

3.12 Estudio de una resistencia no lineal: Bombillos incandescentes

Es común escuchar de nuestros alumnos y alumnas, que la física no tiene aplicación y sentido. Estos comentarios se fundamentan en el desconocimiento de las potencialidades de los modelos físicos que usa el científico para explicar la naturaleza o el entorno que le rodea, así como para mejorar la calidad de vida de la sociedad en la cual vive. Para el desarrollo de la física en nuestro país, es esencial que los alumnos y alumnas abandonen estas ideas. En consecuencia, es necesario e imprescindible promover desde la enseñanza de la física, en la escuela media, la comprensión de la naturaleza de la física y su utilidad para el hombre y la mujer en su vida cotidiana, dentro de la sociedad moderna actual. Esta no es una tarea fácil, por ello, proponemos comenzar con pequeñas experiencias que acerquen a los alumnos y alumnas, a la física y la utilidad que tiene en lo que la mejora de calidad de vida se refiere. Con esto en mente diseñamos la experiencia que aquí presentamos, donde tratamos de conjugar la necesidad de ahorrar energía eléctrica en las casas (tema motivador), vía el uso de bombillos ahorradores en lugar de los bombillos incandescentes, a través del análisis de las comparaciones del gasto de energía real (potencia nominal) vs la potencia de alumbrado. Un tema común es el calentamiento del planeta por el uso de la energía proveniente del petróleo. La pregunta es, ¿cómo ahorrar energía con la finalidad de disminuir el consumo de petróleo y contribuir a no calentar el planeta? Para ello estudiaremos el consumo de energía con bombillos incandescentes versus bombillos ahorradores. Pero, esta tarea requiere el uso de algunas de las herramientas que usa el físico para comprender y controlar el mundo que le rodea y el desarrollo y la adquisición de habilidades de tipo procedimental, por parte de los alumnos y alumnas. Por ejemplo, el alumno y la alumna deben saber: analizar datos a través de la construcción de un gráfico, leer una tabla de datos, comparar tablas de datos y la información que brindan los gráficos, todo esto y más hacia la obtención de conclusiones.

Consigna o afirmación que expone la situación a resolver

“Analizar y estudiar el rendimiento, en energía, de un bombillo ahorrador vs un bombillo incandescente”.

Interés o idea principal de la situación a resolver

La enseñanza de la física se puede hacer más llevadera, para el alumno poco interesado y para el docente encargado de que todos los alumnos y alumnas tenga interés

por aprender física, si el proceso de enseñanza de esta ciencia gira, dentro de algunos contextos o temas de interés para los hombres y mujeres de hoy en día. Los alumnos y alumnas en la escuela media, son dependientes totales del uso de energía eléctrica, pues, su mundo dejaría de funcionar sin ella (sin computadora, sin internet, sin mp4, etc.). Esto último, puede garantizar al docente el interés inicial de sus alumnos hacia temas centrados en el estudio de la electricidad y que marcan el camino hacia el ahorro de energía eléctrica. La sociedad actual, no resiste más que sus miembros desconozcan, por ejemplo, lo que está a la base de las diferencias entre un bombillo incandescente y un bombillo ahorrador. Es necesario que desde la escuela los jóvenes comiencen a manejar temas o conceptos como potencia nominal, potencia de alumbrado, la relación entre corriente y voltaje en un bombillo y lo más importante, cómo el manejo y comprensión de todo este conocimiento puede ser usado para ahorrar energía eléctrica, en el hogar, en la escuela, en el trabajo, en los momentos de ocio, etc.

¿Se podría diseñar una experiencia centrada en el análisis y estudio de bombillos incandescente y ahorradores?

La experiencia que vamos a describir requiere de materiales a los cuales cualquier persona puede acceder y de un montaje experi-

mental simple y sencillo. Por lo tanto, no hay ningún problema en este sentido.

Comenzamos detallando los materiales a utilizar. Se usaron bombillos de distintas potencias nominales (incandescentes y ahorradores), roscas, enchufes, cables, sensor de luz Pasco de alta sensibilidad y un multímetro. Todo este material fue parte del montaje experimental para la toma de datos (ver figuras 3.107, 3.108, 3.109 y 3.110).



Figura 3.107. Bombillos incandescentes, alambre, rosca y enchufe.



Figura 3.108. Bombillos ahorradores, cables, rosca y enchufe.



Figura 3.109. Foto diodo Pasco.

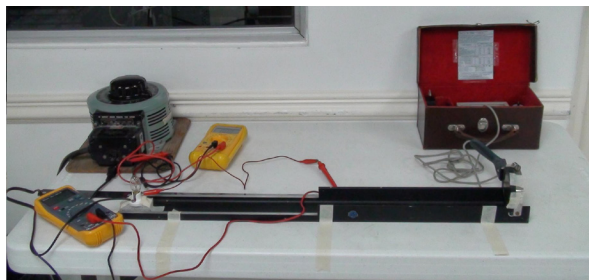


Figura 3.110. Montaje experimental.

Además, del material y el montaje descrito arriba, es indispensable que a lo largo del desarrollo de toda la experiencia el docente promueva la reflexión, el análisis y la interpretación de la información. En otras palabras, es necesaria la interacción continua y la discusión, todo esto dirigido a despertar el interés de los alumnos y alumnas, por el tema, por la experiencia, uno de los primeros pasos hacia el aprendizaje. Es necesario tener presente que el que aprende es el alumno, el docente, sólo orienta, aconseja y diseña el proceso de aprendizaje.

Por último, es necesario comentar que la experiencia que aquí pasamos a describir, giró alrededor de medir la luminosidad del bombillo (incandescente o ahorrador) a una distancia constante entre el sensor y el bombillo. En este proceso se midió también la corriente y el voltaje.

¿Qué evidencias o pruebas se pueden obtener para poder comprender construir un modelo explicativo sobre la situación planteada?

La evidencia se recogió con el montaje experimental presentado en la figura 3.38 y en relativa oscuridad.

Los primeros datos obtenidos son los relacionados con la potencia, corriente y luminosidad, para cada tipo de bombillo: incandescentes y ahorradores.

La información mostrada en el cuadro 3.61 gira alrededor del gasto de energía (potencia nominal que corresponde al voltaje eficaz, 115 V, multiplicado por la corriente) y corriente en función de la luminosidad. Existe una relación lineal entre la corriente y la potencia nominal, gráfica mostrada en la figura 3.111.

Unido, a lo anterior tenemos que al representar los valores de *luminosidad* versus

los valores de la potencia nominal, información mostrada en el cuadro 3.61, es evidente la relación lineal entre ambas, figura 3.111. Por lo tanto, si la potencia nominal se relaciona linealmente con la corriente, y la corriente tiene una relación lineal con la luminosidad, entonces, podemos decir, que existe una relación lineal entre la luminosidad y la corriente consumida.

Es decir, a mayor luminosidad, mayor corriente consumida y a mayor luminosidad, mayor gasto energético.

En cuanto a los bombillos ahorradores la información que tenemos es presentada en el cuadro 3.62.

Potencia	Corriente (mA)	Luminosidad (lux) x 10
4	34,6	2
7	52,3	6
15	124,9	15
25	205,8	26
40	346,6	39
60	500,0	55

Cuadro 3.61: Bombillas incandescentes - Valores máximos.

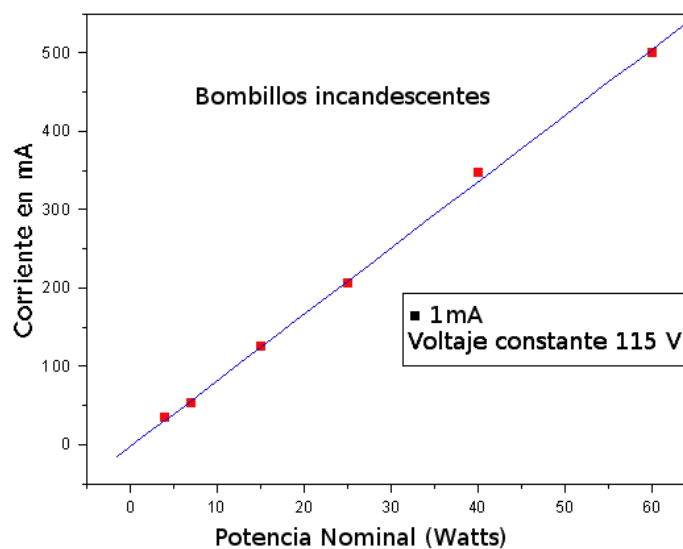


Figura 3.111. Relación corriente vs potencia nominal (bombillos incandescentes).

Potencia	Corriente (mA)	Luminosidad (lux) x 10
10 W - 40 W	74,2	60
13 W - 60 W	98,9	64
26 W - 110W	202,3	98

Cuadro 3.62: Bombillas ahorradoras - Valores máximos.

La información en el cuadro 3.62 señala diferencias notorias, con la información de la tabla 3.61. Comencemos ordenadamente. La potencia nominal (gasto de energía) es mucho menor que la potencia de alumbrado. Específicamente, para un gasto de energía de 10 W, la bombilla ahorradora presenta un alumbrado equivalente de 40 W. Esto inmediatamente marca diferencias drástica con las bombillas incandescentes. En igual forma si analizamos la corriente (potencia de consumo), nos encon-

tramos que es mucho menor para la misma potencia (74,1 mA contra 346,6 mA). Por ejemplo, para una luminosidad de alrededor de 64 la bombilla ahorradora requiere una corriente de alrededor de 100 mA. Mientras que una bombilla incandescente para una luminosidad de 55 requiere una corriente de 500 mA (proporcional al consumo). Podemos representar gráficamente la relación corriente vs potencia nominal y encontramos nuevamente una relación lineal (figura 3.112).

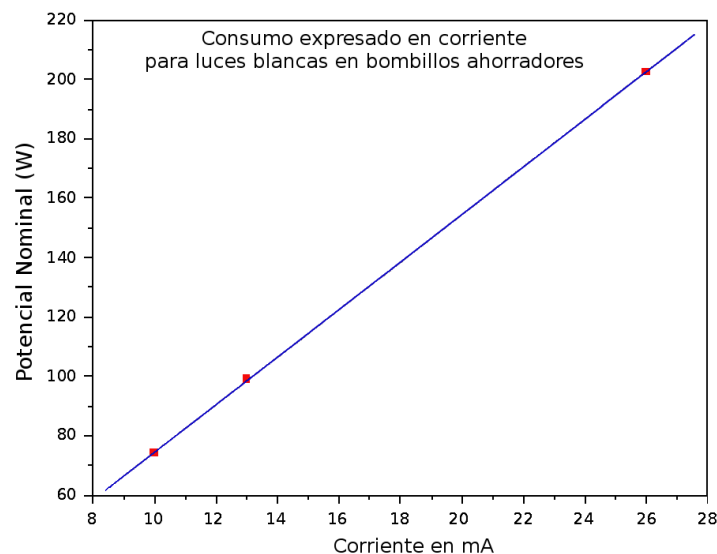


Figura 3.112. Relación corriente vs potencia nominal (bombillos ahorradores).

La construcción de la gráfica de la figura 3.112 es sólo para mostrar la tendencia de la relación, pues, no podemos señalar más allá, pues, sólo tenemos tres puntos.

Nos centraremos ahora en la relación voltaje vs corriente, para cada tipo de bombillo. Nuevamente el trabajo de análisis estará centrado en el análisis de la información que nos muestran las tablas y los gráficos, que como hemos podido constatar nos ha proporcionado

información y explicaciones interesantes.

La información recopilada sobre el voltaje y la corriente, por bombillo, en función de la potencia nominal y la potencia de alumbrado las presentamos a continuación. En primer lugar, trabajaremos con la información sobre los bombillos incandescentes (cuadro 3.63) y luego, con la información de los bombillas ahorradores (cuadro 3.64).

P.N.	4.0 W	7.0 W	15.0 W	25,0 W	40,0 W	60,0 W
Volt (V)	I (m A)	I (m A)	I (m A)	I (m A)	I (m A)	I (m A)
0,7	1,6	2,6	5,4	16,4	24,3	39,5
7,09	5,8	10,7	22,7	67,2	103,6	150,7
13,95	8,7	16,0	34,3	81,9	129,5	187,6
21,0	11,0	20,1	43,4	93,0	148,5	218,5
27,9	13,2	24,0	51,3	102,5	165,8	246,4
33,5	15,3	27,4	58,3	112,2	182,2	270,7
39,5	16,8	30,4	65,3	120,7	196,8	295,3
45,5	18,8	33,6	71,5	129,7	213,4	317,8
52,5	20,8	36,6	77,7	137,5	227,4	342,0
58,3	22,4	39,3	83,6	146,5	242,2	364,3
65,2	24,1	42,1	89,3	154,8	255,2	386,1
72,3	25,5	44,7	94,7	162,6	271,2	390,0
79,2	27,0	47,4	103,3	170,3	284,2	410,0
86,6	28,4	50,0	105,3	177,2	297,4	430,0
93,6	29,9	52,5	110,5	184,6	309,3	450,0
105,0	31,2	55,1	115,9	191,6	321,5	470,0
107,8	33,0	57,3	120,9	198,5	333,8	480,0
115,2	34,3	59,8	125,3	205,1	344,8	500,0

Cuadro 3.63: Corriente y voltaje en función de la potencia nominal.

Para conocer el tipo relación real que existe entre la corriente y el voltaje, en los bombillos incandescentes, es necesario construir el gráfi-

co voltaje vs corriente (figura 3.113), para luego analizarlo.

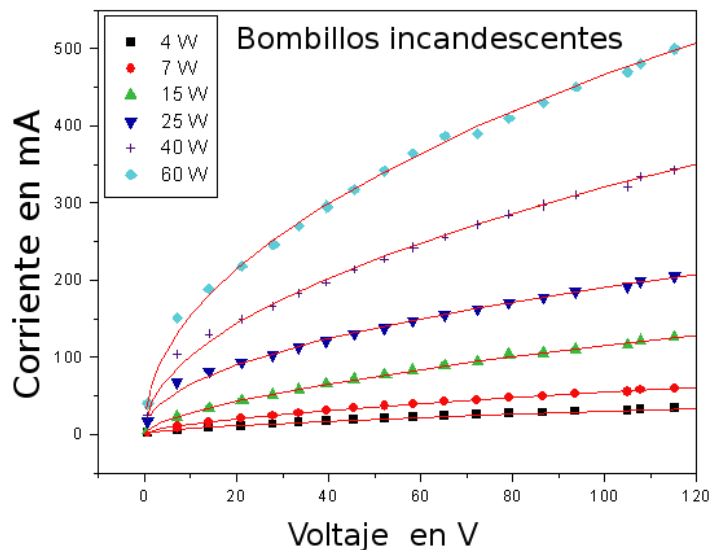


Figura 3.113. Gráfico corriente vs voltaje para cada bombillo incandescente (en función de la potencia nominal)

Según la figura 3.113, la relación entre el voltaje y la corriente para cada bombillo de acuerdo a la potencia nominal no es lineal al inicio. La linealidad comienza casi al final. En otras palabras aquí no se cumple la ley de Ohm.

Notamos que a medida que aumenta el voltaje aumenta el consumo. ¿Qué relación habrá entre la corriente y el voltaje en los bombillos ahorradores? La información para este tipo de bombillos la encontramos en el cuadro 3.64.

P.N.	(10 W - 40 W)	(13 W - 60 W)	(26 W - 110 W)
Volt (V)	I (m A)	I (m A)	I (m A)
32,7			234,2
39,1			245,6
45,8			249,3
52,1		115,5	248,8
58,7	79,6	116,9	245,4
65,3	80,7	112,0	240,4
72,1	79,4	108,5	234,0
79,0	76,4	105,6	227,6
86,3	74,5	102,8	224,0
95,5	73,3	99,7	219,0
100,6	73,0	97,4	215,0
107,4	73,8	95,5	211,5
114,9	75,1	94,7	209,3

Cuadro 3.64: Corriente y voltaje en función de la potencia nominal.

Corriente y voltaje en función de la potencial nominal. Los datos mostrados en el cuadro 3.64, nos permiten construir la gráfica voltaje vs corriente para los bombillos ahorradores (figura 3.114).

Las representaciones gráficos mostradas en la figura 3.114 señala que la relación entre

el voltaje y la corriente no es lineal. Notamos que a medida que aumenta el voltaje la corriente disminuye. Pues, con poco gasto energético y poca corriente (potencia de consumo) se tiene mayor rendimiento que los bombillos incandescentes.

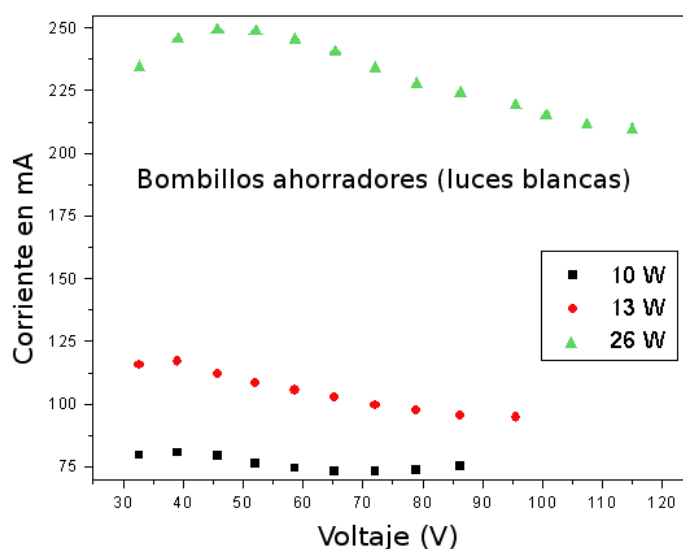


Figura 3.114. Gráfico voltaje vs corriente para cada bombillo ahorrador (en función de la resistencia nominal).

Las representaciones gráficos mostradas en la figura 3.114 señala que la relación entre el voltaje y la corriente no es lineal. Notamos que a medida que aumenta el voltaje la corriente disminuye. Pues, con poco gasto energético y poca corriente (potencia de consumo) se tiene mayor rendimiento que los bombillos incandescentes.

Conclusión

Para el estudio, análisis y comprensión del rendimiento de las bombillas incandescentes vs las bombillas ahorradoras sólo hemos usados herramientas matemáticas básicas de uso común para el físico. Lo que implica que este simple análisis, con tanta utilidad en la vida diaria, está al alcance de los alumnos y alumnas. El estudio detallado, reflexivo y profundo de la

situación analizada y de los resultados obtenidos permite a los alumnos tener un comprensión significativa de como ahorrar electricidad en sus casas.

Reflexión

El pliego tarifario de las compañías eléctricas señala que se paga por los primeros 10 kWh o menos, un cargo fijo de B/. 1,50 por mes. Y los siguientes 490 kWh B/.0,122 85. Con esta tarifa, ¿cuánto pagaría un usuario de este servicio por el uso de un bombillo incandescente de 60 W al mes?

En la búsqueda de respuesta suponemos que mínimo se puede tener encendido un bombillo de 6 de la tarde a 11 de la noche. Lo que da un total de 5 horas por día. En un mes, el bombillo estaría en uso 150 horas. Las compañías eléctricas cobran por kWh, entonces, debemos multiplicar 60 W por las horas de consumo x la tarifa. Todo dividido entre 1000, pues, el precio está en kWh.

$$\frac{60 \text{ W} \times 150 \text{ h} \times 0,12285}{1000} = \text{B} / . 1,11 \quad (3.57)$$

Entonces, con un bombillo incandescente en funcionamiento mínimo 5 horas diarias, por un mes, implica un costo de B/. 1,11. ¿Cuánto se pagaría si se reemplaza ese bombillo incandescente por un bombillo ahorrador de potencia nominal 13 W y que alumbra como uno incan-

descente de 60 W? Suponemos las mismas horas de uso al mes, 150. En este caso, el cálculo sería el siguiente,

$$\frac{13 \text{ W} \times 150 \text{ h} \times 0,12285}{1000} = \text{B} / . 0,24 \quad (3.58)$$

Al comparar estos resultados encontramos que con el bombillo ahorrador el costo del servicio se reduce en un 79 %. Ante, este resultado cabe cuestionar el costo del bombillo ahorrador. Analicemos este punto.

Un bombillo incandescente tiene un costo promedio de B/. 0,95 (los más caros) y una vida media de 1 500 h. Si dividimos la vida media en horas entre las horas de uso en un mes (150), estamos hablando de 10 meses de uso. En el caso de un bombillo ahorrador, su costo es de alrededor de B/. 5,00 con una vida media de alrededor 8 000 h. Lo que nos da 53,3 meses de uso. ¿Cuánto cuesta por mes el uso de un bombillo incandescente y un bombillo ahorrador de acuerdo al tiempo de vida? Para ello dividimos el precio entre los meses de vida y tenemos un aproximado de B/. 0,094 por mes el costo del bombillo ahorrador y B/. 0,095 por mes el bombillo incandescente. Es decir, se paga lo mismo por mes, tanto para el bombillo incandescente, como con el bombillo ahorrador. Esto significa que por cada bombillo ahorrador se necesitan cinco bombillos incandescentes. Unido a esto, hay que pensar en el desecho de cinco bombillos incandescente contra uno ahorrador. Lo

4. Apéndice

4.1 Diferencias finitas para el cálculo de la variación de volumen

Sea el volumen $V_{in} = a_{in} b_{in} c_{in} = a_1 b_1 c_1$ donde a_{in} es el espesor inicial, b_{in} el ancho inicial y c_{in} el largo inicial del dominó.

Sea una muy pequeña variación del volumen, pero finita,

$$V_{fin} = a_{fin} b_{fin} c_{fin} = a_2 b_2 c_2 \quad (4.1)$$

$$\Delta V = \Delta(V_f - V_i) = a_2 b_2 c_2 - a_1 b_1 c_1 \quad (4.2)$$

Producto de muy pequeñas variaciones del espesor, ancho y largo.

$$a_2 - a_1 = \Delta a; \quad b_2 - b_1 = \Delta b; \quad c_2 - c_1 = \Delta c;$$

$$a_2 = a_1 + \Delta a; \quad b_2 = b_1 + \Delta b; \quad c_2 = c_1 + \Delta c;$$

$$\Delta V = (a_1 + \Delta a)(b_1 + \Delta b)(c_1 + \Delta c) - a_1 b_1 c_1$$

Cuando multiplicamos una cantidad razonable por una muy pequeña, el resultado es pequeño, igual al multiplicar dos cantidades muy pequeñas, da un resultado despreciable.

$$(a_1 + \Delta a)(b_1 + \Delta b) = a_1 b_1 + \Delta a b_1 + a_1 \Delta b + \Delta a \Delta b \approx a_1 b_1 + \Delta a b_1 + a_1 \Delta b$$

que al multiplicar

$$\begin{aligned}
 & (a_1 b_1 + \Delta a b_1 + a_1 \Delta b)(c_1 + \Delta c) \\
 &= a_1 b_1 c_1 + \Delta a b_1 c_1 + a_1 c_1 \Delta b + a_1 b_1 \Delta c + \Delta a \Delta c b_1 + a_1 \Delta b \Delta c \\
 &\approx a_1 b_1 c_1 + \Delta a b_1 c_1 + a_1 c_1 \Delta b + a_1 b_1 \Delta c \\
 & a_1 b_1 c_1 + \Delta a b_1 c_1 + a_1 c_1 \Delta b + a_1 b_1 \Delta c - a_1 b_1 c_1
 \end{aligned}$$

$$\Delta V = \frac{\Delta a}{a_1} a_1 b_1 c_1 + \frac{\Delta b}{b_1} a_1 b_1 c_1 + \frac{\Delta c}{c_1} a_1 b_1 c_1 \quad (4.3)$$

$$\frac{\Delta V}{a_1 b_1 c_1} = \frac{\Delta a}{a_1} + \frac{\Delta b}{b_1} + \frac{\Delta c}{c_1} \quad (4.4)$$

Si $a_1 \approx a_2 = a$; $b_1 \approx b_2 = b$; $c_1 \approx c_2 = c$; y $a_1 b_1 c_1 \approx V$

$$\frac{\Delta V}{V} = \frac{\Delta a}{a} + \frac{\Delta b}{b} + \frac{\Delta c}{c} \quad (4.5)$$

