sonido y la aparición de ondas estacionarias. Las llamas en el tubo pueden ser vistas como una representación gráfica de una onda estacionaria, la cual perjudica la presión de aire en el interior del tubo, lo que causa que el gas salga de los agujeros, y esto afecta cada llama individualmente. El tubo demuestra la frecuencia y la velocidad del sonido a través de las alturas de las llamas, creadas por el gas propano, que fluye hacia fuera de los pequeños agujeros en la parte superior del tubo. El tubo debe su nombre al físico Heinrich, el cual lo creó en el siglo XIX. El tubo de Rubens es una interesante manera de demostrar la dinámica de fluidos y de los procesos de combustión también.*

## 1.Introducción

El Tubo de Rubens es un experimento demostrado por primera vez por Heinrich Rubens en 1904. Se compone de un tubo que contiene muchos agujeros en la parte superior, gas propano y un altavoz en un extremo. Cuando el tubo se llena con el gas propano, se crea una fila de llamas. Normalmente, estas llamas se mantienen sobre todo la misma altura, ya que la presión en el tubo es más o menos constante. Sin embargo, cuando el sonido se reproduce a través de los altavoces, las llamas cambian en la altura debido a las ondas estacionarias, que es equivalente al sonido que se reproduce.

El Tubo de Rubens demuestra que las ondas sonoras son ondas de presión que viajan a través del gas. Estas ondas crean una ligera variación en la presión del tubo en diferentes longitudes a lo largo del tubo. Gracias al principio de Bernoulli, sabemos que la velocidad del gas que escapa de los orificios del tubo es una función de fuerza de presión del gas de salida.

En las zonas de mayor presión, el gas se escapa rápidamente y la llama es más alta y en las zonas de presión más baja las llamas son más cortas. Estas variaciones son causadas por las ondas de sonido producidas por el altavoz. Resumiendo todo esto, podemos decir que las diferentes alturas de llama a través del tubo son una representación del sonido que se está reproduciendo.

## 2. Objetivo

Ver la interacción de las ondas de sonido a través de la combustión de gas.

### 2.1 Pregunta Esencial

¿La eficiencia de la combustión de gas se ve afectada con los cambios de frecuencia del sonido ambiental?

### 2.2 Hipótesis

Si la frecuencia es amplificada en el interior del tubo, esto incrementaría la eficiencia de combustión y lograría producir llamas que se muevan de acuerdo a las ondas sonoras, siendo una representación de éstas.

### 3. Antecedentes

#### 3.1 Concepto 1

El tubo de Rubens es también conocido como un tubo de llama de onda estacionaria, o simplemente tubo de llama. Se trata de un aparato de la física antigua para demostrar la onda estacionaria acústica en un tubo. Se muestra gráficamente la relación entre las ondas de sonido y la presión acústica.

La primera demostración del Tubo Rubens fue en 1905 por el físico alemán llamado Heinrich Rubens que nació en 1865. El experimento consistía en un trozo de tubo de cuatro metros de tubería con 200 agujeros espaciados a lo largo de una longitud de 2 centímetros lleno de gas inflamable. Después de encender el gas, se observó que el sonido producido en un extremo del tubo crea una onda estacionaria, la misma longitud de onda que está haciendo el sonido.

El tubo Rubens fue nombrado después de H. Ruben, quien hizo el experimento y lo publicó en Annalen der Physik en 1905 justo después del famoso artículo de Einstein sobre el efecto fotoeléctrico también en 1905.

Dado que la presión promedio de tiempo es igual en todos los puntos del tubo, se puede decir que la altura de la llama es proporcional al flujo del gas. La altura de la llama depende de forma no lineal en la presión local, dependiente del tiempo. El promedio de tiempo de la corriente se reduce en los puntos con presión oscilante y por ello las llamas son más bajas.

Aunque el tubo Rubens es un experimento de física clásica, la mayoría de los establecimientos han abandonado el proyecto por alternativas "más seguras", por lo que es difícil encontrar información y detalles acerca de este experimento. En 1975, un profesor de física de Estados

Unidos presentó un tubo de llama construido a partir de una pista lineal del aire. Señaló que el experimento del tubo Rubens raramente se lleva a cabo en las escuelas debido a la exigencia de un equipo muy especializado.

Hubo varias demostraciones del tubo Rubens pero se eliminaron con el paso de los años. Una de las más famosas fue el tubo Rubens en el museo "La Exploratoria" de Bristol, Inglaterra hasta su cierre en 1999. Una exposición similar se encontraba en "El Centro de la ciencia At-Bristol" hasta el 2009, pero este último, en lugar de las llamas, utiliza perlas de poli estireno.

Los Cazadores de Mitos, un programa de Discovery Channel en el que dos científicos utilizan elementos de los métodos científicos para probar la validez de los rumores, mitos, escenas de películas, adagios, videos de Internet y noticias, realizaron una demostración del tubo Rubens en el episodio "Voice Flame Extinguisher" en el 2007, como conclusión del experimento, se dijo que el tubo Rubens era la mejor manera de demostrar las relaciones entre el sonido y las ondas de presión.

Además, "The Daily's Planet" tenía una competencia donde cinco centros científicos canadienses compitieron por el mejor experimento/exhibición del centro de la ciencia y el tubo Rubens fue el ganador de la competencia.

La demostración del tubo Rubens todavía se encuentra en los departamentos de física en varias universidades, como también en algunos museos de física, tales como: "Fundación Rino" en los Países Bajos, "Fysikshow Aarhus" en Dinamarca, "Fizika Ekspres" en Croacia y "AA Física Espectáculo" en Finlandia.

Hoy en día el tubo Rubens sólo se utiliza de vez en cuando, como una demostración de la educación de la física.

### 3.2 Concepto 2

A medida que el gas propano llena el tubo, se eleva la presión del interior a solo un poco encima de la presión atmosférica.

Cuando se enciende el tubo podemos ver la velocidad de flujo a través de cada agujero por la altura de la llama. Para modelar este flujo se puede comenzar con la ecuación de Bernoulli, que establece que

$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{constante}$$

Donde "P" es la presión, " $\rho$ " es la densidad, "v" es la velocidad, "h" es la elevación y la "g" es la aceleración gravitacional.

Esto expresa que los puntos 1 y 2 están en una línea de flujo, el fluido tiene una densidad constante, igual que el flujo y no hay fricción.

La ecuación de Bernoulli es muy útil, para ser muy sencilla de utilizar y da una amplia visión del equilibrio entre la presión, la velocidad y la elevación.

Suponiendo que en el flujo viscoso e incompresible, y que el cambio en la altura del fluido tiene un efecto insignificante sobre el balance de energía, la ecuación para la velocidad (V) muestra que la velocidad del gas con la densidad ( $\rho$ ) debe ser más o menos proporcional a la raíz cuadrada de la diferencia entre la presión en el tubo ( $P_T$ ) y la presión atmosférica ( $P_0$ ).

A medida que el sonido comienza a reproducirse, las ondas de presión viajan a través del tubo, rebotan en la tapa y regresan. En ciertos puntos a lo largo del tubo, un pico de alta presión, causado por el altavoz, se reunirá consistentemente con un canal de baja presión al momento de

regresar de la tapa, cancelando así el uno al otro, dejando la presión continuamente en  $P_T$ . En otros lugares los picos de alta presión se combinan a veces con canales de baja presión llamados anti-nodos (AN).

La presión promedio del tubo se mantiene constante, pero la tasa de flujo difiere significativamente. Por lo tanto, si tomamos la media de la raíz cuadrada de la diferencia de presión se puede observar que, en promedio, en los anti-nodos la velocidad de flujo es menor de lo que es en los nodos, lo que causa las diferentes alturas en las llamas.

La teoría anterior no es aplicable cuando se sube el volumen, el sonido se vuelve más y más fuerte y la presión mínima dentro del tubo se acerca y cae por debajo de la presión atmosférica.

## 4. Procedimiento

### 4.1 Descripción del modelo

El modelo consiste en un tubo de fierro galvanizado de calibre 18mm y con 7.5 cm de diámetro al que se le realizaron 55 perforaciones de 1/8" de diámetro con una distancia de 2 cm entre cada perforación. De un extremo está sellado con una capa de metal la cual tiene una perforación en el centro donde se coloca la manguera flexible, la cual conecta el tubo al gas propano. El otro extremo del tubo está sellado con un guante de látex junto con cinta adhesiva. La salida del gas está regulada por la válvula del tanque de gas y así logramos que las 55 flamas estén uniformes. Cuando el gas se regula, prendemos fuego al tubo para crear las flamas. Una vez establecido el fuego colocamos una bocina grande que tiene dos salidas de sonido la cual pertenece a un equipo de sonido y la usamos para tener una mayor potencia de éste. Reproducimos

música de diferentes géneros los cuales tienen diferentes frecuencias y podemos observar a través de las flamas las ondas creadas dentro del tubo debido a los cambios de presión ocurriendo dentro del tubo por las diferentes frecuencias siendo reproducidas en ese momento.

## 4.2 Materiales

- 1 metro de metal galvanizado
- 1 Tapa de metal
- Guante de Látex
- Tanque de gas propano de 2 litros
- Manguera flexible
- Abrazadera
- Bocinas de alta potencia
- Computadora
- Encendedor
- Tuerca
- Tripié

## Herramientas

- Taladro
- Cinta adhesiva
- Sellador de silicona
- Cinta métrica
- Brocas 1/8"

## 4.3 Proceso

### *Construcción del tubo*

4.3.1 Paso 1. A lo largo del tubo de metal marcar hoyos pequeños con un distancia entre ellos de 2 cm. Es importante no ponerlos tan separados.

4.3.2 Paso 2. En cada marca usar el taladro para hacer los agujeros.  
Anexo 1

4.3.3 Paso 3. En la tapa de metal hacer un agujero lo suficientemente grande para que la manguera de púa entre. A otro lado de la

tapa usar la tuerca para que la púa este mas apretada.

4.3.4 Paso 4. Colocar la tapa de metal en un extremo del tubo sellándolo bien para que el gas no se escape.

4.3.5 Paso 5. Cortar el extremo del tubo de gas que no tiene la entrada para el tanque de gas.

4.3.6 Paso 6. Conectar el tubo de gas a la lengüeta.

4.3.7 Paso 7. Utilizar la abrazadera y apretar el tubo de gas a la lengüeta para ajustarlo.

4.3.8 Paso 8. En el otro extremo abierto del tubo poner el guante látex bien estirado sin arrugas pegándolo con cinta.  
Anexo 1

4.3.9 Paso 9. Poner el tubo en la base para que este estable.

4.3.10 Paso 10. Colocar el altavoz cerca del final en la parte del látex para que el sonido pueda entrar en el tubo.

4.3.11 Paso 11. Conectar el gas y encenderlo. Esperar a que el tubo se llene.  
Anexo 2

4.3.12 Paso 12. Prender el tubo con el encendedor.

4.3.13 Paso 13. Una vez que todos los hoyos estén encendidos ajustar la llama usando la válvula.

4.3.14 Paso 14. Prender las bocinas y ajustar las frecuencias para demostrar la física detrás del Tubo de Rubens.

## 5. Resultados

### 5.1 Tabla de observaciones. Anexo 3 y 4



## 6. Conclusión

La eficiencia de combustión en el interior del tubo cambia con las variaciones de sonido debido a las diferentes frecuencias que había en el interior del tubo. La longitud de onda cambia con la frecuencia debido a la resonancia en el interior del tubo. Como resultado de esto, fueron creadas diferentes tipos de ondas sonoras que son representadas por las llamas. También vemos el comportamiento de la eficiencia de combustión, al principio las llamas son de color naranja brillante y mientras el tiempo pasa, un cambio en la presión ocurre en el interior del tubo hasta que la presión fuera del tubo es mayor a la que está dentro del tubo, por lo que el aire en el exterior es aspirado por los agujeros del tubo y esto se puede observar cuando el fuego empieza a tomar un color azul.

Podemos decir que cuando hay tonos altos la llama aumenta, y con tonos extremadamente bajos las llamas tienden a tener un poco de profundidad o se acorta, esto ocurre debido a la diferencia de presión creada por la interacción entre las ondas en el interior del tubo, por lo que podemos decir que el tamaño de la llama es proporcional al sonido que se está reproduciendo y la presión. Observando

esta reacción en las llamas también podemos saber fácilmente cuando sucede un antinodo o un nodo.

Con este experimento se puede observar que a pesar que la música tiene diferentes ritmos, se relaciona ya que tienen la misma naturaleza. Podemos ver como el techno y rock tienen casi las mismas ondas de sonido a pesar de que el ritmo no es el mismo. También podemos notar que la banda y el reggae tienen cierta similitud, pero no comparten el mismo ritmo tampoco.

## 7. Referencias

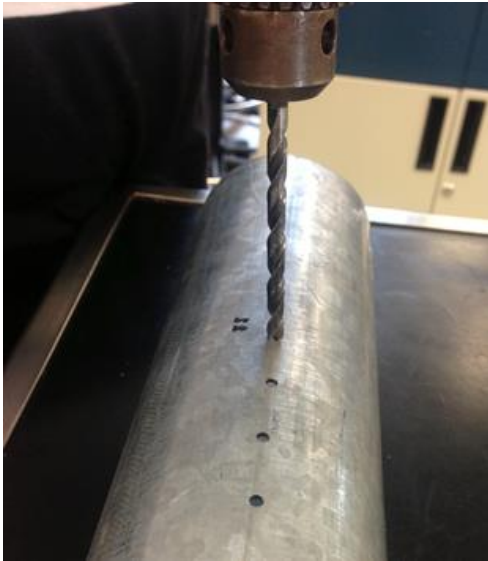
Butterfield, Anthony. (12 Jan. 2011). "Ruben's Tube." *Teaching Modules, Outreach, Chemical Engineering, University of Utah*. N.p.,. Web. 10 Mayo 2013. <[www.che.utah.edu/community\\_and\\_outreach/modules/module.php](http://www.che.utah.edu/community_and_outreach/modules/module.php)>.

"Bernoulli's Equation." *Princeton University - Home*. N.p. Web. 10 Mayo 2013. <[http://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle\\_web/Bernoulli.html](http://www.princeton.edu/~asmits/Bicycle_web/Bernoulli.html)>.

"The Rubens' Tube: Soundwaves in Fire!" *Instructables.com*. N.p., n.d. Web. 21 Mayo 2013. <<http://www.instructables.com/id/The-Rubens--Tube%3A-Soundwaves-in-Fire%21/>>.



# Anexo



Hacer en el tubo tomando en cuando el tamaño y distancia entre cada uno.




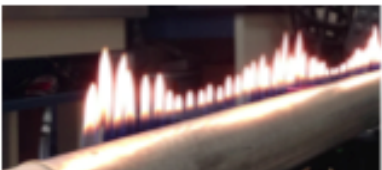







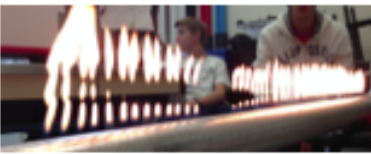
Colocar el látex en un extreme del tubo.



Conectar el gas propano al otro extremo del tubo



<b>Resultados</b>			
<b>Tipo de Música</b>	<b>Llamas</b>	<b>Observaciones</b>	<b>Fotos</b>
Opera - Ave María	Corta Constante	Poco movimiento el cual ocurre, casi todo, al mismo tiempo. En las partes de la canción donde es cantada con una nota alta, se crea una llama enorme.	
Opera - Con te Partiro	Mediana Constante	Las crestas más altas estaban en el centro del tubo, y los tonos más fuertes o las notas más altas de la canción, fueron las que marcaron un cambio más notable en las llamas. También notamos que la voz tenía un mayor efecto sobre la llama que la música instrumental.	
Piano Lento - Beautiful Calm	Corta Constante	Las llamas se mantuvieron constantes y bien distribuidas a lo largo del tubo. Cuando había notas demasiado bajas, las llamas tendían a tener un poco de profundidad.	
Piano Rápido - The Black Star	Mediana de la primera mitad cerca del altavoz y decreciente cada vez acercándose mas al final del tubo.	Las llamas tenían un constante movimiento el cual era rápido a lo largo del tubo, esta canción pudo demostrar la forma de una onda real porque tenía partes altas y bajas.	
Pop - Candyman	Mediana Constante	Las llamas vibraban de acuerdo con el ritmo de la música. Casi no había cambios en la altura. La altura se mantuvo constante a lo largo del tubo. La parte interesante de esta canción fue ver las vibraciones en las llamas.	
Balada - Heart On Fire	Mediana Constante	Durante las notas altas que eran cantadas, la llama tendía a llegar más alto. Esta canción también nos mostró partes altas y bajas al ocurriendo al mismo tiempo en las llamas.	

Banda	Alta constante	Hubo un movimiento uniforme, pero con algunos instrumentos, las llamas tendían a profundizarse en algunos puntos, principalmente en el centro.	
Reggae	Las primeras siete flamas fueron bastante altas, las demás se mantuvieron constante a una altura mediana.	Casi todas las llamas se movieron al mismo tiempo de acuerdo a las vibraciones, así que las llamas vibraban como la música.	
Rock	Las primeras diez llamas tuvieron una altura alta y las demás se mantuvieron constantes a una altura mediana.	Las llamas se agradaban y disminuían exactamente al mismo tiempo, estos cambios se produjeron por el tono de la persona que estaba cantando. Las llamas no tenían un movimiento específico, sino que vibraban mucho. Las llamas al inicio del tubo eran altas y disminuían a lo largo del tubo.	
Techno – Canciones Variadas	Flamas altas cerca del altavoz y cortas al final del tubo.	Estas canciones causaban efectos similares en las llamas; éstas vibraban y se movían al mismo tiempo. Las llamas demostraron una disminución en su tamaño a medida que la llama se alejaba del altavoz.	
Techno – Make it Bun Dem	Altura mediana la mayoría del tiempo pero teniendo un movimiento rápido de altura alta en los puntos agudos.	Esta canción tuvo un comportamiento diferente a comparación de todas las pruebas anteriores. A pesar de que es una canción tecno, no se comportó del todo como las canciones techno previamente probadas. También demostró un incremento en las llamas y estas parecían romperse en el aire, continuo a esto, las llamas tenían la altura media que tenía antes. Además, hubo un momento en que las llamas comenzaron a avanzar en el tubo, como si se deslizaban sobre él.	