

LABORATORIO REMOTO DE ALTERNA: BOMBILLAS, RESISTENCIAS Y TEMPERATURA

Rev: 1.1 (Septiembre/2018)

Autores: Unai Hernández (unai@labsland.com)

Javier García Zubía (zubia@labsland.com)

Contenido

1	Conceptualización.....	4
2	Objetivos y nivel de complejidad	6
3	El Laboratorio remoto de Corriente Alterna en LabsLand	7
4	Hipótesis que se pueden plantear durante el experimento	10
5	Experimentos para validar las respuestas a las hipótesis planteadas	10
5.1	Experimentos con el laboratorio remoto.	11
5.2	Experimentos con el simulador Falstad.....	17
6	Conclusiones.....	23
7	Bonus track: Experimento adicional	25

1 Conceptualización

Esta unidad didáctica integra circuitos con bombillas de diferente potencia alimentados con alterna con el estudio del comportamiento de la resistencia de un dispositivo en función de la temperatura, la bombilla en este caso.

Además la experiencia incluida permite aplicar las leyes básicas de la electricidad de Ohm y Kirchhoff, la simulación y la experimentación real.

El laboratorio remoto a utilizar permite conectar y desconectar mediante relés a distintas bombillas alimentadas con 220 V de alterna (se explica más adelante). La conexión (o desconexión) de bombillas afectará a la corriente que atraviesa a cada una de ellas, y por tanto a la cantidad de luz que desprenden (es lo que muestra el laboratorio remoto). Este comportamiento puede ser intuitivo (a priori) o explicado (a posteriori) utilizando las leyes de Ohm y Kirchhoff, pero teniendo en cuenta que la resistencia de cada bombilla irá variando con la temperatura, es decir, se complica el razonamiento y se hace más rica la experiencia, sobre todo porque el comportamiento es no lineal.

El comportamiento de una bombilla depende del filamento de wolframio que contiene enrollado en su interior (ahora hay bombillas tipo led, sin filamento). El wolframio al calentarse emite luz, y emite tanta más luz cuanto más caliente está, hasta que se destruye por exceso de temperatura. Para calentar ese filamento se usa corriente eléctrica, que al atravesarlo genera calor (ley de Joule) lo que se transforma en luz emitida. La potencia nominal asociada a una bombilla indica que cuando la potencia disipada en esa bombilla alcance ese valor, entonces la temperatura será la adecuada (unos 3000° K - 3300° K) para emitir la máxima cantidad de luz. Es decir, una bombilla de 15 W que disipa 15 W emite más luz que una de 60 W que disipa 15 W (pero mucha menos luz que una de 60 W disipando 60 W). El filamento de wolframio además tiene asociado una resistencia (y por eso tiene una potencia), y esta resistencia tiene la particularidad, bien lógica, de cambiar de valor con la temperatura.

Este comportamiento de la resistencia es:

$$R_T = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T),$$

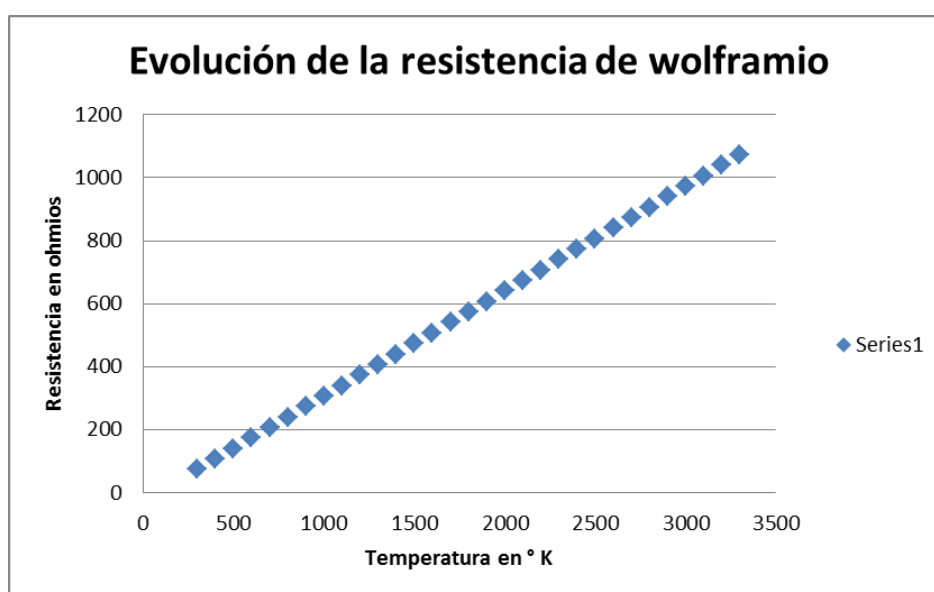
donde R_0 es la resistencia a una temperatura dada,

α es el coeficiente de temperatura de cada material

y ΔT es el incremento de temperatura respecto de la inicial

Material	Resistividad ρ a 20° C ($\Omega \cdot m$)	Coefficiente de Temperatura α ($^{\circ}C^{-1}$)
Plata (Ag)	$1,59 \cdot 10^{-8}$	$3,8 \cdot 10^{-3}$
Cobre (Cu)	$1,7 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Aluminio (Al)	$2,82 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Oro (Au)	$2,44 \cdot 10^{-8}$	$3,4 \cdot 10^{-3}$
Wolframio o Tungsteno (W)	$5,6 \cdot 10^{-8}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$
Plomo (Pb)	$22 \cdot 10^{-8}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$
Hierro (Fe)	$10 \cdot 10^{-8}$	$5 \cdot 10^{-3}$
Platino (Pt)	$11 \cdot 10^{-8}$	$3,92 \cdot 10^{-3}$
Silicio (Si)	640	$-75 \cdot 10^{-3}$
Germanio (Ge)	0,46	$-48 \cdot 10^{-3}$
Vidrio	10^{10} a 10^{14}	

Por ejemplo, la gráfica adjunta muestra cómo evoluciona la resistencia de un filamento de wolframio si la resistencia a 300° K es de 74 Ω . Se ve a que a 3300° K la resistencia es de unos 1100 Ω , unas 15 veces su valor a temperatura ambiente. Es decir, el comportamiento eléctrico de una bombilla cambia mucho con la temperatura y este cambio es lineal, en principio. (<http://juan.aguarondeblas.es/2011/12/%C2%BFa-que-temperatura-esta-el-filamento-de-las-bombillas-experimento.html>)



Además es interesante recordar la expresión de la potencia disipada por un dispositivo: $P = V \cdot I = I^2 \cdot R$. Así, si aumenta R , aumenta P (y con ella la temperatura y la luz), pero al aumentar R , y toda vez que la alimentación es de 220 V, entonces baja I , lo que disminuye P , etc.

Al observar la potencia de una bombilla cabe hacerse una pregunta ¿qué bombilla tiene una mayor resistencia, la de mayor o la menor potencia? La de menor potencia, ya que de esta forma para alcanzar la potencia nominal es necesaria menos corriente y por tanto la luz emitida va a ser menor.

Aunque no sea relevante para este experimento puede ser interesante preguntarse cómo se obtienen 74Ω de resistencia usando wolframio. El valor de la resistencia de un dispositivo se obtiene de $R = \rho \cdot \frac{l}{A}$, donde ρ en $\Omega \cdot m$ es el coeficiente de cada material (ver tabla anterior), l es la longitud en m y A es la sección del cable en m^2 .

Por ejemplo, si el cable de wolframio tuviera un grosor de $0,003 \text{ mm}^2$ (es muy fino), entonces su largura sería de $l = \frac{R}{\rho} \cdot A = \frac{74}{0,000000056} \cdot 0,003 \cdot 10^{-6} = 4 \text{ m}$. La longitud del cable es de 4 m ¿cómo se meten 4 metros de cable en una bombilla? Pues muy juntos, con mucho cuidado y con ingenio, usando el doble arrollado. ¿Por qué crees que debe ser muy fino el cable?

Además, y según las leyes de Ohm y Kirchhoff, añadir una resistencia en serie aumenta la resistencia total y por tanto baja la intensidad, y añadir una resistencia en paralelo aumenta la demanda de intensidad a la fuente, ya que baja la resistencia total.

Los datos y las expresiones anteriores serán usadas más adelante.

2 Objetivos y nivel de complejidad

La experiencia tiene varios objetivos de distinto carácter:

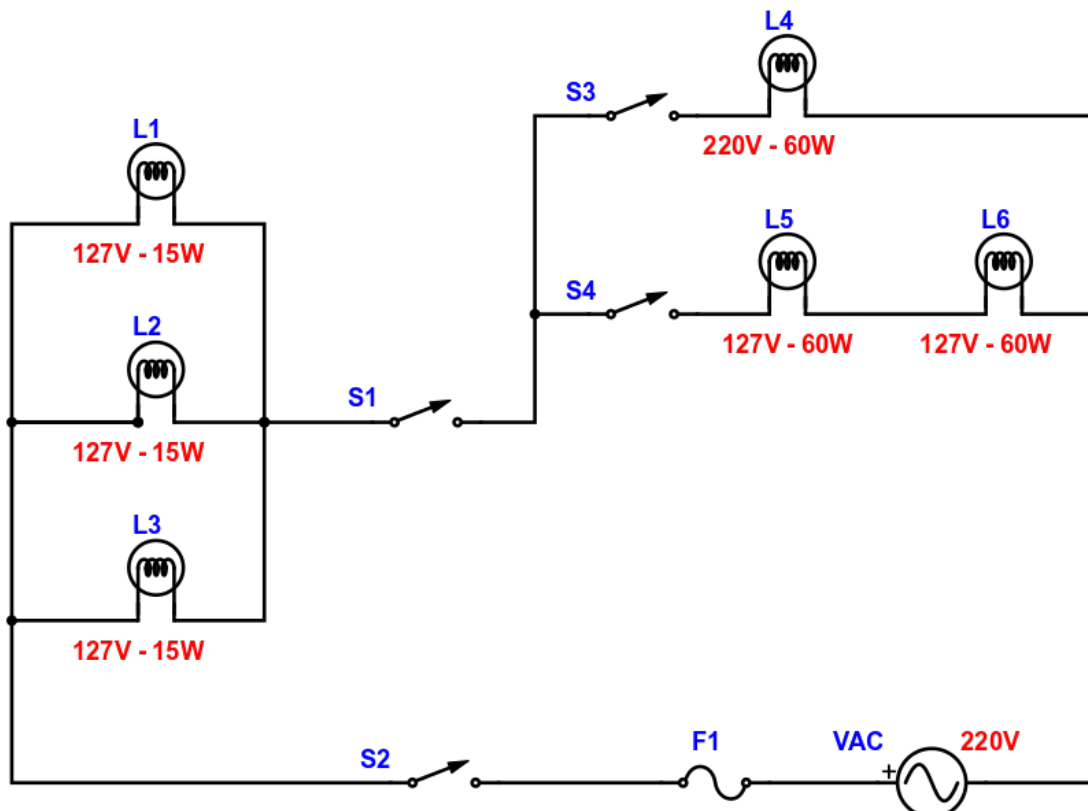
1. Ver cómo afecta la temperatura a la resistencia de una bombilla, y por tanto a la potencia disipada por la misma (y a la luz que emite).
2. Ver cómo afecta esta variación en la aplicación de las leyes de Ohm y Kirchhoff. Ver que el sistema es no lineal.

3. Entender que lo que parecen pequeños cambios en una parte de un circuito pueden afectar mucho a la totalidad del mismo y a las otras partes. Ver que el sistema es no lineal.
4. Ver cómo todo lo anterior puede ser visto desde la simulación.
5. Concluir si tiene sentido conectar las bombillas de cualquier manera en una casa o pensar cómo están unidas las bombillas en un árbol de Navidad. ¿En paralelo o en serie? ¿Por qué?

En el laboratorio remoto solo se pueden modificar cuatro interruptores que abren y cierran distintas partes del circuito total, de manera que la estructura del circuito cambia. Sin embargo no se puede cambiar el valor de las bombillas, siempre son las mismas, aunque cada una es de una potencia y una tensión nominal distintas. En total se pueden crear tres circuitos.

3 El Laboratorio remoto de Corriente Alterna en LabsLand

El laboratorio está representado esquemáticamente en la siguiente figura.



Hay tres bombillas en paralelo de 15 W para una tensión nominal eficaz de 127 V de alterna (en Brasil están disponibles 127 V y 220 V, en España, 220 V). Luego hay dos ramas en paralelo, y en ambas las bombillas son de 60 W de

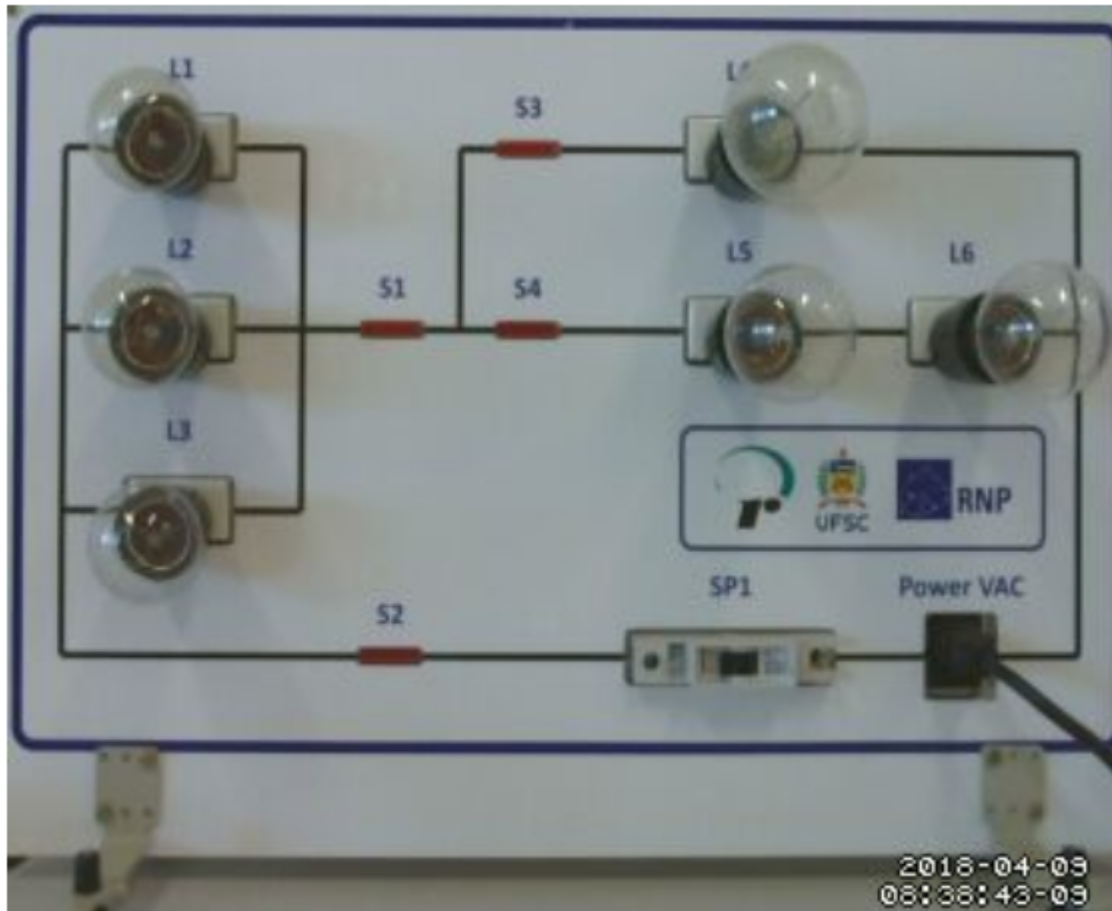
potencia, pero las dos de abajo lo son para una tensión nominal eficaz de 127 V, mientras que la de arriba está diseñada para 220 V. La bombilla de 127 V y 15 W es la que presenta una mayor resistencia, mientras que la de 127 V y 60 W es la que menor resistencia presenta (4 veces menos que la primera) y la de 220 V y 60 W presenta una resistencia unas tres veces la de 127 V y 60 W (el estudio matemático está más adelante). La variedad de bombillas no facilita mucho el análisis básico del experimento, pero le da riqueza.

$$R_{L4} = \frac{3}{4}R_{L1-L3}, \quad R_{L5-L6} = \frac{1}{4}R_{L1-L3} \quad y \quad R_{L4} = 3 \cdot R_{L5-L6}$$

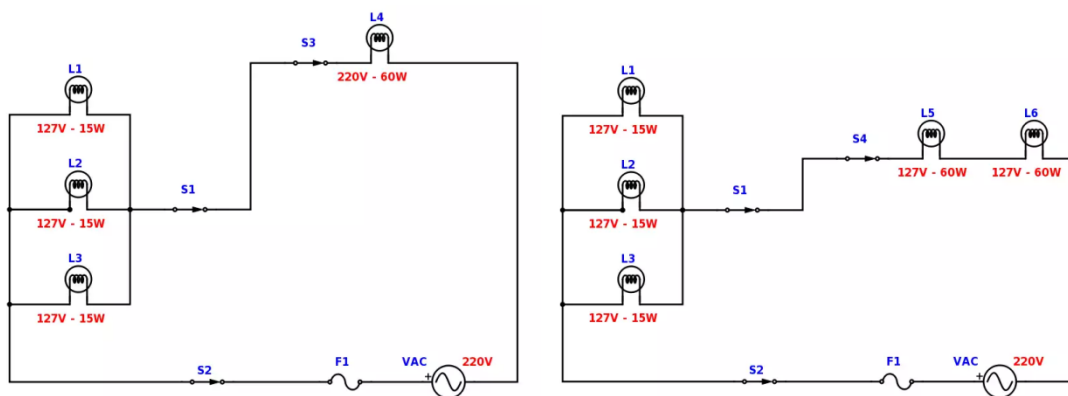
Los cuatros relés son S1-S4. S1 y S2 sirven para controlar el flujo de corriente en la totalidad del circuito, S1 y S2 son redundantes. S3 incluye en el circuito la rama superior de una bombilla L4 (220 V y 60 W) y S4 incluye la rama inferior de dos bombillas L5 y L6 (127 V y 60 W). Las tres primeras bombillas L1-L3 (127 V y 15 W) siempre forman parte del circuito.

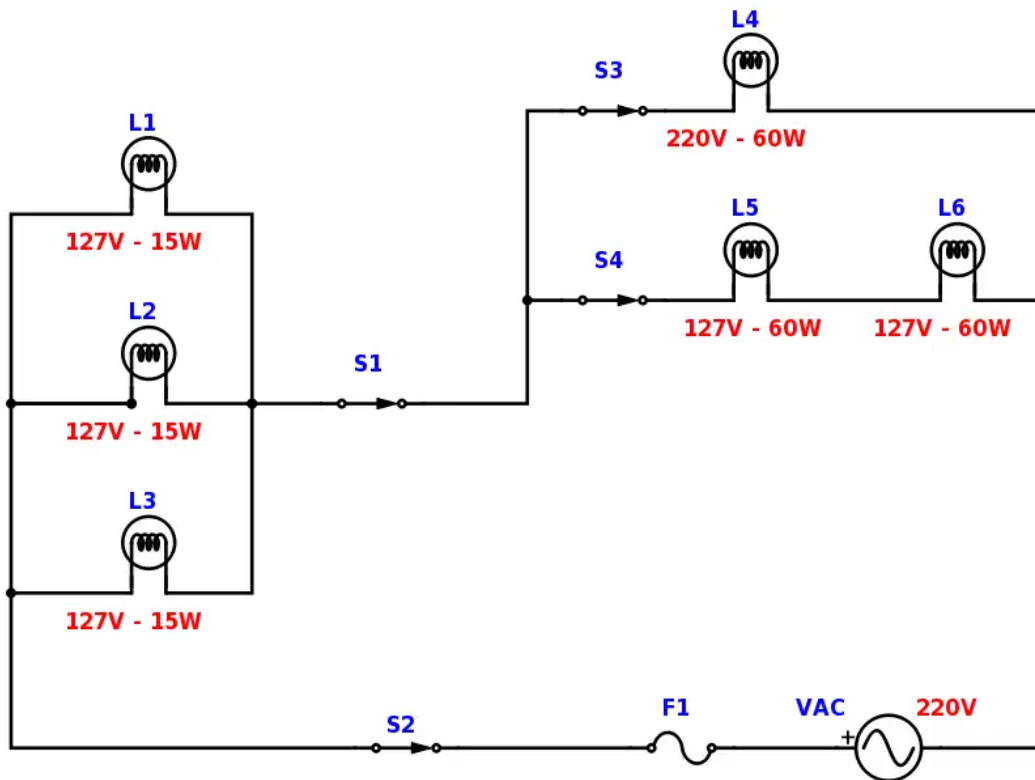
La alimentación es siempre de 220 V de alterna. Esos 220 V describen la tensión eficaz de la alimentación.

En cuanto a las salidas, el laboratorio remoto solo ofrece la luz emitida por las bombillas usando para ello una webcam. En ningún caso se mide ni la intensidad, ni el voltaje, ni la potencia correspondiente a cada bombilla. Sería un dato interesante, pero no relevante, además este análisis en detalle se hará con el simulador.



Los circuitos que se pueden crear son tres:





4 Hipótesis que se pueden plantear durante el experimento

Las hipótesis a manejar son variadas y de distinta complejidad:

1. Si se modifica el circuito ¿cambia la luz emitida por las bombillas? ¿cómo?
2. Si se modifica el circuito ¿la luz emitida por la bombilla cambia de golpe o hay un comportamiento transitorio observable?
3. Cada bombilla tiene asociada una resistencia ¿cambia su valor al emitir luz y por tanto al aumentar su temperatura? ¿en qué se nota este cambio?
4. Si a un circuito se le añade una bombilla o varias en paralelo ¿debe cambiar el comportamiento del circuito original? ¿por qué? Piensa en las leyes de Kirchhoff y Ohm.

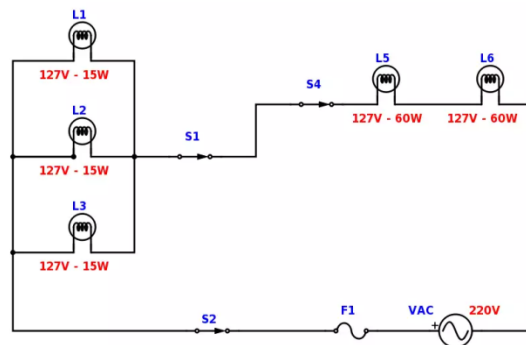
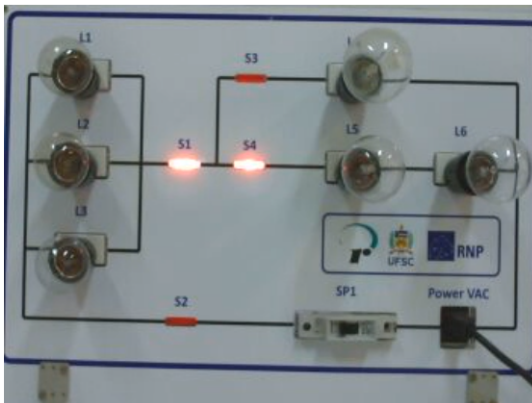
5 Experimentos para validar las respuestas a las hipótesis planteadas

Las hipótesis y preguntas anteriores se van a responder utilizando dos herramientas: el laboratorio remoto de Corriente Alterna en LabsLand y el simulador Falstad (<http://www.falstad.com/circuit/circuitjs.html>).

5.1 Experimentos con el laboratorio remoto.

A la vista del panel de control está claro que el primer paso es crear un circuito y luego cerrar el relé S2.

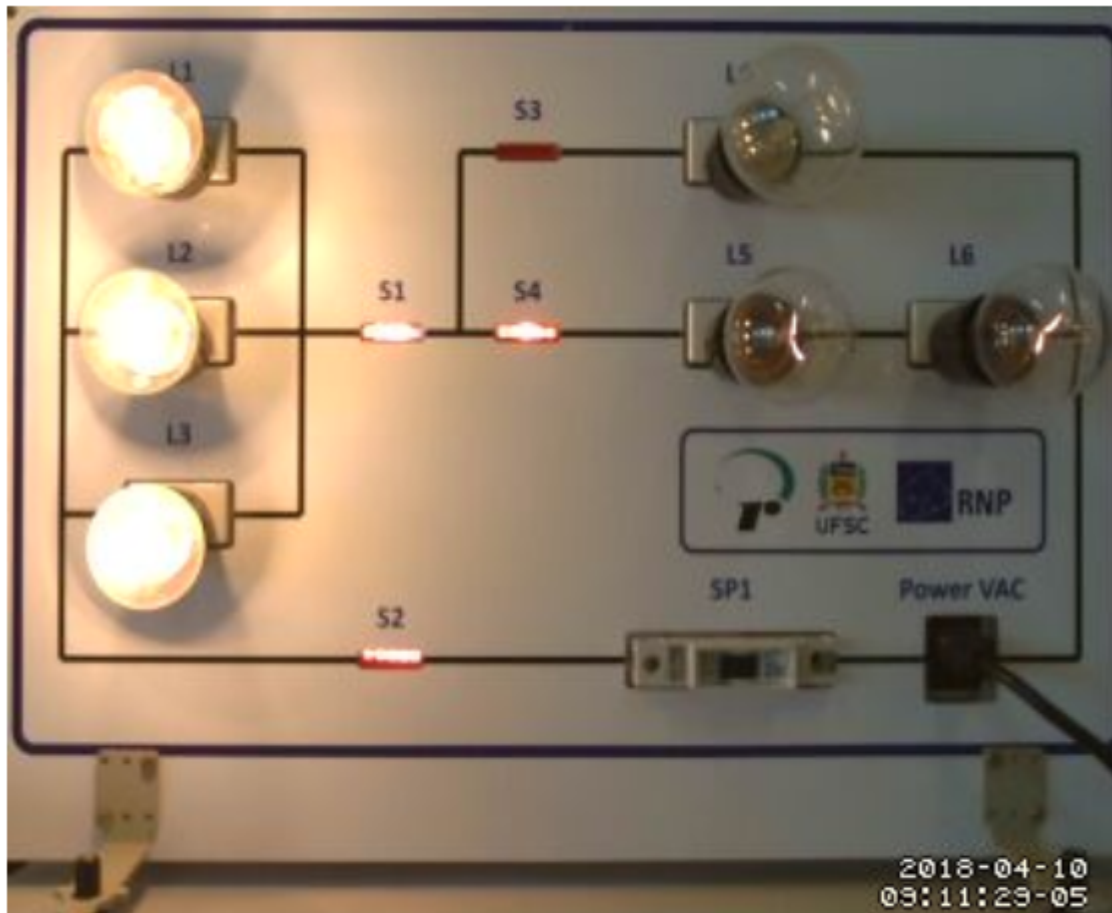
En la imagen siguiente vemos un circuito formado por el paralelo de tres bombillas en serie con las dos bombillas inferiores.

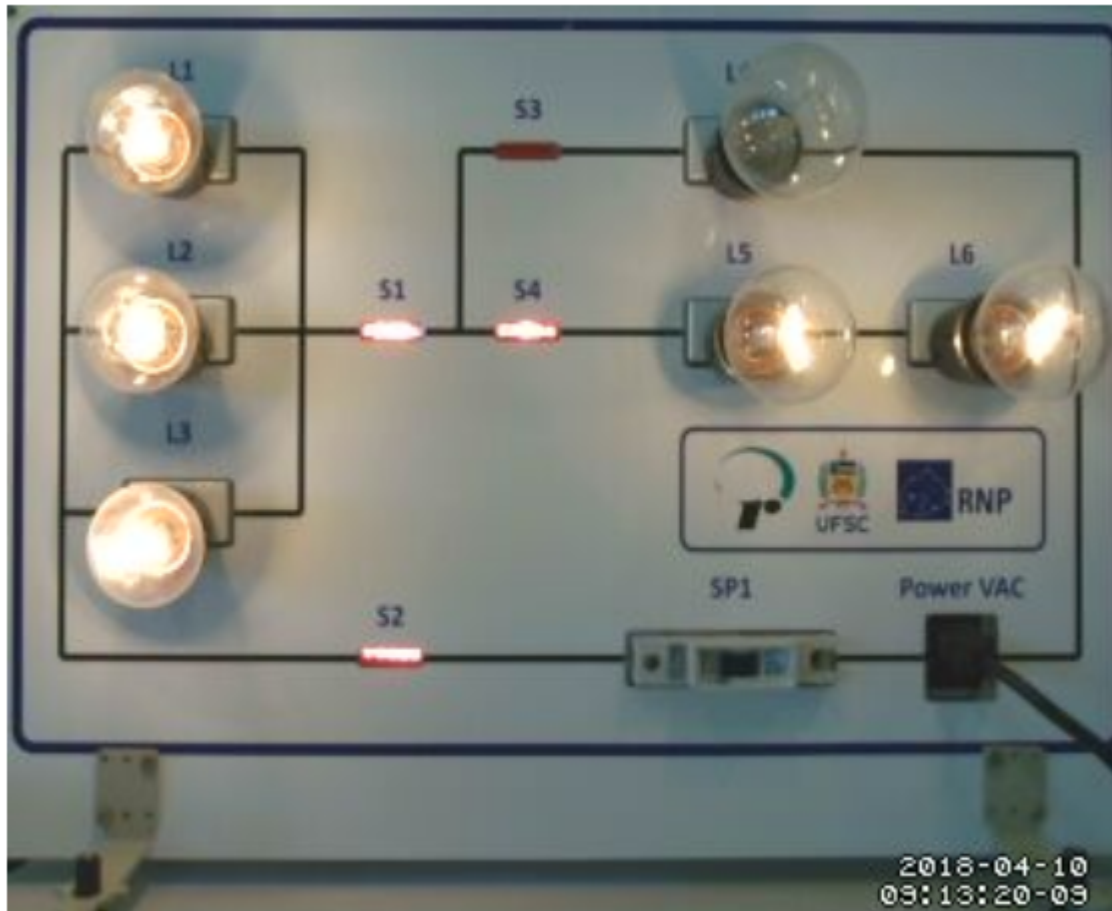


Al cerrar el relé S2, el circuito entra en funcionamiento y podemos observar:

1. Cada una de las tres bombillas L1-L3 es cuatro veces cada una de las dos bombillas L5 y L6, ya que son de 15 W y 60 W, respectivamente. Así, el paralelo L1-L3 ($L1/3$) es algo mayor que cada una de las dos bombillas L5 y L6 (un 33% mayor), pero no mucho mayor.
2. Por tanto habrá una caída de tensión mayor en L1-L3 (vista como una sola bombilla de 45 W) que en L5-L6, ya que la corriente que circula es la misma. Esta es la situación justo en el momento de cerrar el relé S2.
3. En este momento, al comenzar a circular la corriente eléctrica, la caída de tensión es mayor en L1-L3 que en L5-L6, y por tanto la potencia disipada es mayor y con ella la luz emitida y el aumento de temperatura. Este hecho también se produce en L5-L6, pero en menor medida.
4. La mayor temperatura en L1-L3 hace que aumente su resistencia en mayor medida que en L5-L6, y así el desequilibrio visto en el anterior paso se hace más patente. Hay claramente más luz en L1-L3 que en L5-L6. El proceso parece incontrolado en beneficio de L1-L3.
5. Pero además, este aumento de la resistencia total hace que la intensidad baje (la alimentación sigue siendo de 220 V), y con ella la caída de tensión, la luz y la temperatura. Es decir, la resistencia baja.
6. Pero esa bajada se frena porque conlleva un aumento de intensidad. Es decir, finalmente se da un equilibrio.

La evolución del experimento remoto es la siguiente. La primera imagen es justo después de cerrar S2, y la segunda es cuando se ha estabilizado





Se ve como al principio se ilumina mucho más el conjunto L1-L3, y como al final ambas iluminaciones se parecen, aunque es claramente mayor en L1-L3 que en L5 o L6. Lo visto coincide con lo planteado.

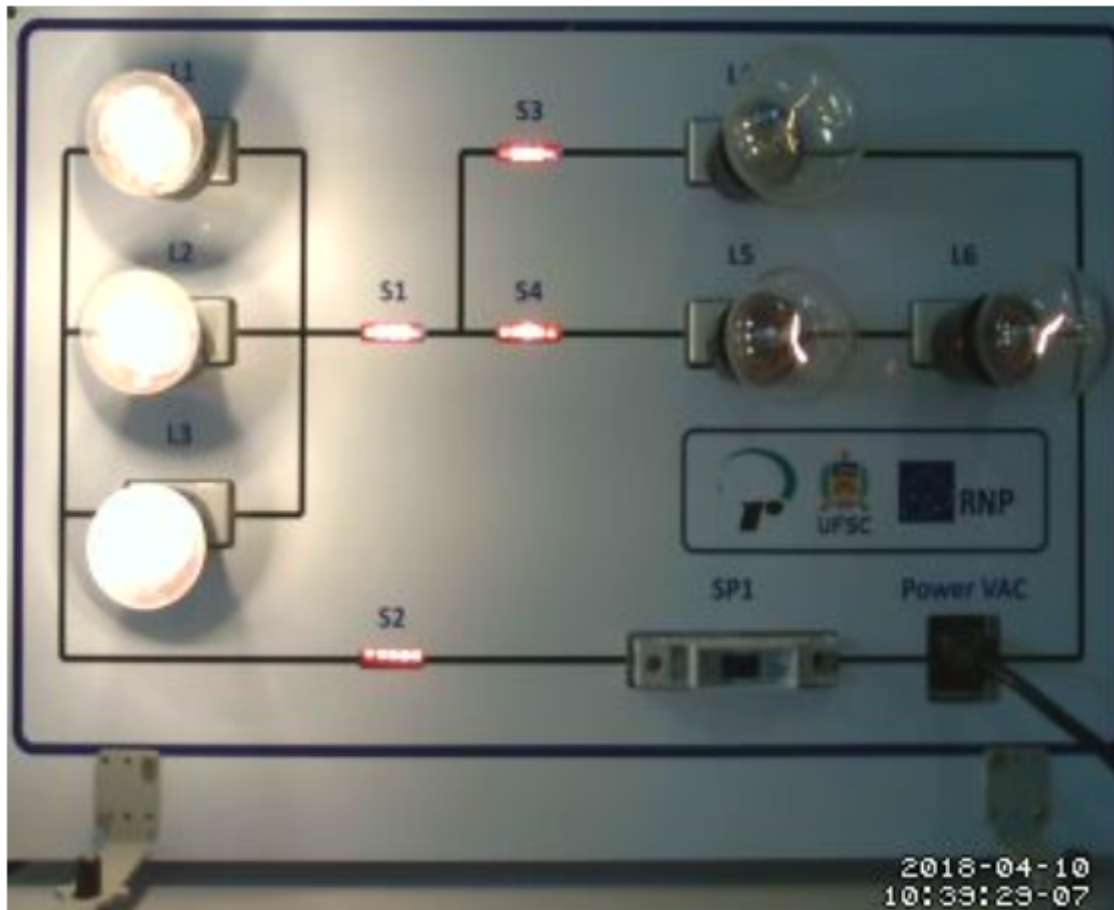
Hay dos conclusiones:

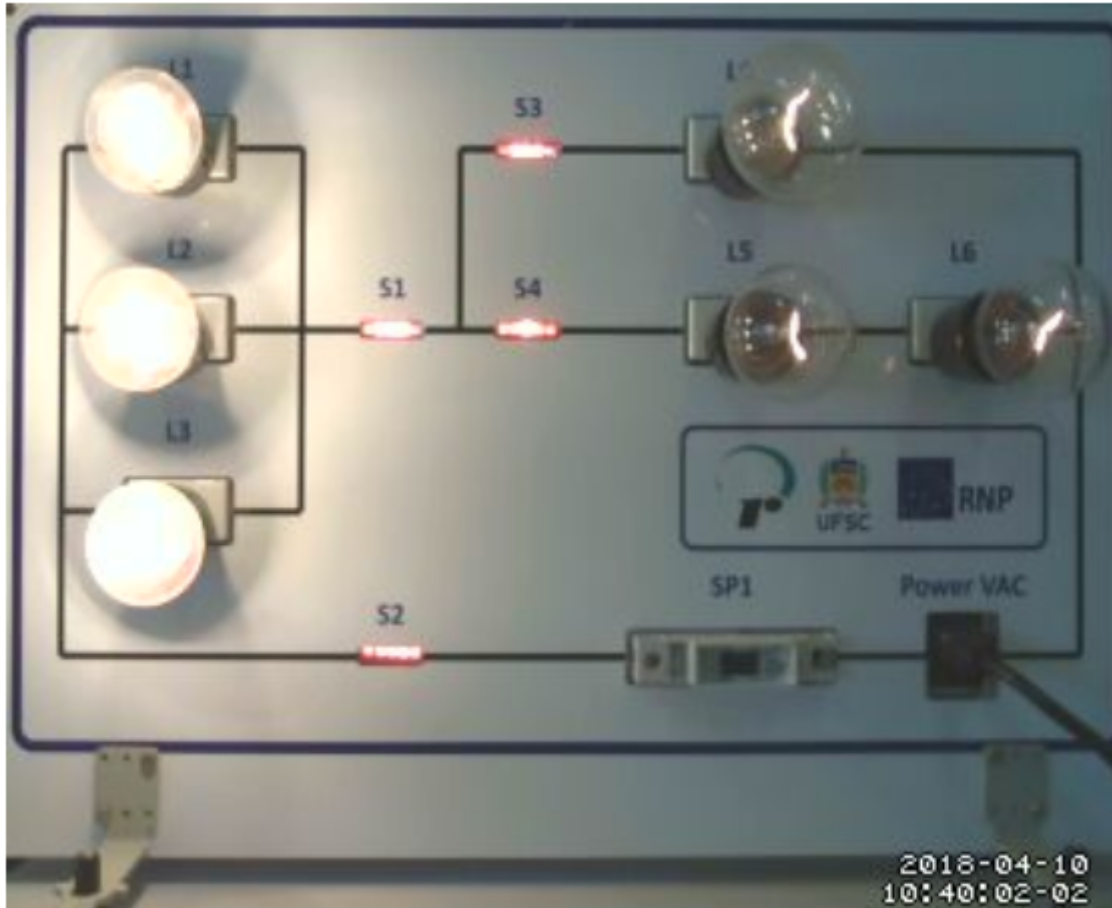
- El comportamiento tiene dos partes: una transitoria al principio y una estacionaria al final. El sistema se autorregula solo mediante el proceso (sube temperatura-luz)-(sube resistencia)-(baja intensidad)-(baja temperatura-luz), este proceso se da a distinta velocidad en L1-L3 que en L5-L6, más desatado en el primero que en el segundo.
- Las bombillas se iluminan más cuanto más cerca está la potencia disipada de la potencia nominal, ya que están diseñadas para brillar al máximo (alcanzando la máxima temperatura) cuando $V \cdot I$ es igual a 15 W o a 60 W.
- Veamos con algo más de detalle la situación anterior para L1 y L5. Al arranque, L1 tiene una resistencia 4 veces mayor que la de L5, la

intensidad en L1 es un tercio de la recibida por L5. Parece que ambas potencias, P_{L1} y P_{L5} , son similares (mayor incluso P_{L5} que P_{L1}) ya que $P = I^2 \cdot R$ y por tanto, al arranque, $P_{L5} = \frac{R_{L1}}{4} \cdot (3 \cdot I_{L1})^2 = \frac{9}{4} \cdot P_{L1}$. Sin embargo L1 brilla más que L5 ya que está más cerca del 15 W nominales, consigue una mayor temperatura antes ya que el máximo se alcanza con 15 W, y no con 60 W como L5.

En cualquier caso ambas bombillas lucen, más L1-L3 que L5-L6, pero ambos juegos de bombillas lucen.

Cabe ahora pensar qué pasará si cerramos el relé S3 entrando en paralelo con L5-L6 la bombilla L4. En vez de explicarlo antes, vamos a probar directamente y luego explicarlo. La primera imagen es justo después de cerrar S3 y luego va la imagen cuando el comportamiento se estabiliza.





¿Qué ha pasado? Que las bombillas L1-L3 sigan brillando mucho no nos extraña, pero sí es raro que en el par L5-L6 haya mucha menos luz ¿por qué?

La bombilla L4 es de 60 W para 220 V, por tanto su resistencia asociada es unas tres veces la de L5-L6. No solo hay que comparar la potencia (ambas son de 60 W), sino que también es importante la tensión nominal, 127 V y 220 V. Simplemente cabe decir que R de L4 es tres veces mayor que R de L5.

Bien, en la situación previa L1-L3 brillaba más que L5-L6. En este momento se añade L4 en paralelo a L5-L6 lo que necesariamente aumenta la demanda de intensidad total a la fuente, ya que la resistencia total de L4 con L5-L6 ha disminuido respecto a L4, pero la resistencia L1-L3 se mantiene. Es decir, como hay más intensidad y L1-L3 son las mismas, entonces la luz aumenta en ellas, y con ella la temperatura y la resistencia de cada una de las bombillas L1-L3.

Este aumento brusco de corriente incrementa la caída de tensión en L1-L3 y por tanto disminuye la correspondiente a L4 con L5-L6 (la alimentación se mantiene en 220 V), lo que conlleva menos luz y menos temperatura (la corriente no ha

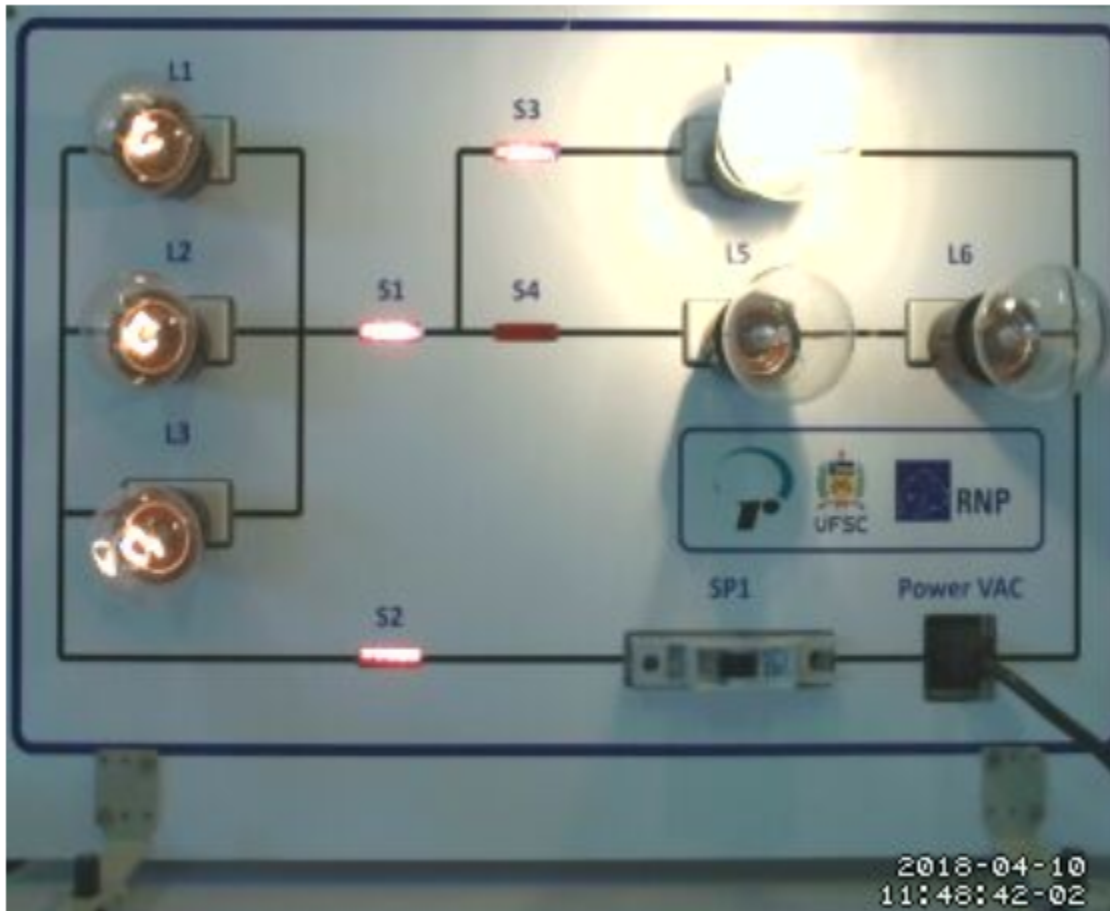
cambiado mucho en la rama L5-L6 original), y por tanto menos resistencia. La situación se decanta rápidamente hacia L1-L3, lo que perjudica a L4 y L5-L6. Es verdad que esa disminución de la resistencia hace que aumente más todavía la luz en L1-L3, y con ella aumenta la resistencia, hasta compensar la disminución de las otras bombillas. Es decir el proceso se estabiliza: pasa por un estado transitorio con mucha luz en L1-L3 para luego bajar un poco hasta estabilizarse.

El relato anterior es similar a un juego de suma cero: lo que gana uno, ha de perderlo el otro. Este concepto permite entender porque el sistema se comporta de forma no lineal, es una especie de combinación explosiva.

Un pequeño cambio ha traído un gran cambio en el rendimiento. Ahora las bombillas L1-L3 se iluminan mucho, y seguramente estén por encima de su potencia nominal, tal y como se verá más adelante en la simulación.

¿Qué pasará ahora si abrimos S4 y por tanto el circuito está formado por L1-L3 y L4? Para empezar las resistencias de L1-L3 son similares a la de L4 (la de L4 es algo menor que la de L1-L3, un 25% menor), así ante el cambio brusco de corriente a la baja (se elimina una rama del paralelo, luego sube la resistencia total) resulta que ahora la L4 se va a beneficiar. Por L4 va la corriente total y por L1 va un tercio de la total, es decir, la caída de tensión en L4 es el triple (más o menos) de la ocurrida en L1, por tanto sube la temperatura con rapidez en L4, etc., etc., y por tanto, el juego acaba ganándolo L4.

La imagen muestra el comportamiento estable del circuito tras abrir S4.



Sería interesante ahora el poder cuantificar los procesos anteriores para conocer en detalle la evolución de lo transitorio (al cambiar el relé) hasta lo estacionario.

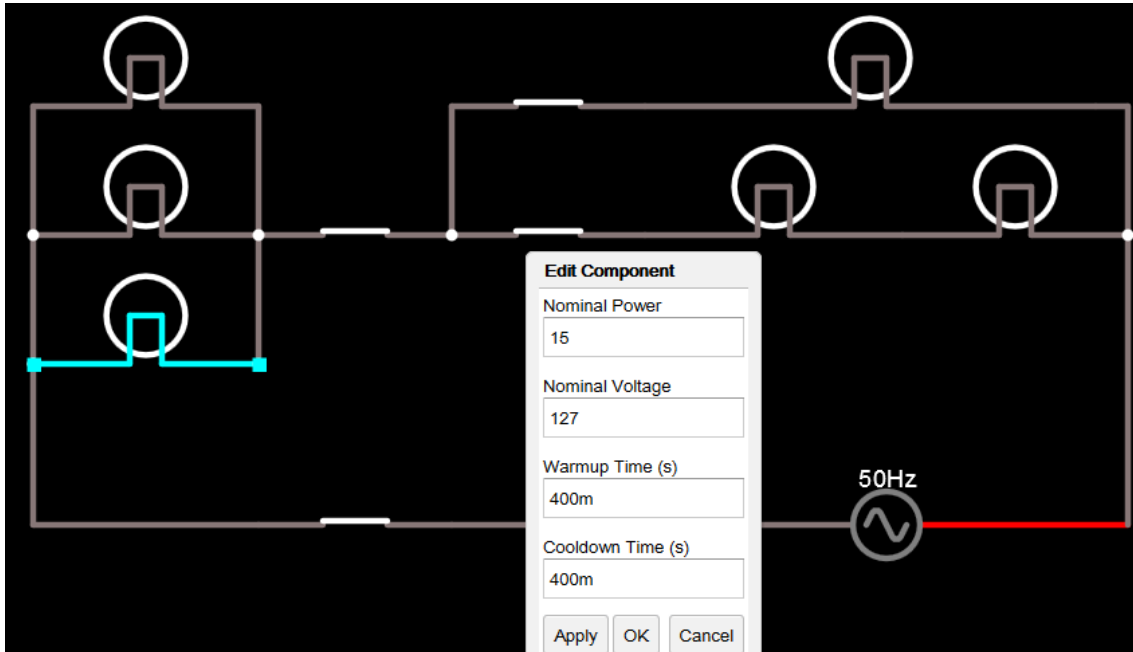
Conocemos los datos de las bombillas y los de la alimentación, pero no tenemos los datos de tensión e intensidad en cada bombilla. Sin embargo, contamos con los simuladores.

Un simulador nos permite modificar con libertad el circuito y observar los efectos en detalle. Abordar lo mismo matemáticamente podría resultar arduo y no sería necesariamente clarificador.

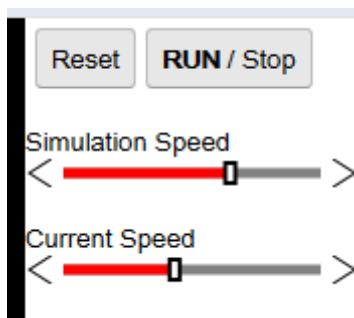
5.2 Experimentos con el simulador Falstad

Falstad es un simulador web (accesible vía web y sin exigencia de descargar nada) que permite crear y simular circuitos básicos de continua y alterna (y digitales) incluyendo todo tipo de dispositivos. Es un simulador popular, sencillo y potente. Destaca que el usuario puede leer datos con facilidad e incluir gráficas. Todo ello está pensado para ser visto en una página.

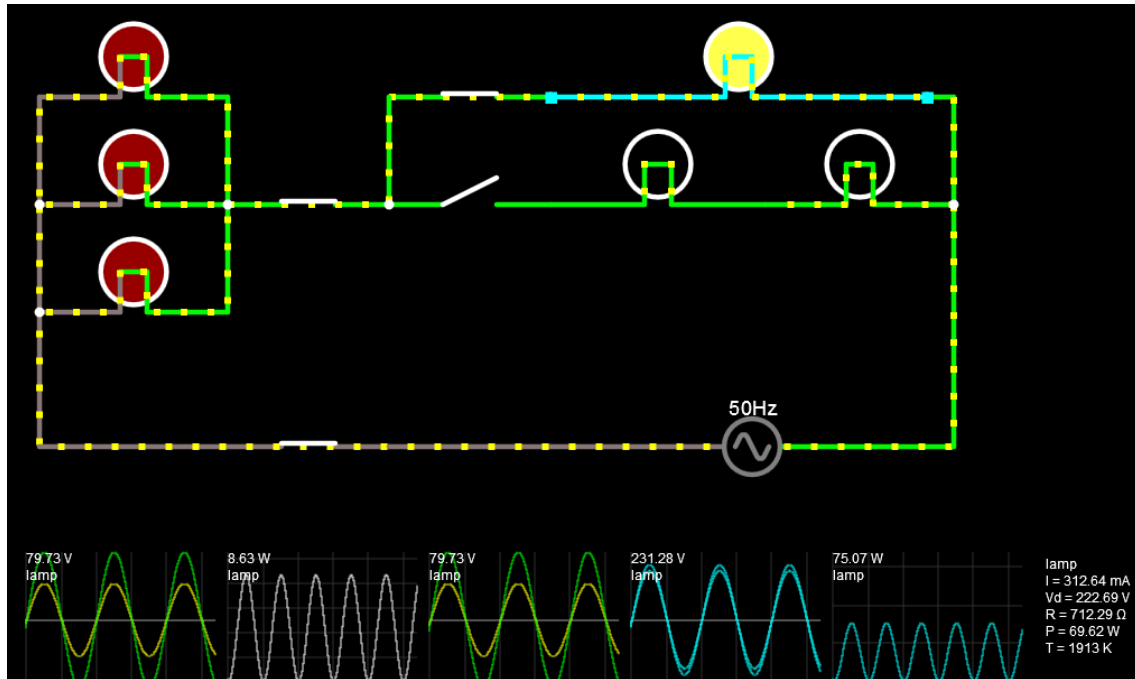
La imagen muestra el circuito creado en Falstad (<http://tinyurl.com/ya4bnpsz>) y el interface para modificar el comportamiento de la lámpara, incluyendo el tiempo de calentamiento y enfriamiento de la bombilla.



Además en la esquina superior derecha Falstad ofrece parámetros para controlar la simulación y su velocidad, y también la velocidad de la corriente. En este circuito “Simulation speed” es muy relevante ya que nos permite controlar la velocidad a la que se producen los cambios y así poder observar en detalle la evolución de lo transitorio a lo estacionario, de más a menos luz y de más temperatura a menos.



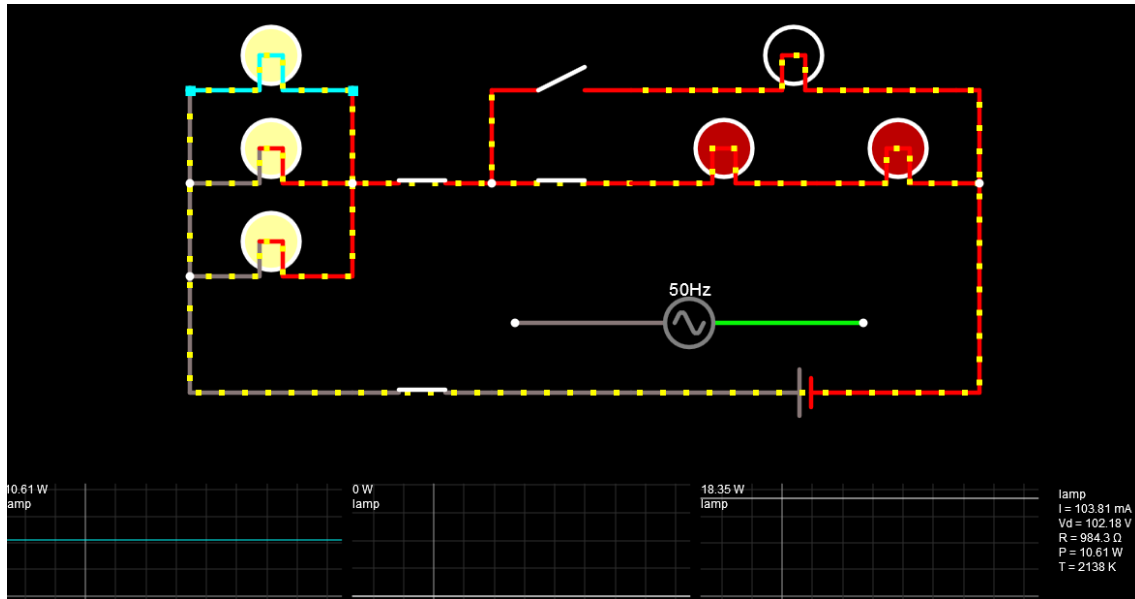
En la siguiente figura se ve el estado estacionario del circuito. Al poner el ratón sobre L4 se ve en la esquina inferior derecha los datos, por ejemplo se ve que está a 1913° K y la resistencia es de 712 Ω.



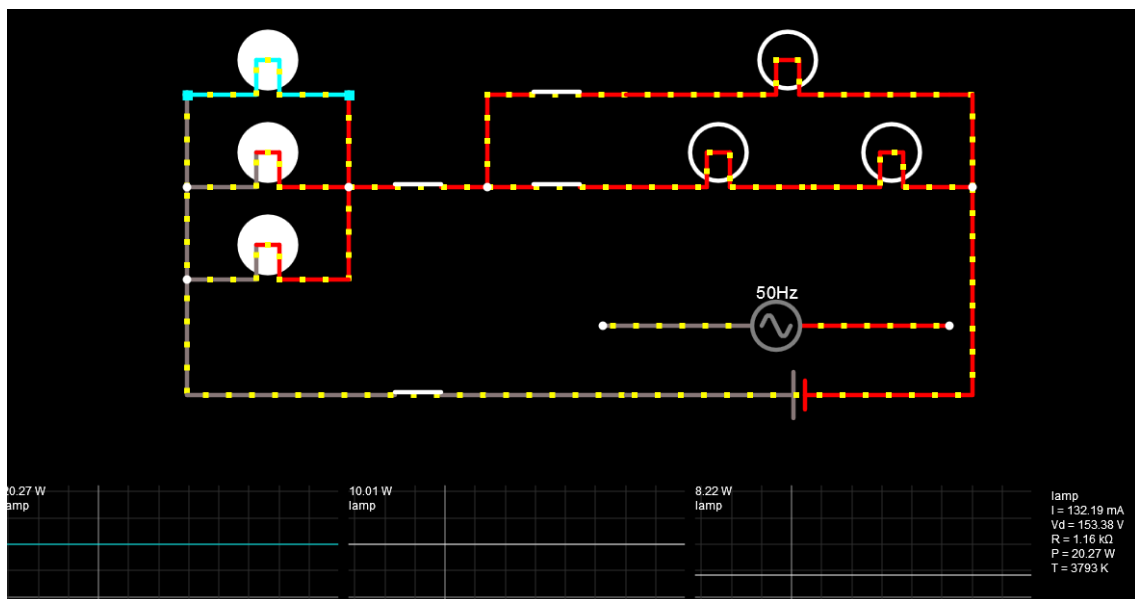
Ahora podemos probar las distintas opciones del laboratorio remoto, abriendo y cerrando relés (switches). Se ve cómo va cambiando el color de la bombilla del rojo al blanco (de menos a más luz) y cómo va subiendo o bajando la tensión, intensidad y potencia (utilizando las opciones de las gráficas con el botón derecho).

Una recomendación y comodidad de Falstad es que en vez de usar una fuente de alterna podemos usar una fuente de continua de mismo valor eficaz, de 220 V. De esta manera las gráficas y los datos son más fáciles de ver en pantalla.

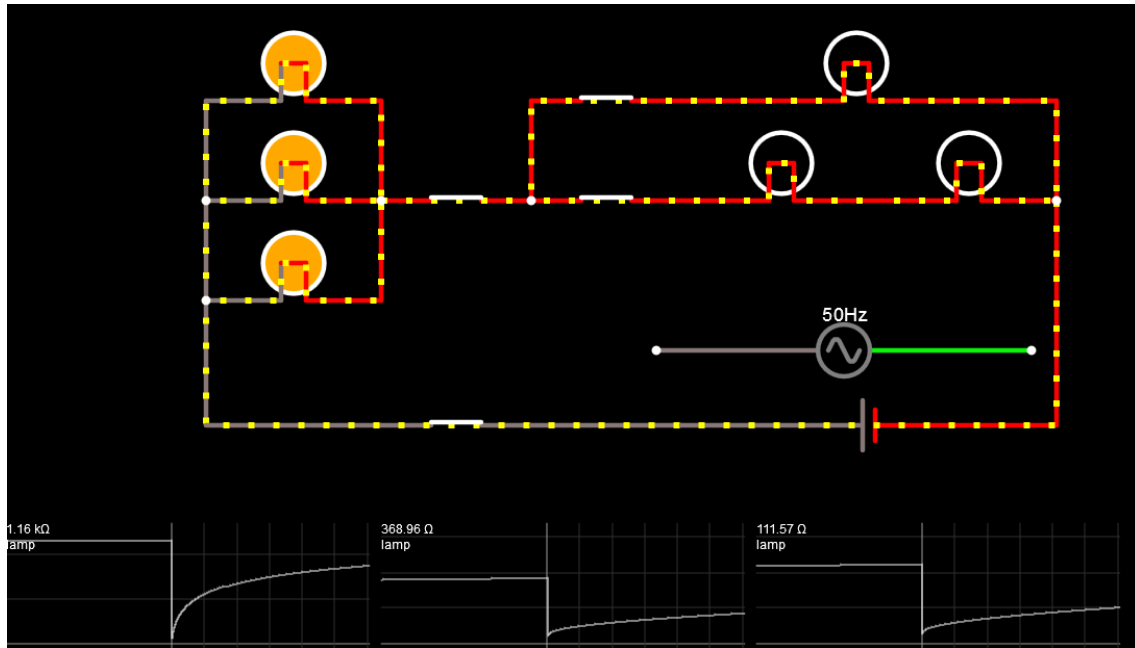
La imagen siguiente muestra el comportamiento de uno de los circuitos. Las gráficas muestran la potencia consumida por cada bombilla (se ve que L1 consume menos potencia que L5, pero se ilumina más). Cabe resaltar que la fuente ahora es de continua. La gráfica en azul se corresponde con la bombilla en azul, al mover el ratón sobre cada bombilla se ve el comportamiento de la misma en la gráfica correspondiente.



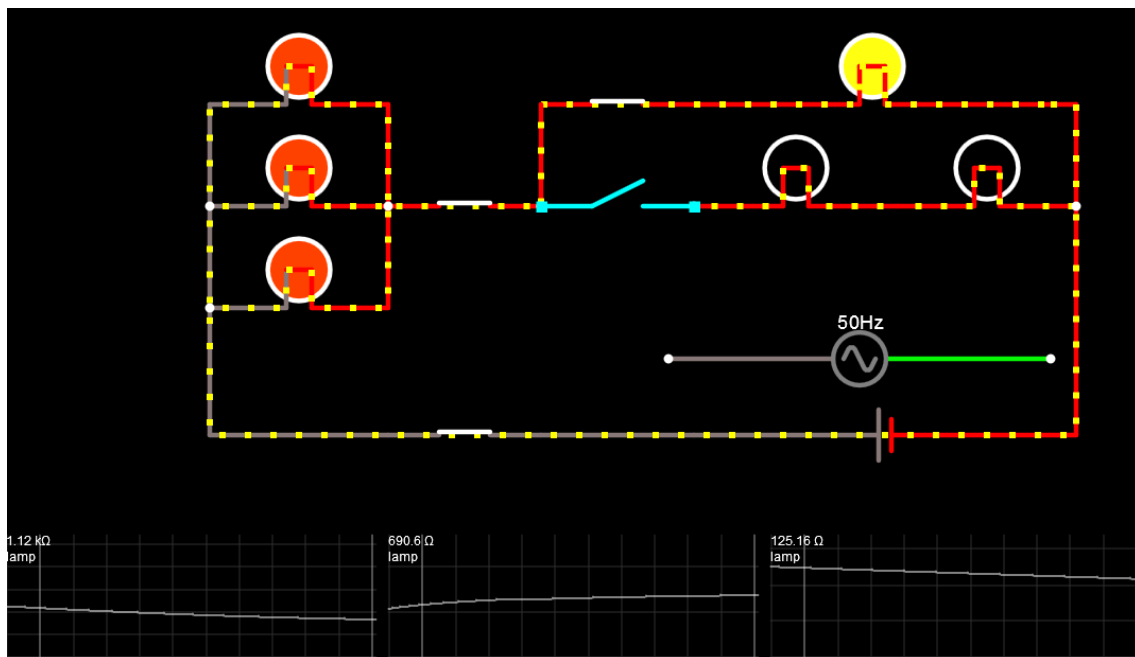
La siguiente gráfica muestra el comportamiento del circuito al completo.



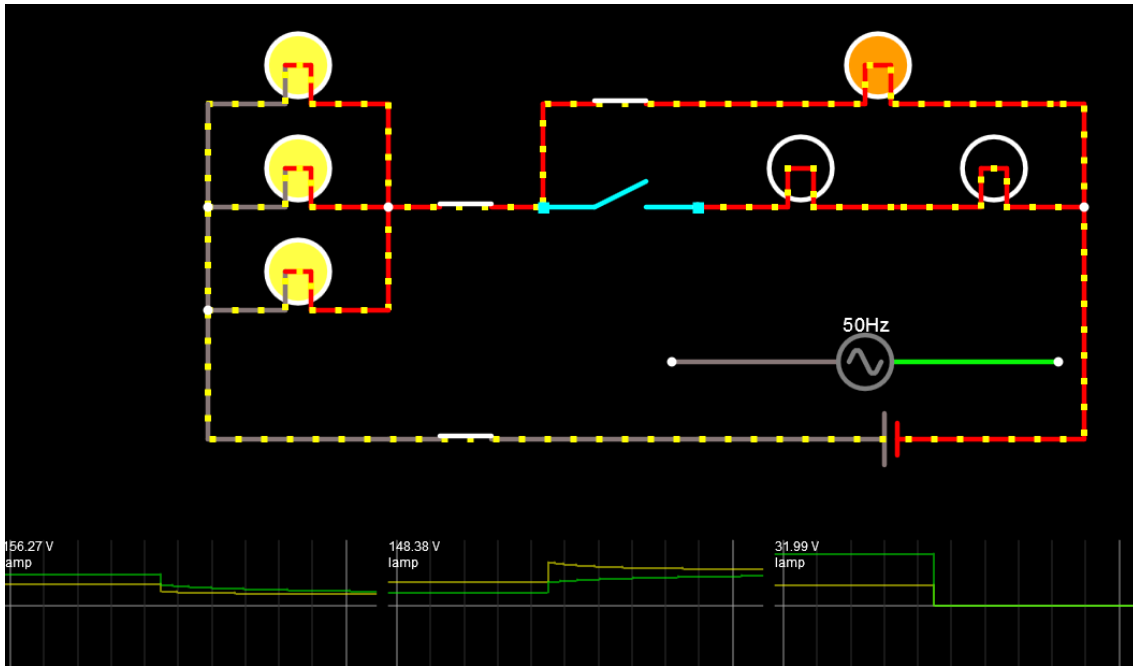
También se puede ver la evolución de la resistencia en cada tipo de bombilla al conectar un circuito.



Y en la siguiente se ve el efecto de abrir S4. Se ve que la resistencia de L1 baja y mientras la de L4 sube, tal y como se ha explicado antes.

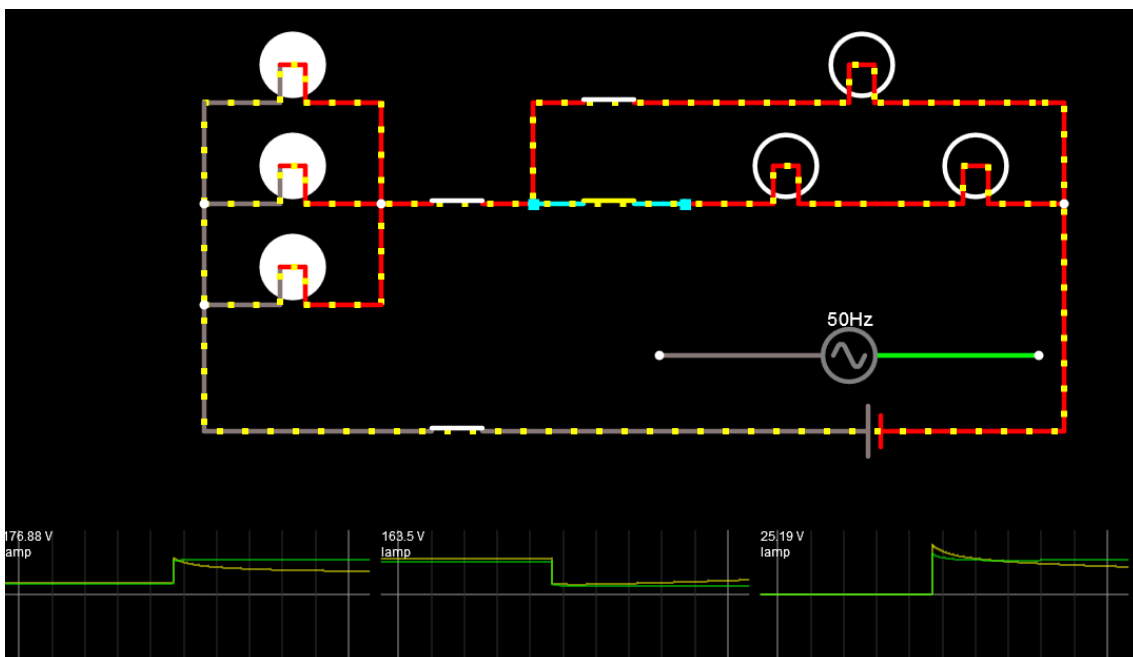


En la siguiente imagen se ve la misma situación anterior pero graficando la tensión y la intensidad.



Se ve que al abrir S4 cae drásticamente la corriente en L1 (y el voltaje) y al mismo tiempo sube la intensidad en L4. El comportamiento en L1 se mantiene, mientras que en L4 se da algo curioso: la intensidad empieza a bajar pero la tensión no lo hace, es más, sube, ¿por qué? Pues porque la resistencia está subiendo con la temperatura en mayor medida que la I baja y así $V=I \cdot R$ aumenta.

Al volver a cerrar S4 se obtiene la siguiente figura.



Lo que se observa en detalle es:

- En L1 sube la I de golpe y luego baja, pero la V no lo hace porque la resistencia ha subido.
- En L5 (última gráfica) pasa algo similar. Al “entrar” L5-L6 en el circuito la corriente sube para luego bajar suavemente sin perder casi caída de tensión.
- En L4 pasa algo más curioso. Su corriente baja drásticamente, y con ella su tensión, pero luego sube la intensidad de nuevo ¿por qué? Pues porque al ir enfriándose y bajar su resistencia, entonces la corriente circula en mayor cantidad por ella. Sin embargo esta subida debe ser vista en términos relativos, ya que en la diferencia es muy grande en términos absolutos con L4.

Para terminar se puede cambiar la descripción de cada bombilla. Por ejemplo haciendo que todas sean de 220 V y 60 W, o 15 W. O cambiando la topología del circuito.

6 Conclusiones

Este experimento ha tenido un objetivo específico claro: aprender de montajes serie-paralelo alimentados con corriente alterna. Pero las bombillas y la corriente alterna han sido también la excusa para trabajar con sistemas no lineales, un objetivo más conceptual.

En primer lugar al principio del experimento había dos preguntas ¿cómo se conectan los equipos en casa? ¿cómo se conectan las luces en un árbol de Navidad?

En las casas, las bombillas, la lavadora, la TV, etc. están conectadas en paralelo, así todos estos dispositivos dispondrán de la potencia necesaria, y ninguno de ellos dependerá de los otros. Incluso si una bombilla se rompe, el resto de las bombillas seguirá funcionando. El único problema es que cuantos más electrodomésticos estén conectados, mayor será la factura de consumo eléctrico, o incluso puede que salte el fusible general por superar la potencia total contratada con la empresa distribuidora de electricidad de nuestra ciudad.

Sin embargo si compramos un juego de luces de Navidad con 100 bombillas, ¿por qué están en serie? Al estar en serie, si se rompe una bombilla no se encenderá ninguna, luego ¿dónde está la ventaja? Pues hay que imaginar cómo sería el mazo de cables si la conexión fuera en paralelo, ¡¡serían más de 200 cables largos!! ¿o hay otra explicación?

En cuanto a los sistemas no lineales, las conclusiones son más conceptuales. En general todos tenemos tendencia a pensar que los fenómenos físicos tienen un comportamiento lineal, así a un pequeño incremento de la resistencia debería corresponderle un pequeño incremento de tensión, y así lo enunció Ohm. Pero hemos visto cómo la temperatura cambia la resistencia de una bombilla de forma lineal, pero el conjunto se comporta de forma no lineal, es muy brusco en sus cambios. No hay mucho más que decir, simplemente que hay procesos físicos similares al explicado aquí, y que hay que estar preparado.

Por ejemplo, la balanza tiene dos platos, si en cada uno de ellos ponemos 100 lentejas entonces la balanza estará equilibrada (cada lenteja pesa lo mismo), pero ¿qué pasará si añadimos una sola lenteja más a uno de los platos? En este caso la balanza se desequilibrará totalmente (y no solo un 1%: una lenteja más de 100), y no volverá a su posición original excepto si ponemos otra lenteja en el segundo plato. ¿Es lineal el comportamiento? ¿es brusco? ¿cómo es el equilibrio de la imagen? ¿estable o inestable?



Por ejemplo, la Bolsa tiene un comportamiento similar: la acción de una empresa suele tener un valor estable, pero si sufriera una bajada brusca por algo objetivo (o no, simplemente un bulo), puede que esa bajada conllevará otra mayor, y así sucesivamente. La empresa entraría en un proceso descontrolado: todo el mundo querría vender para minimizar las pérdidas. Al final, una vez que la acción hubiera bajado mucho, puede que la gente volviera a comprar esas acciones (están muuuy baratas), y por lo tanto se provocaría un aumento de valor, es decir, se autorregularía; o no y la empresa desaparecería. En nuestras bombillas, el sistema se autorregulaba, pero en economía no tiene porqué ser así.



7 Bonus track: Experimento adicional

En este caso el bonus track es trabajo para el lector:

- ¿Puedes encontrar otra situación de la vida diaria (no científica) que tenga un comportamiento no lineal muy brusco y con tendencia descontrolada?
- ¿Puedes encontrar una situación similar en el campo científico/tecnológico? Piensa en lince y conejos.
- Usando Falstad ¿puedes diseñar un experimento que no siendo tan realista (no con bombillas comerciales) sea más contundente en los resultados?