ON4CRD

Tomo 05

El cálculo de los filtros



Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Aviso legal

Tomo 05 · El cálculo de los filtros

Editor del sitio web : Radio Club Durnal ON4CRD

Responsable de publicaciones : Comité del Radio Club Durnal ON4CRD

https://on4crd.be

Aviso legal

Propiedad intelectual

Los textos, imágenes, documentos, logotipos y materiales publicados en el sitio son propiedad de sus respectivos autores o del club. Cualquier reproducción o reutilización debe respetar la fuente, los derechos aplicables y cualquier permiso del autor.

Responsabilidad

El club trabaja para publicar información útil y contrastada, pero no garantiza la ausencia de errores, omisiones o interrupciones. La información técnica o regulatoria debe cotejarse con fuentes oficiales cuando respalda una decisión.

Ilustraciones creadas con ayuda de inteligencia artificial.

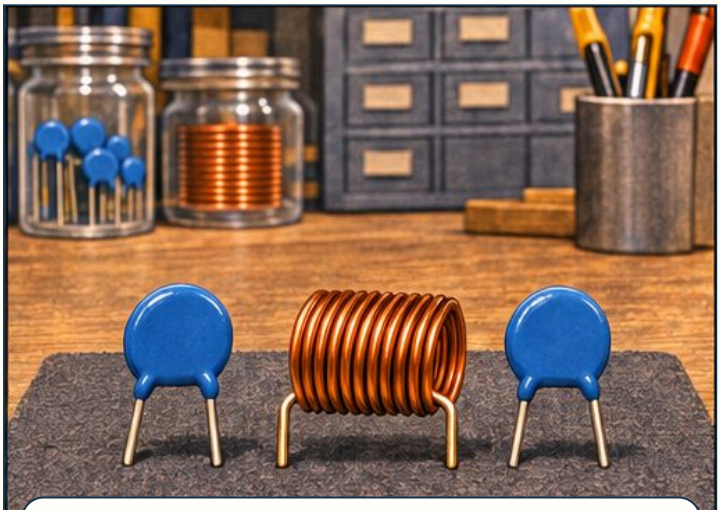
Una nueva misión



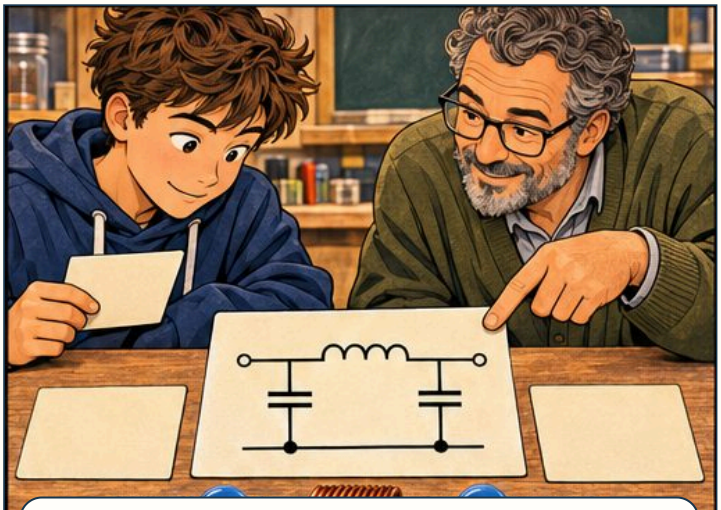
En el club, Lucas recupera su cuaderno tras el taller de electricidad.



Henri prepara una demostración sobre la calidad de las señales.



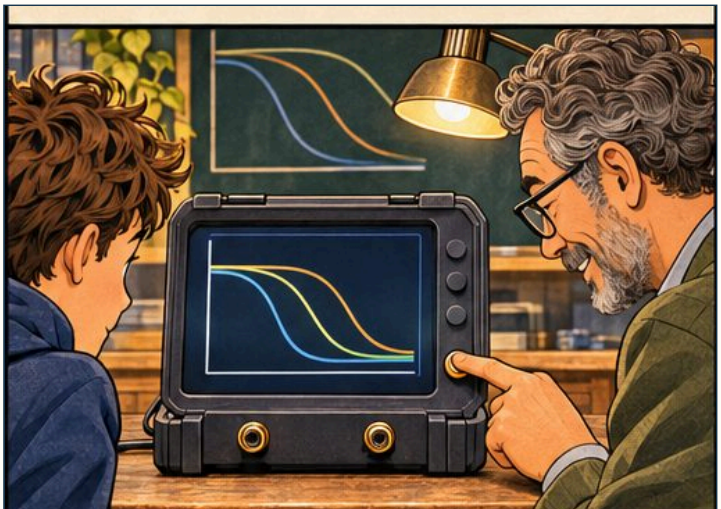
En la mesa esperan dos condensadores y una bobina.



El reto: comprender, calcular y medir un filtro paso bajo.

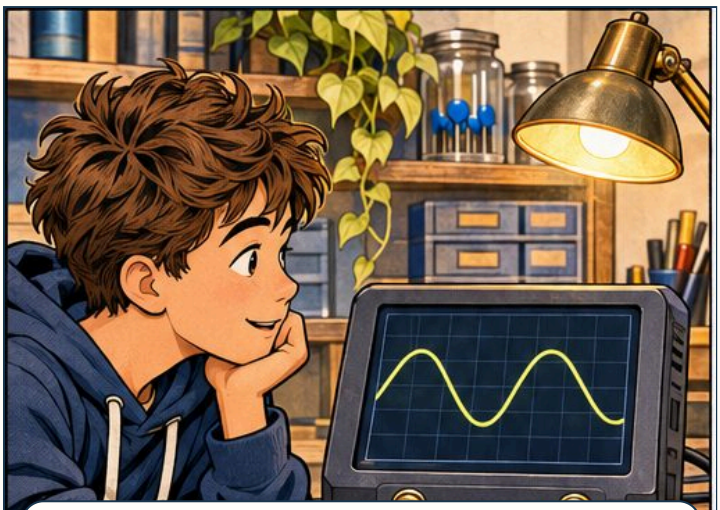


El joven quiere saber cómo tres componentes pueden cambiarlo todo.

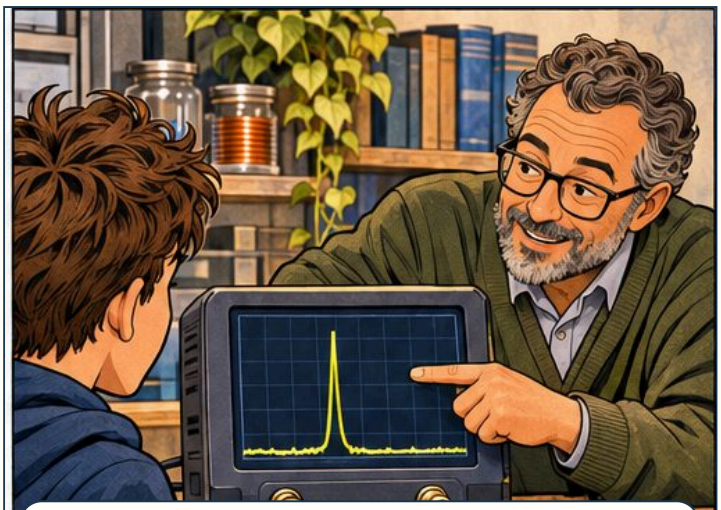


Empiezan observando qué contiene una señal.

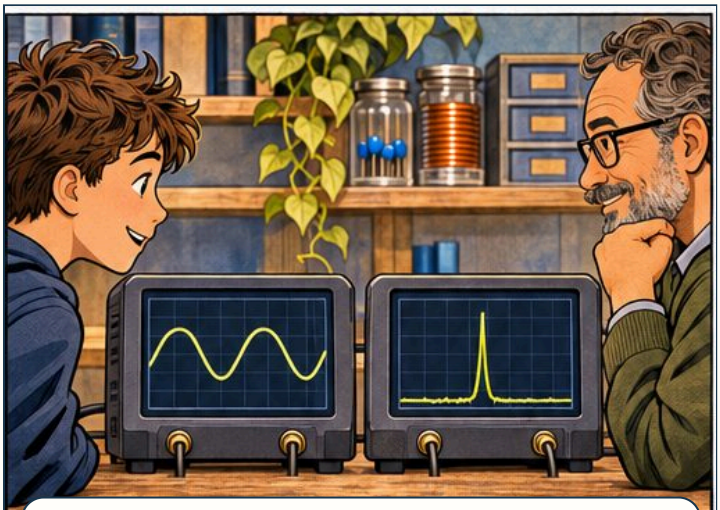
La señal y su retrato



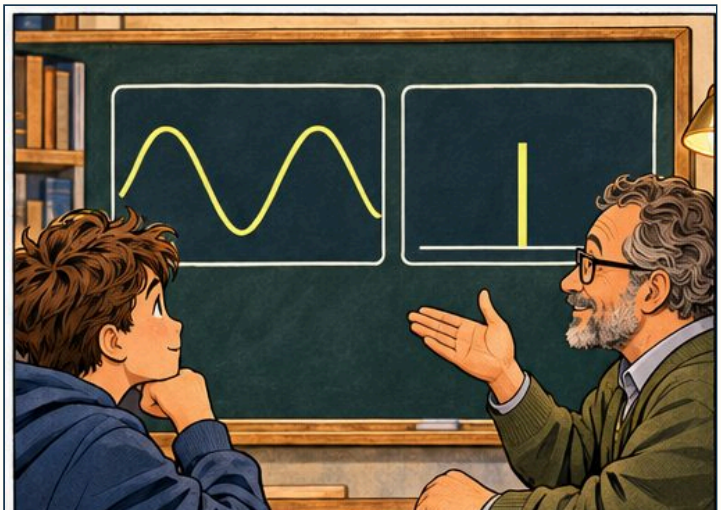
Una curva temporal muestra cómo evoluciona una señal.



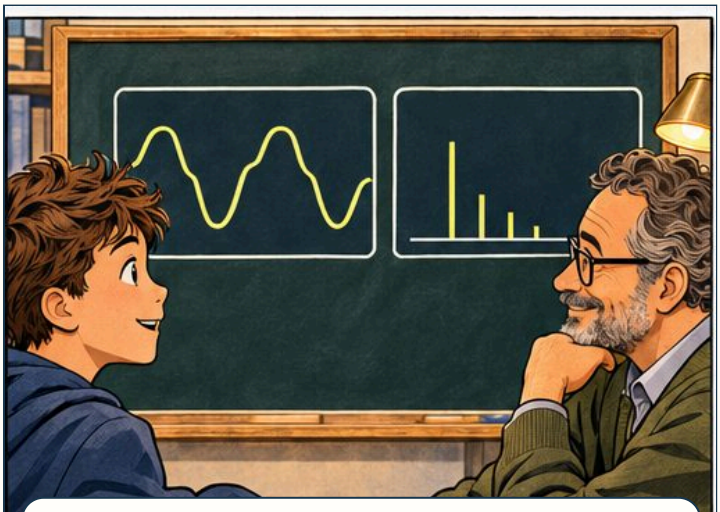
Un espectro presenta sus componentes según su frecuencia.



Ambas vistas describen de distinta forma la misma señal.



Una sinusoide ideal tiene una sola frecuencia.

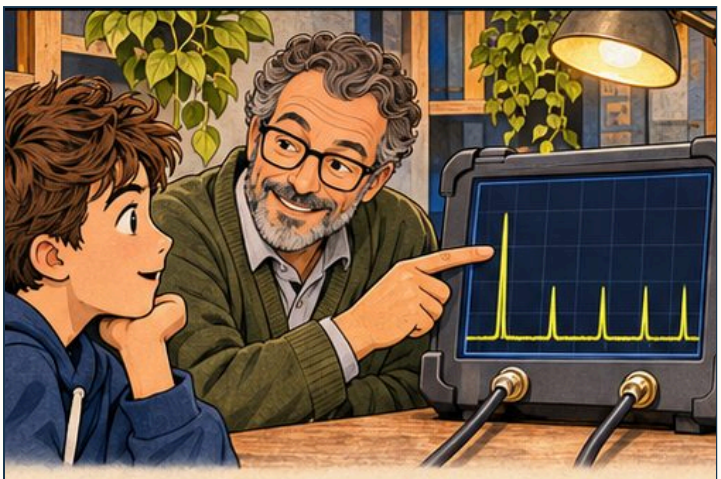


Una forma distorsionada puede contener varios componentes.



El joven descubre un retrato que no sabía leer.

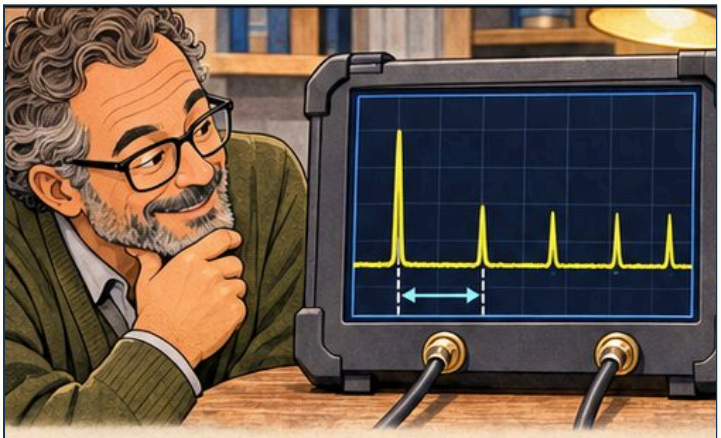
Aparecen los armónicos



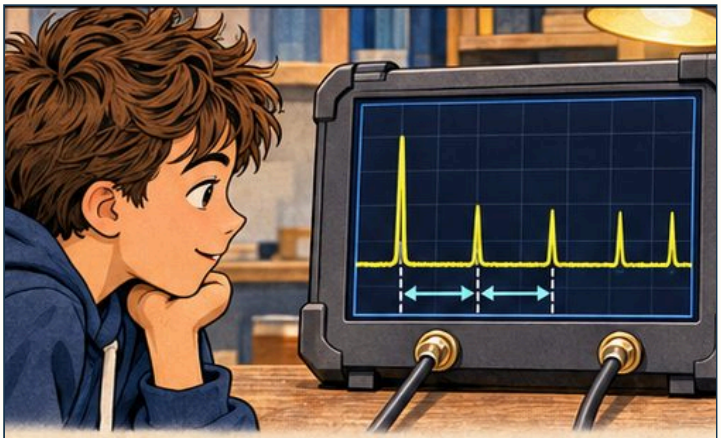
La frecuencia fundamental ofrece la primera referencia de una señal periódica.



Sus armónicos son múltiplos enteros de esa frecuencia.



El segundo está al doble de la fundamental.



El tercero está al triple de esa frecuencia.

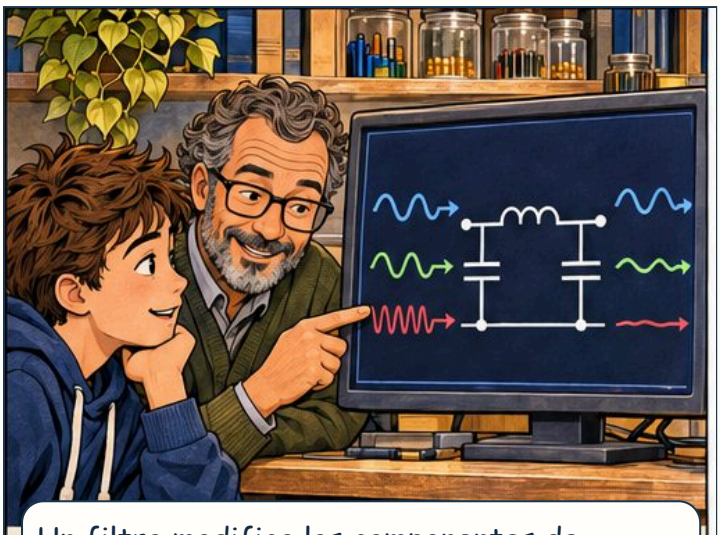


No todos los componentes indeseados son, sin embargo, armónicos.

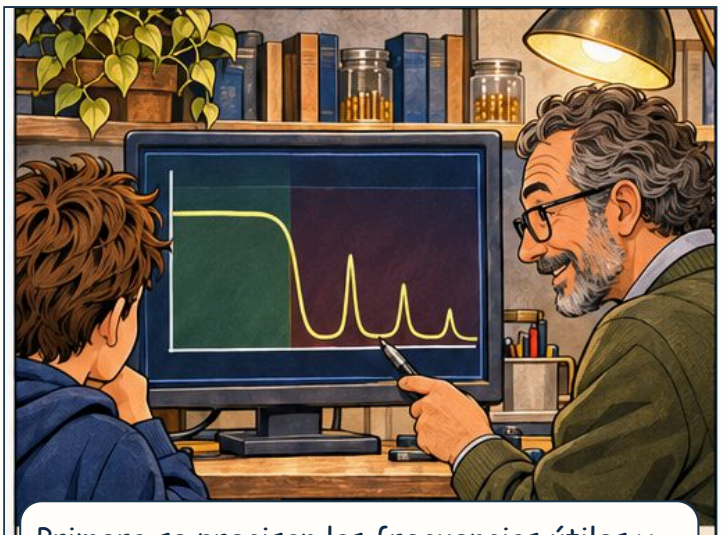


El filtro deberá responder a una necesidad bien definida.

Elegir qué conservar



Un filtro modifica los componentes de distinta forma según su frecuencia.



Primero se precisan las frecuencias útiles y las molestas.



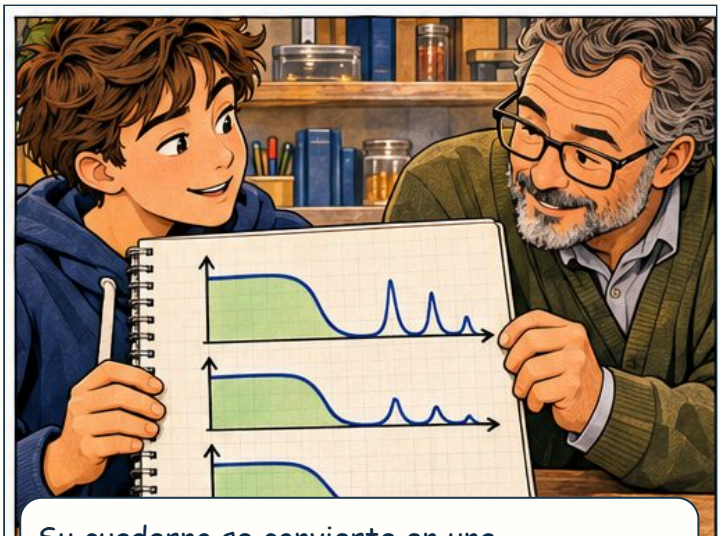
También se fijan las atenuaciones deseadas.



Sin esos objetivos, calcular componentes tendría poco sentido.

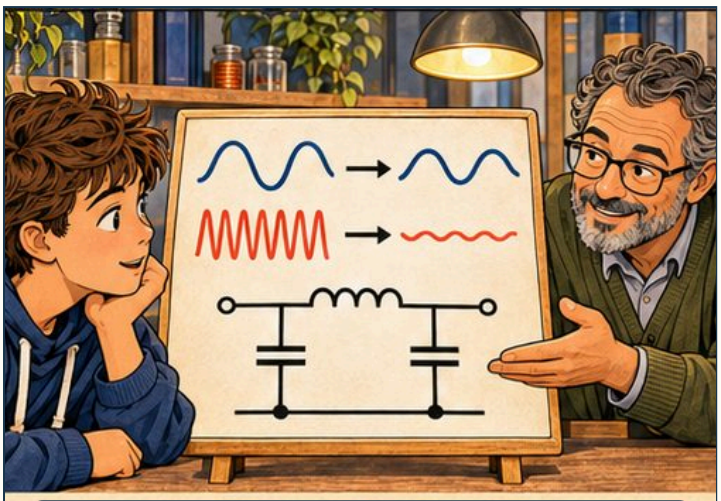


El joven rodea la zona útil de un espectro de ejemplo.



Su cuaderno se convierte en una especificación de diseño.

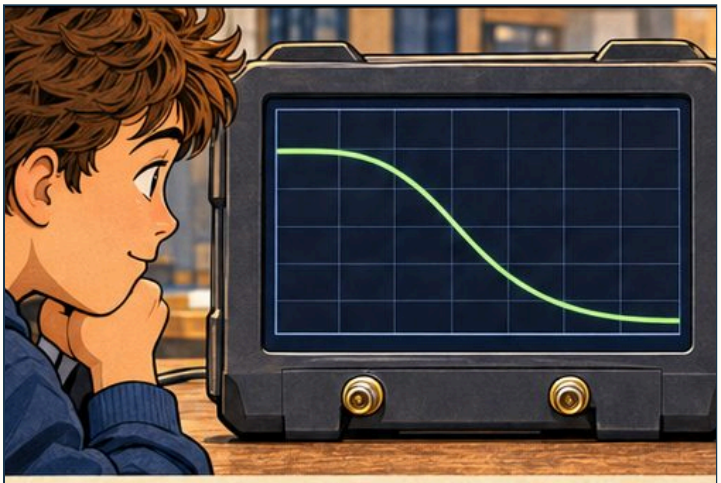
La elección del paso bajo



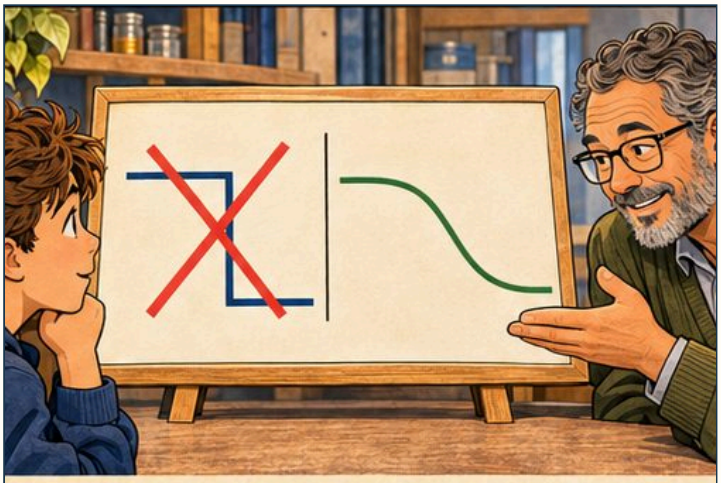
Un paso bajo transmite mejor las frecuencias bajas que las altas.



Su banda pasante ocupa el lado de las bajas frecuencias.



Más arriba, la atenuación aumenta progresivamente.



La transición real nunca es un muro vertical perfecto.



Este tipo sirve para su demostración de hoy.



El joven dibuja una pendiente en vez de una barrera.

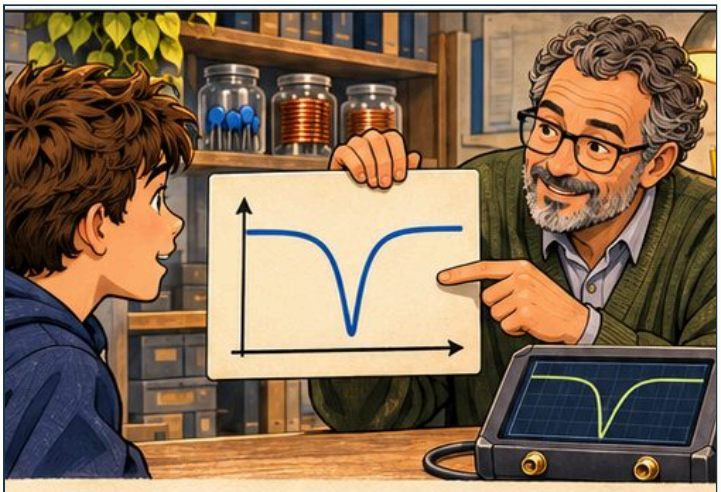
Otros caminos posibles



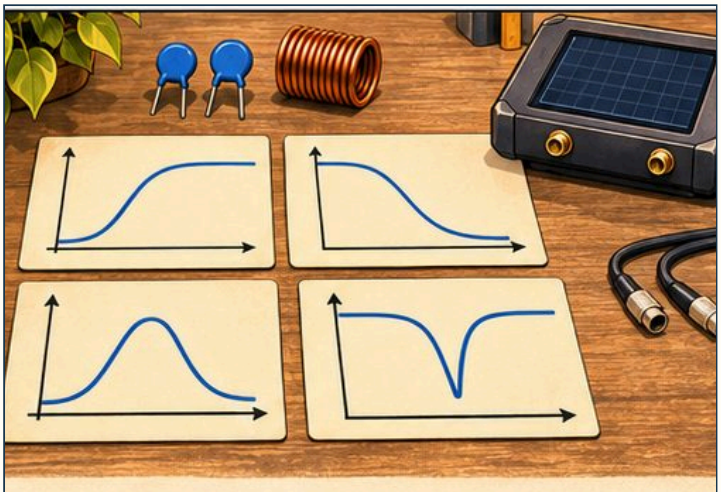
Un paso alto atenúa las bajas frecuencias y conserva las altas.



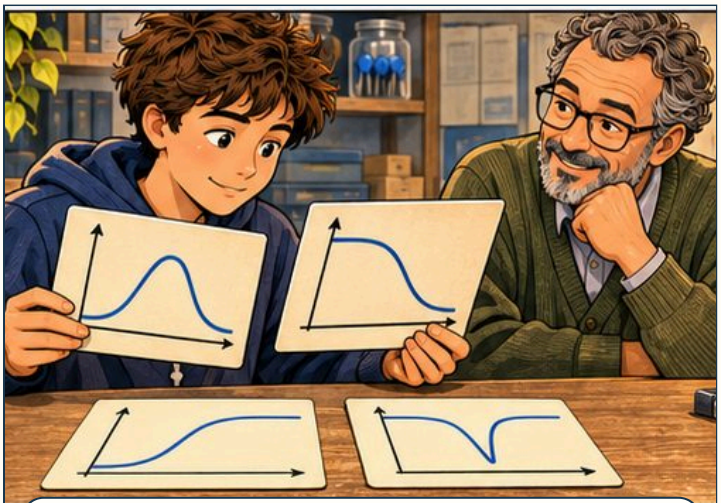
Un paso banda favorece un intervalo entre dos límites.



Un rechazo de banda atenúa, en cambio, un intervalo elegido.



Estas familias responden a necesidades distintas.

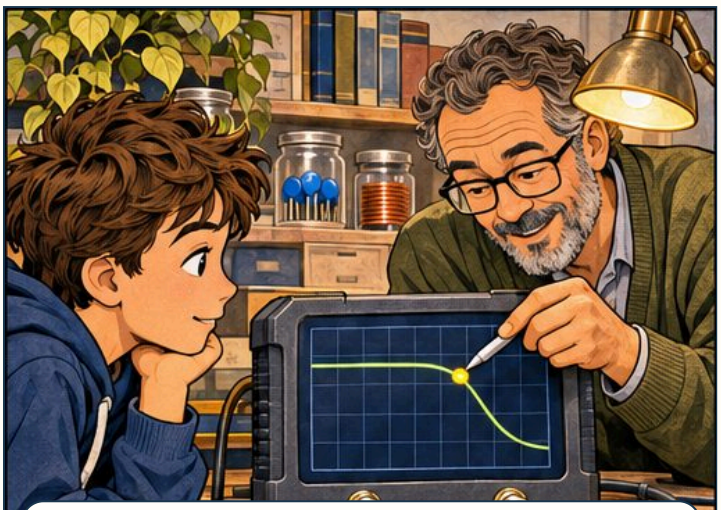


Su nombre describe una respuesta, no una calidad universal.



El joven guarda tres tarjetas para otro taller.

Un corte que deja pasar



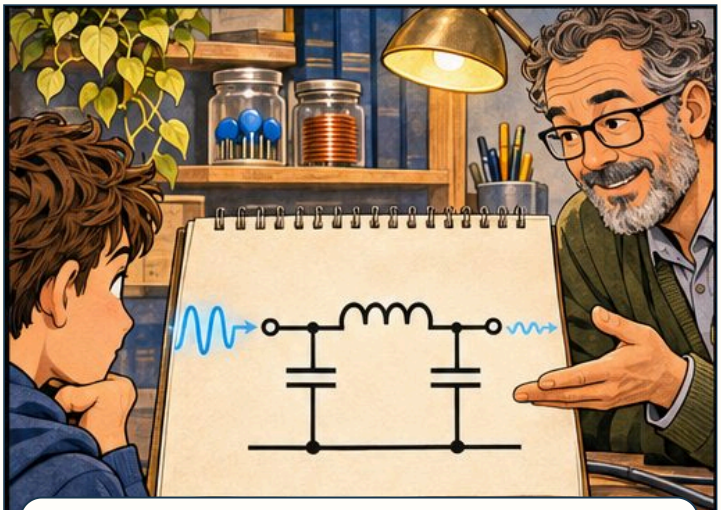
La frecuencia de corte marca aquí un nivel de referencia.



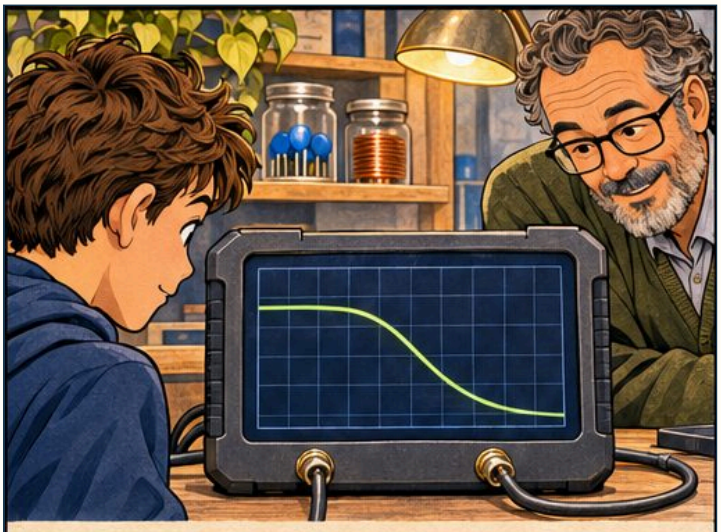
No significa que la señal desaparezca repentinamente.



En su Butterworth ideal corresponderá a unos −3 dB.



El filtro sigue transmitiendo energía a esa frecuencia.



Más allá, la atenuación seguirá aumentando.

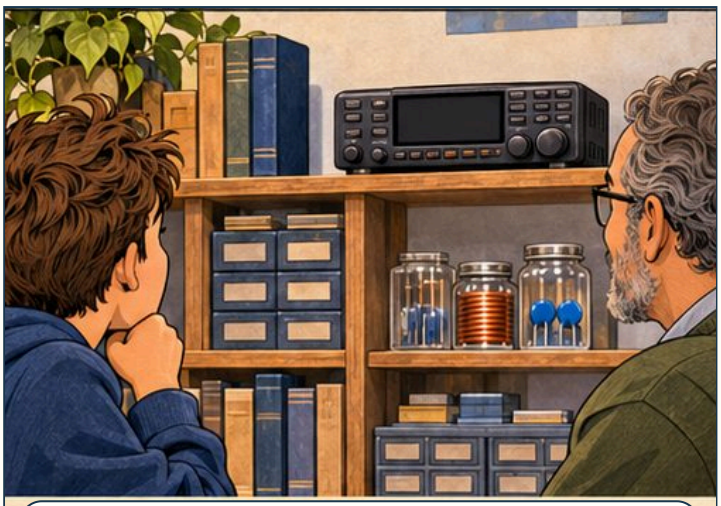


Esta precisión evita una primera idea equivocada.

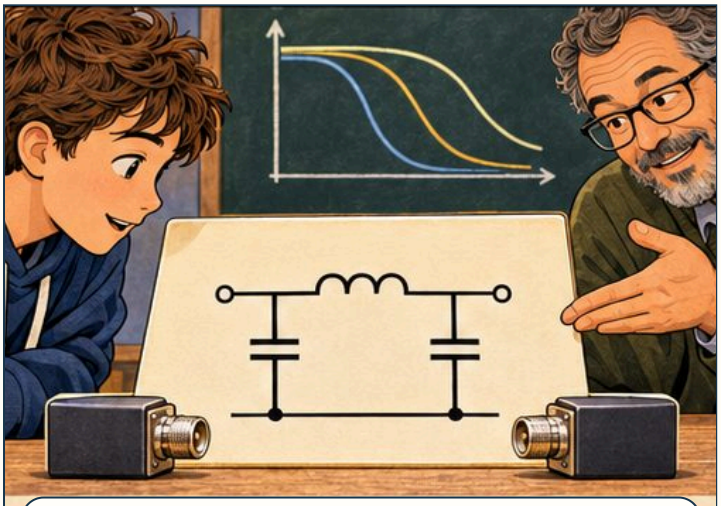
Un ejemplo de laboratorio



Eligen un corte teórico de 10 MHz.



Ese valor didáctico no define una frecuencia de transmisión.



La fuente y la carga de referencia serán de 50 Ω.



Estudiarán el circuito en el banco con una señal pequeña.



No conectarán ninguna antena ni transmisor.

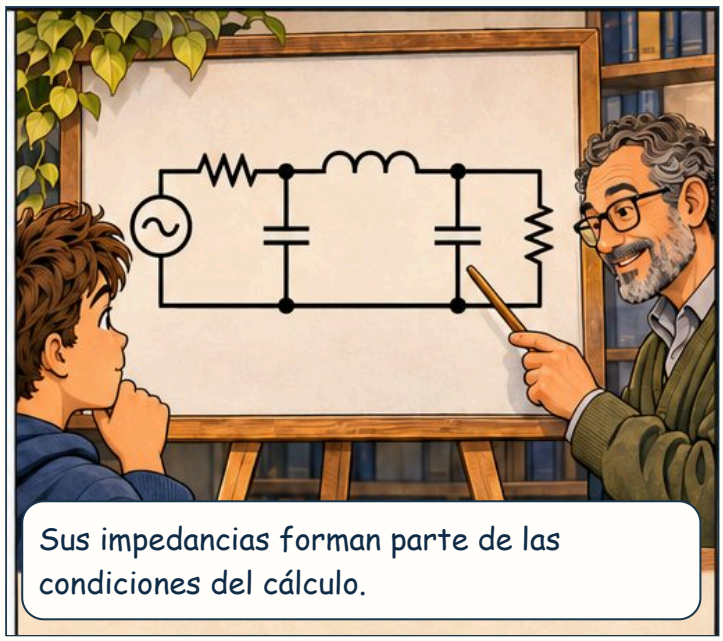


El objetivo es una respuesta medible, no un contacto de radio.

¿Por qué precisar 50 ohmios?



Un filtro trabaja entre una fuente y una carga.



Sus impedancias forman parte de las condiciones del cálculo.



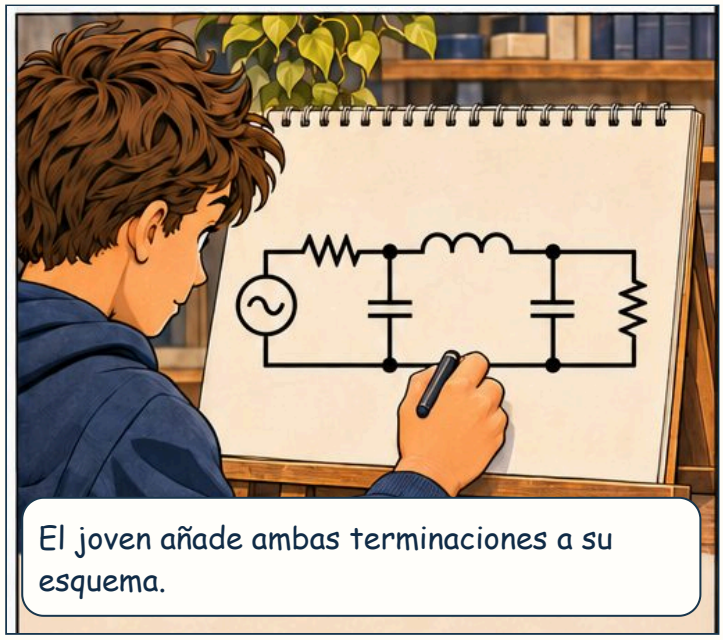
Aquí cada una vale idealmente 50 Ω, puramente resistivos.



Cambiar esas condiciones modifica la respuesta obtenida.

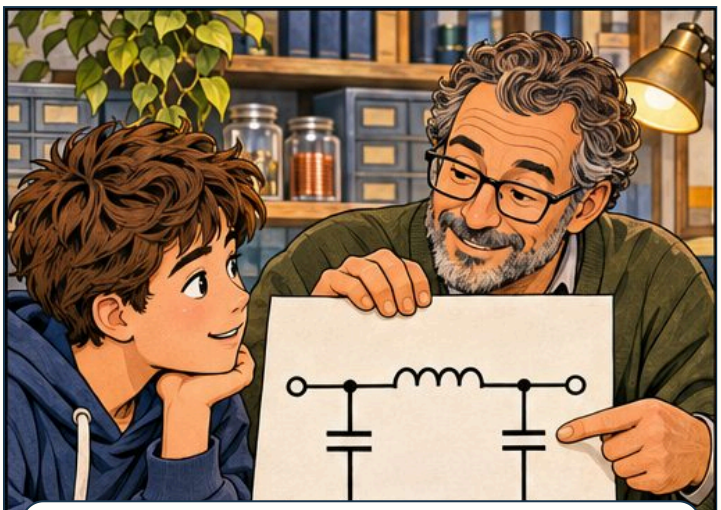


Por tanto, no basta con copiar tres valores.



El joven añade ambas terminaciones a su esquema.

El modelo y el circuito



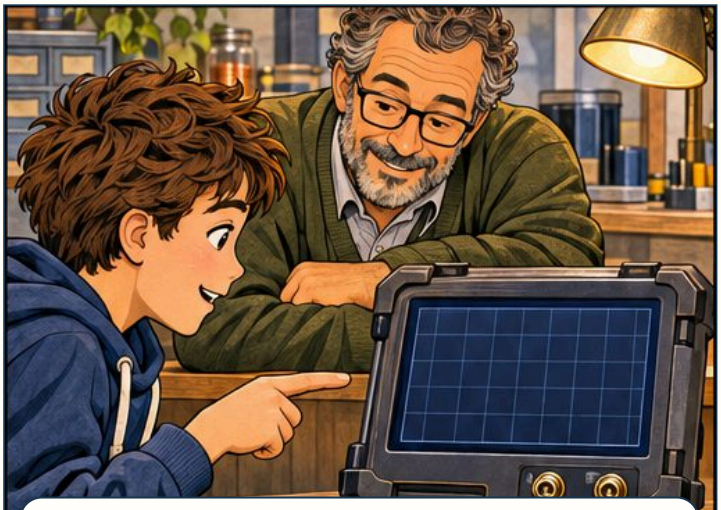
El cálculo comenzará con componentes ideales, sin pérdidas.



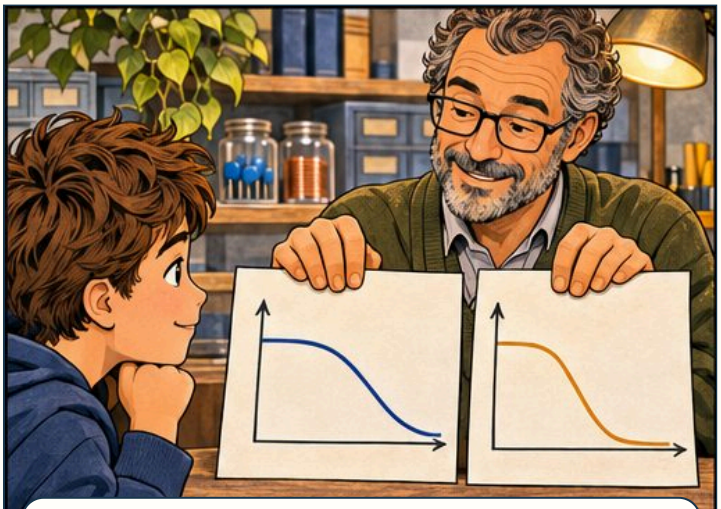
El circuito real tendrá resistencias y efectos parásitos.



El modelo permite prever una primera respuesta.



Las medidas ayudarán después a examinar las diferencias.

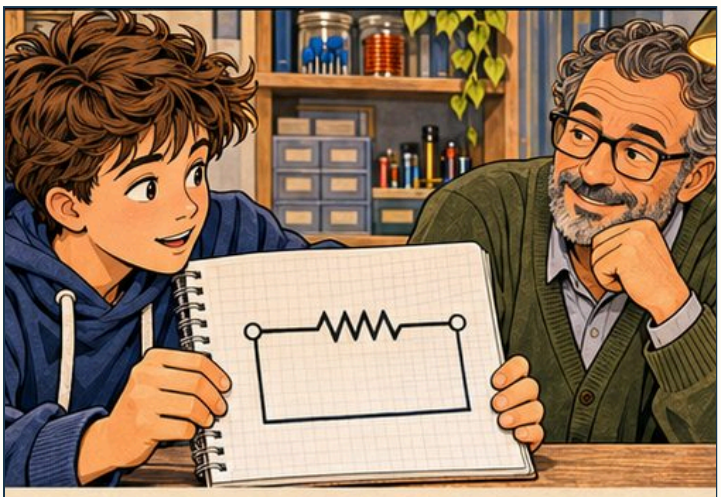


Confundir previsión y resultado impediría entender esas desviaciones.

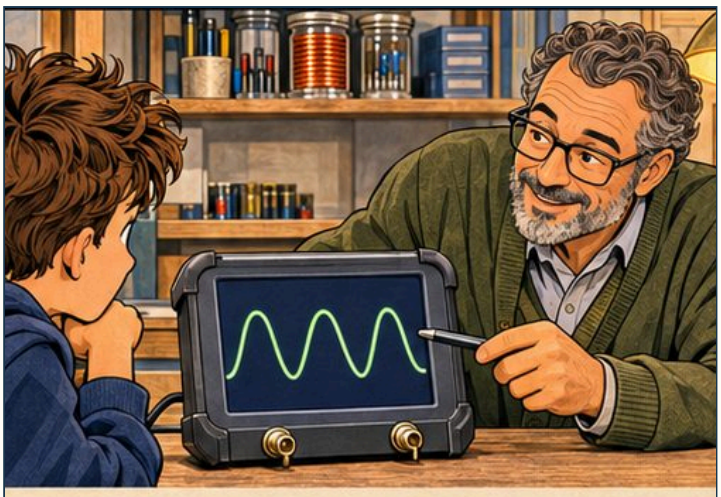


El cuaderno reserva un espacio distinto para cada uno.

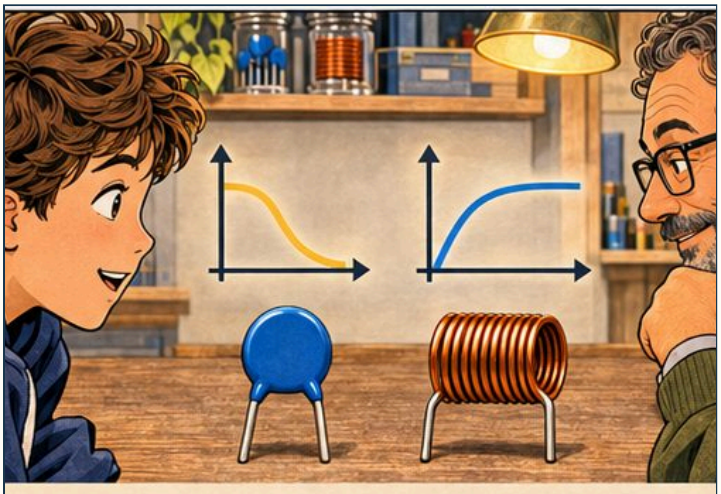
Una resistencia ya no basta



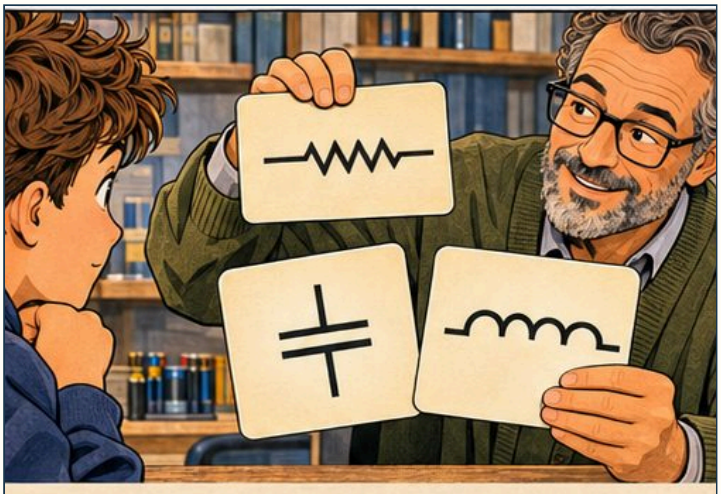
El tomo anterior relacionaba tensión, corriente y resistencia en continua.



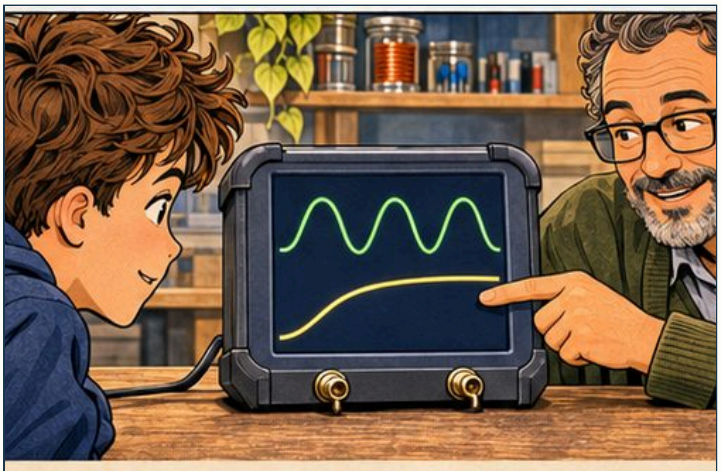
Aquí la señal varía rápidamente y su frecuencia importa.



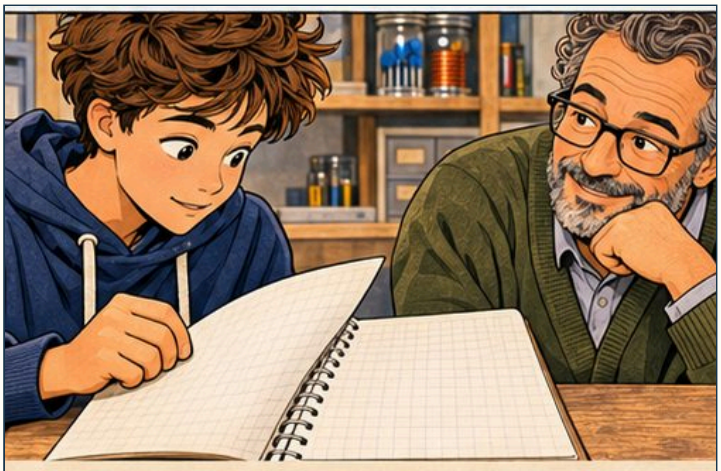
Condensadores y bobinas presentan una oposición dependiente de la frecuencia.



Esa reactancia es distinta de una simple resistencia.



La impedancia describe más ampliamente el comportamiento eléctrico en alterna.

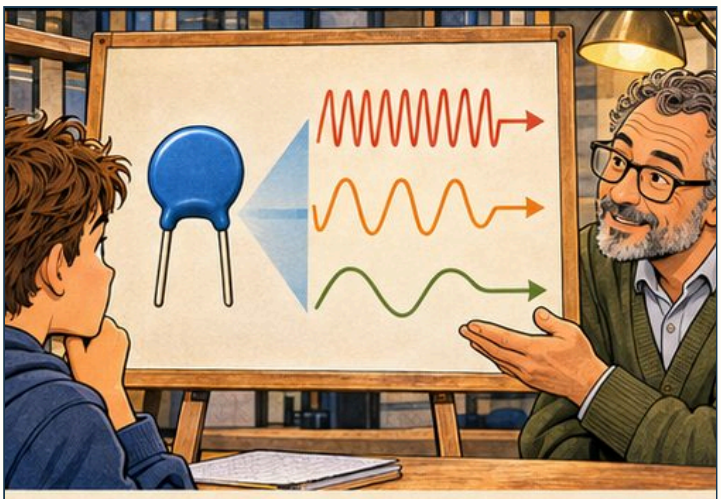


El joven comprende por qué hace falta otro modelo.

El papel del condensador



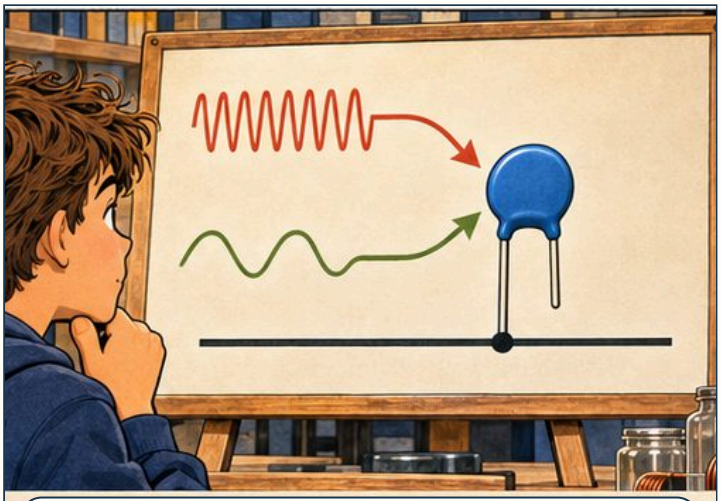
La capacidad se indica con C y se expresa en faradios, F.



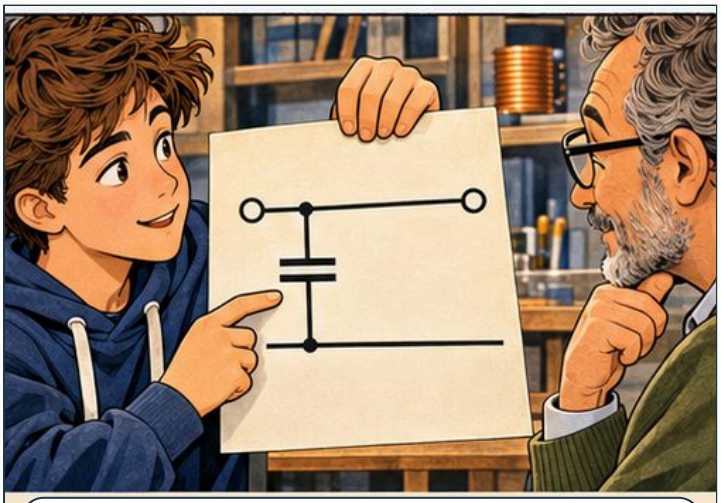
En un condensador ideal, la reactancia disminuye al aumentar la frecuencia.



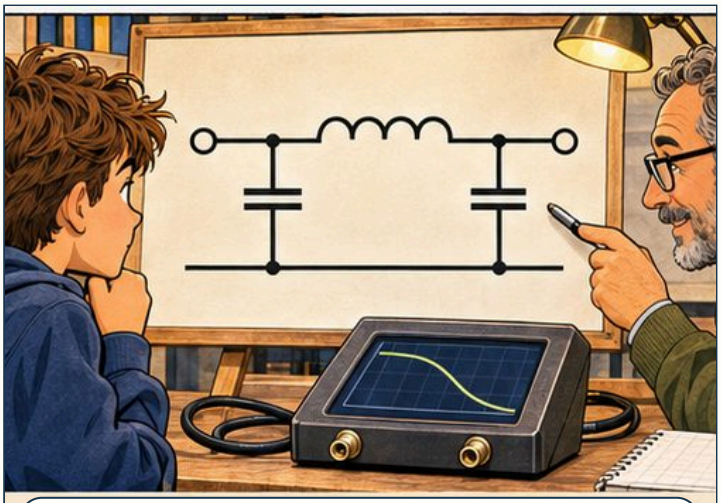
Su valor absoluto es $X_C = 1/(2\pi f C)$.



A igual capacidad, las altas frecuencias encuentran menos reactancia.



En su filtro, los condensadores estarán conectados a masa.

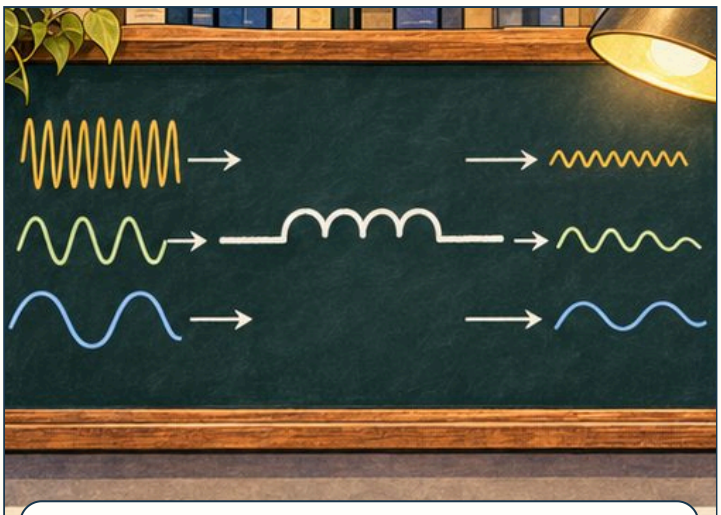


Su papel también depende del resto del circuito.

El papel de la bobina



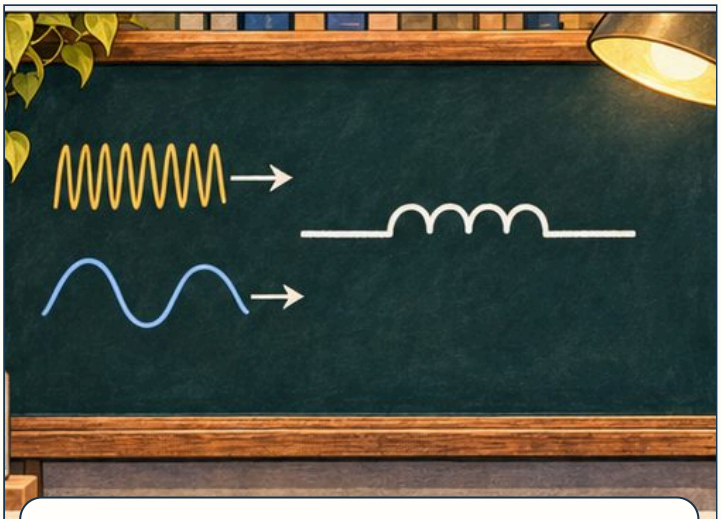
La inductancia se indica con L y se expresa en henrios, H.



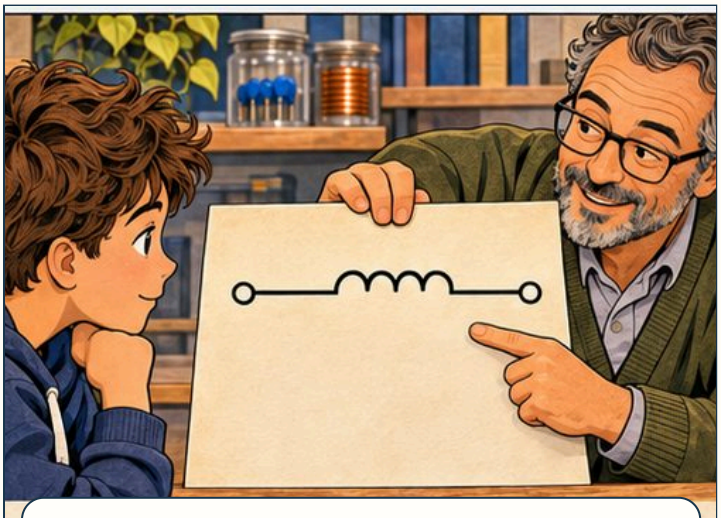
En una bobina ideal, la reactancia aumenta con la frecuencia.



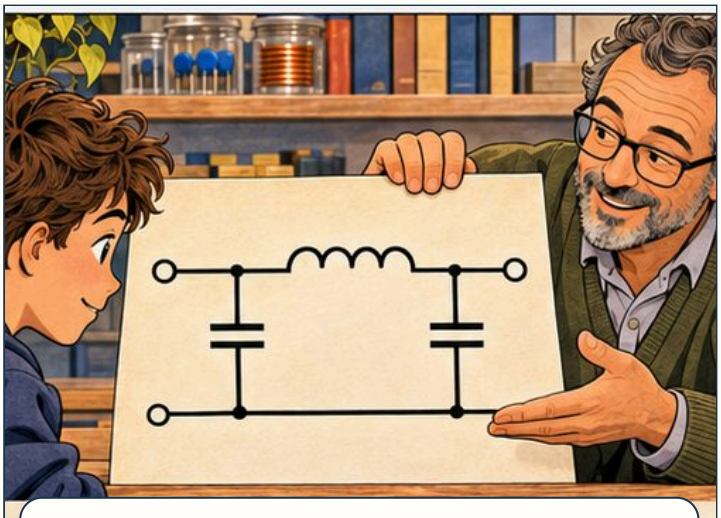
Su valor absoluto es XL = 2πfL.



A igual inductancia, las altas frecuencias encuentran más reactancia.

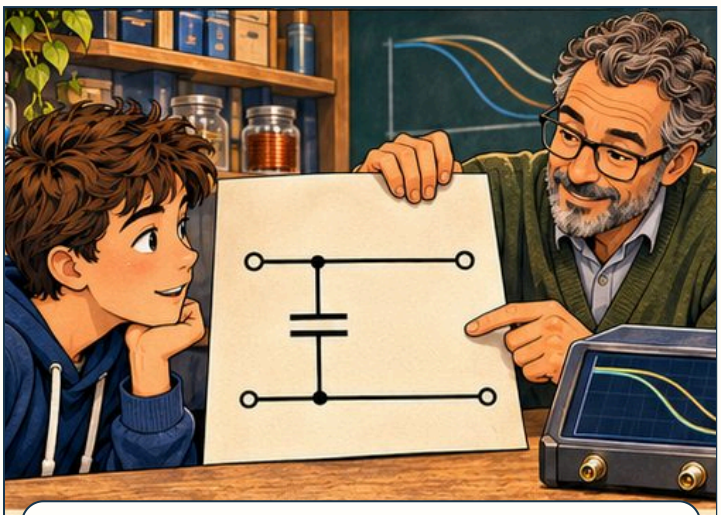


En su filtro, la bobina estará en el camino de la señal.

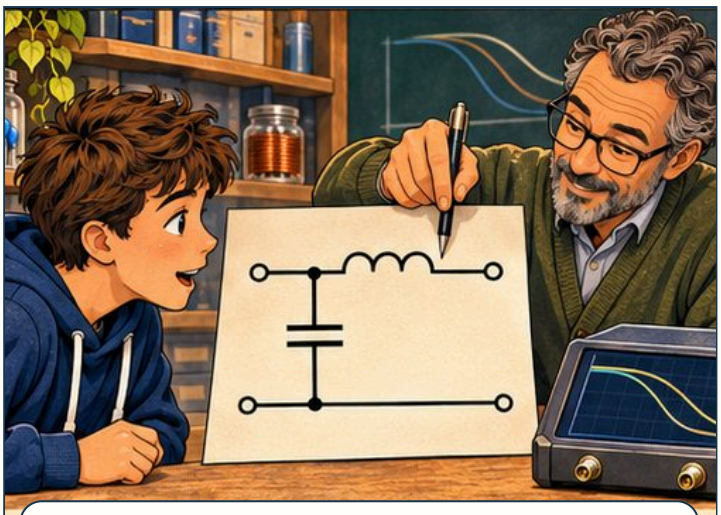


Ambos tipos de componentes actuarán juntos.

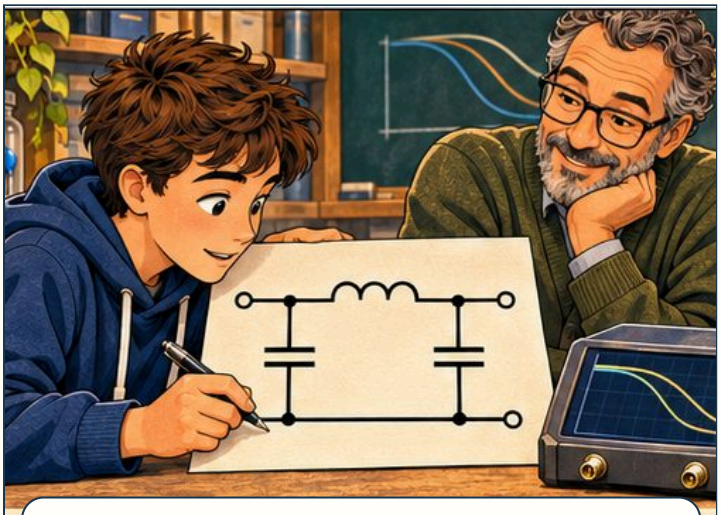
El esquema toma forma de π



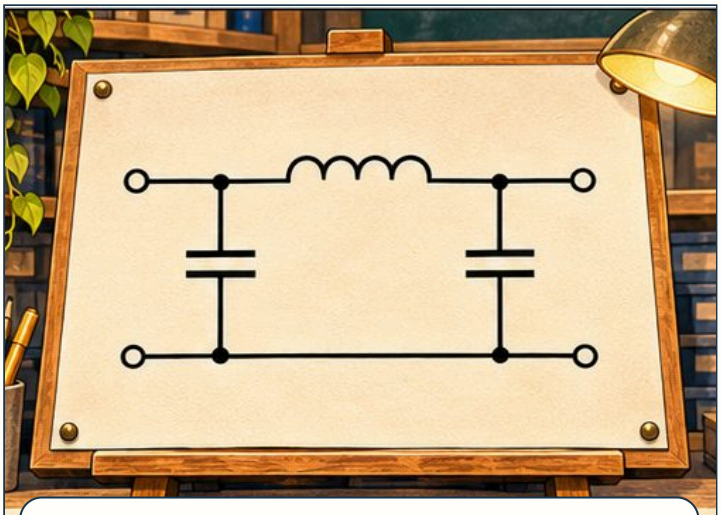
La entrada llega a un primer condensador conectado a masa.



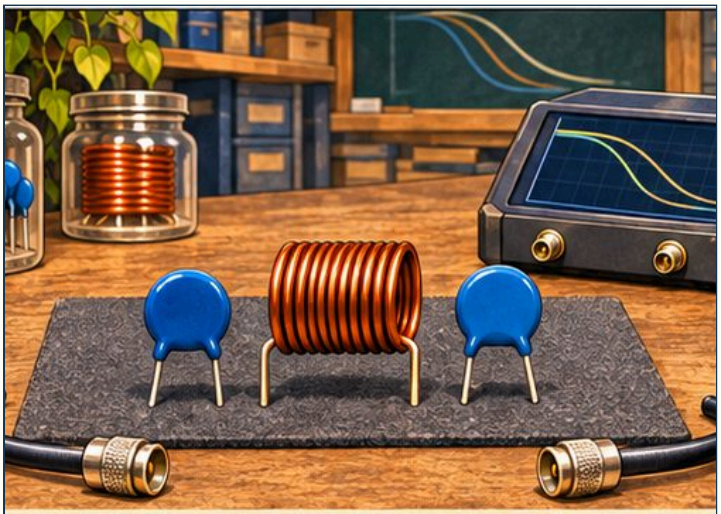
Una bobina une después entrada y salida en serie.



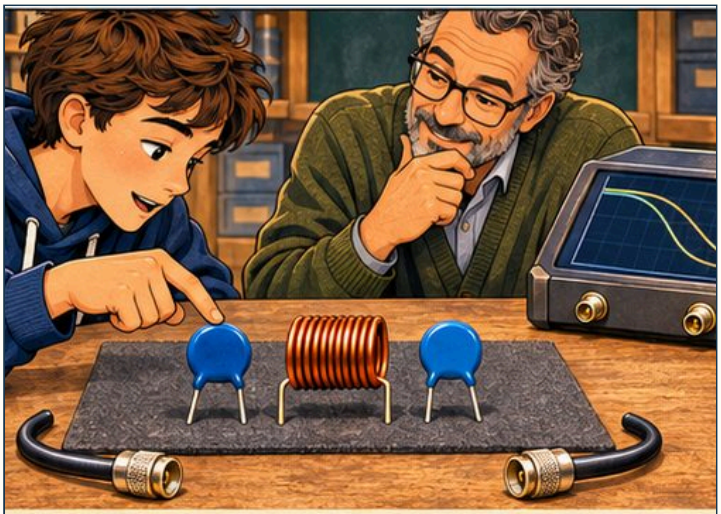
Un segundo condensador une la salida a la misma masa.



Dos ramas descienden a ambos lados de la bobina.



La disposición recuerda a la letra griega π.

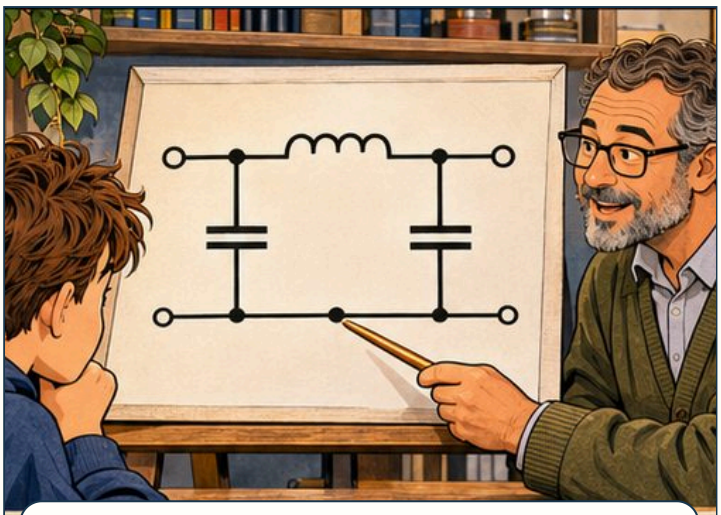


El joven sigue cada conexión con su lápiz.

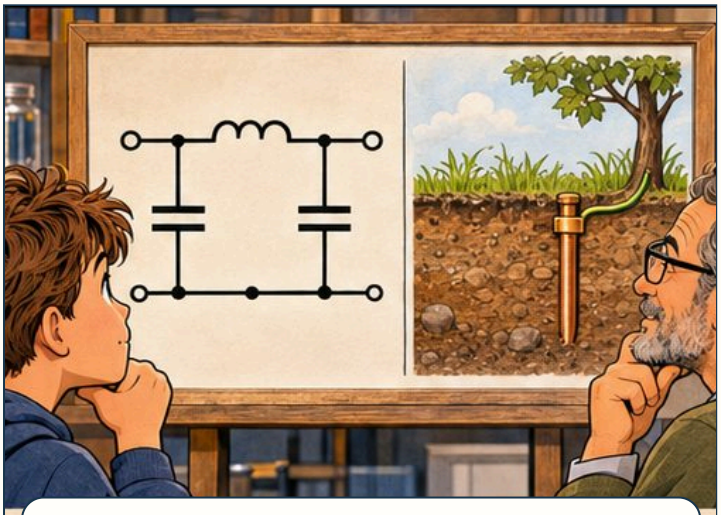
La masa del esquema



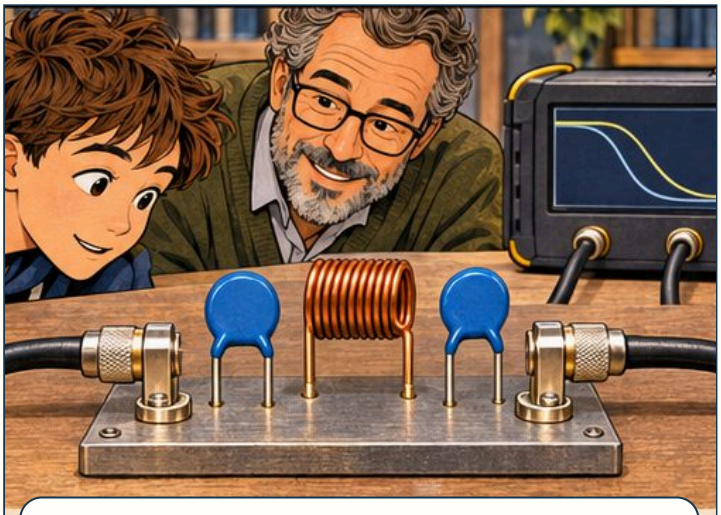
Ambos condensadores comparten una referencia eléctrica común.



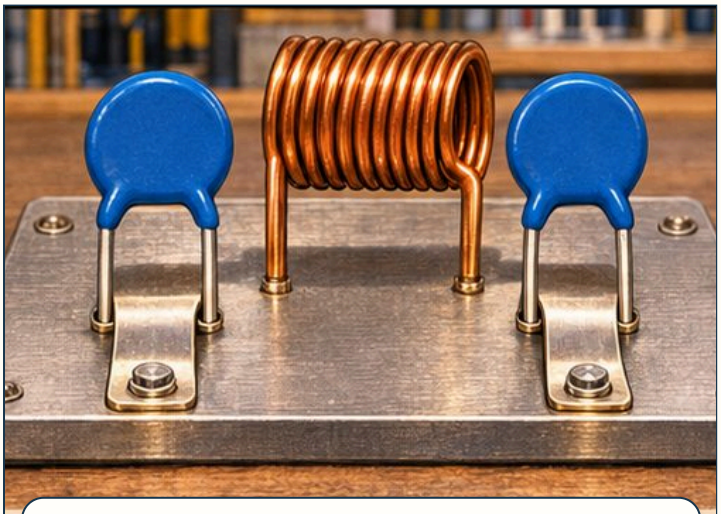
El símbolo de masa representa aquí esa referencia del circuito.



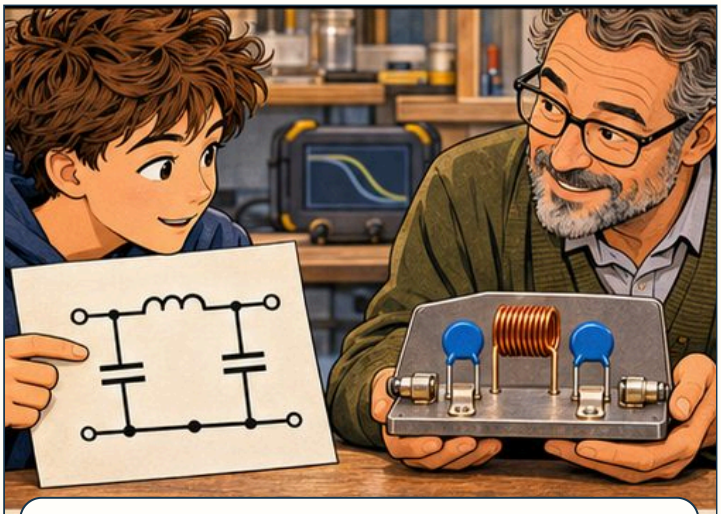
No significa automáticamente una conexión a tierra.



Los blindajes coaxiales se unen a esa masa según el diseño.



Una conexión corta limita ciertos efectos parásitos.

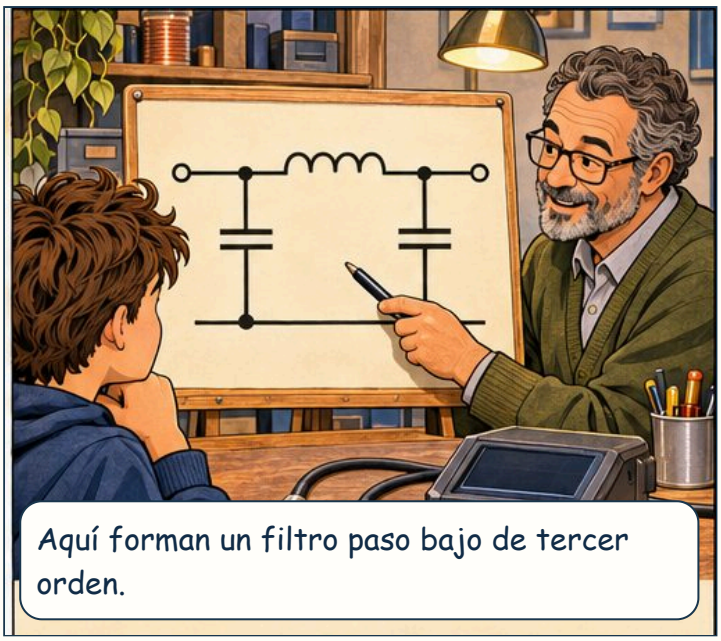


El joven distingue el símbolo de su realización concreta.

Tres elementos, un orden



Esta red ideal tiene tres elementos reactivos: C, L y C.



Aquí forman un filtro paso bajo de tercer orden.



El orden caracteriza, entre otras cosas, la pendiente lejana del modelo.



Una impedancia inadecuada cambiaría, sin embargo, la respuesta.



Añadir componentes al azar no crea el filtro deseado.

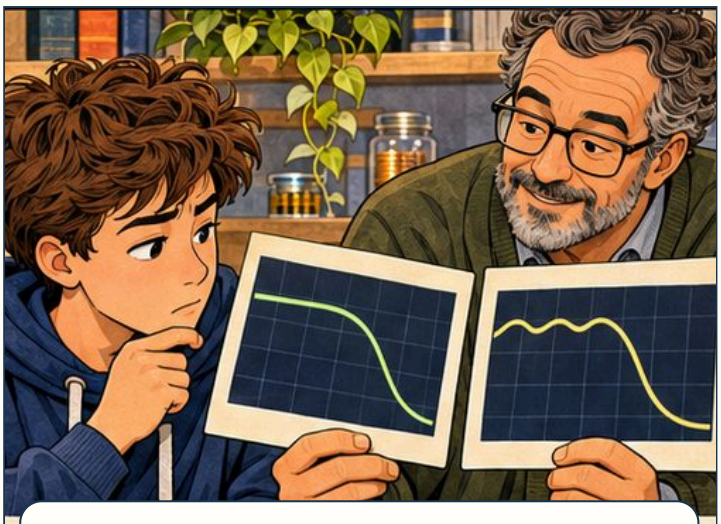


La topología del esquema debe acompañar su cálculo.

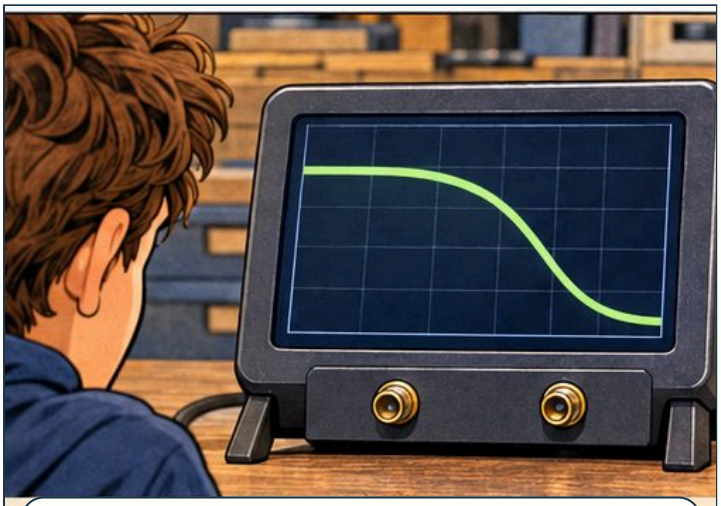
¿Por qué Butterworth?



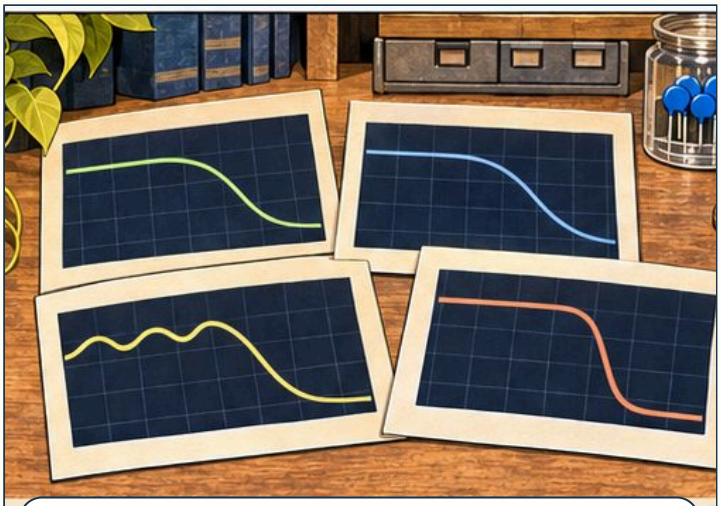
La respuesta Butterworth es máximamente plana en la banda pasante.



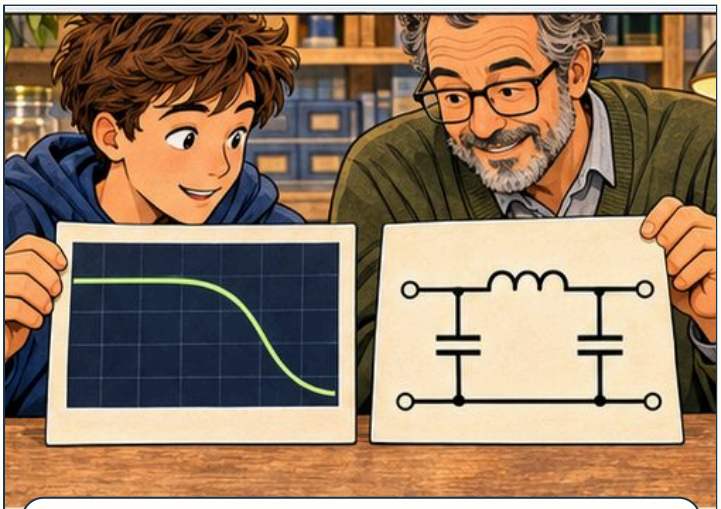
Su modelo ideal no presenta ondulaciones en esa banda.



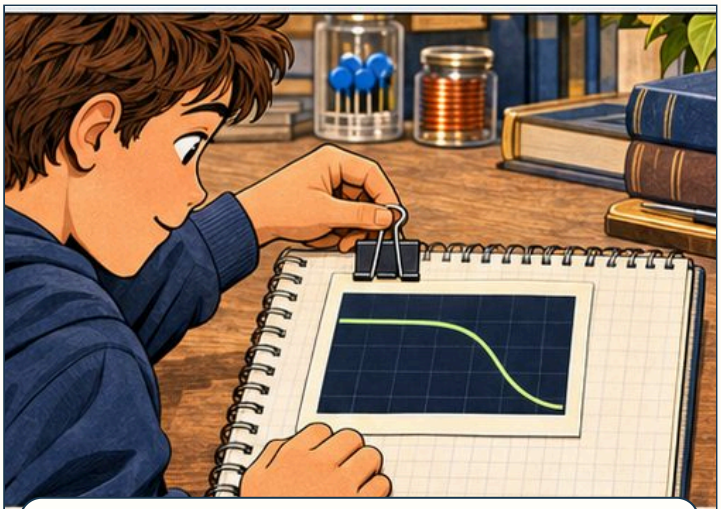
La transición sigue siendo gradual, con una curvatura característica.



Otras respuestas aceptan compromisos diferentes.



Eligen esta familia para un primer diseño claro.



El nombre precisa más que la expresión paso bajo.

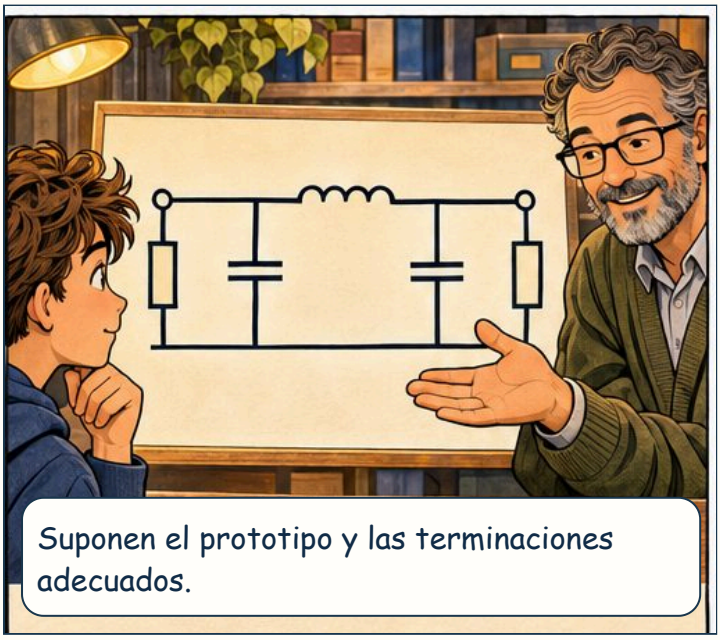
Un prototipo para empezar

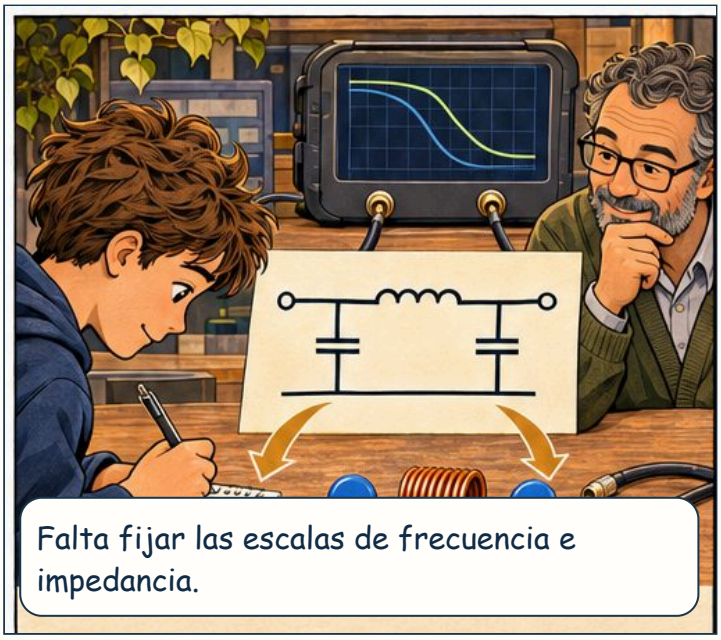




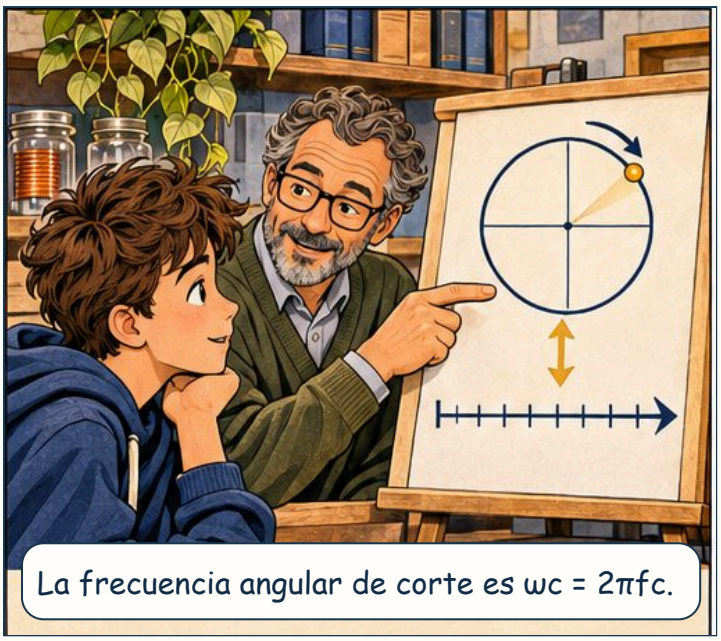


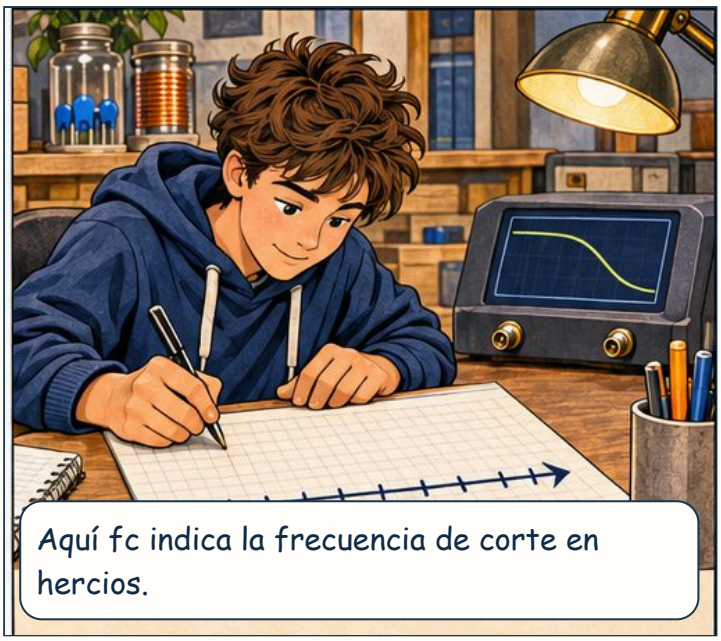




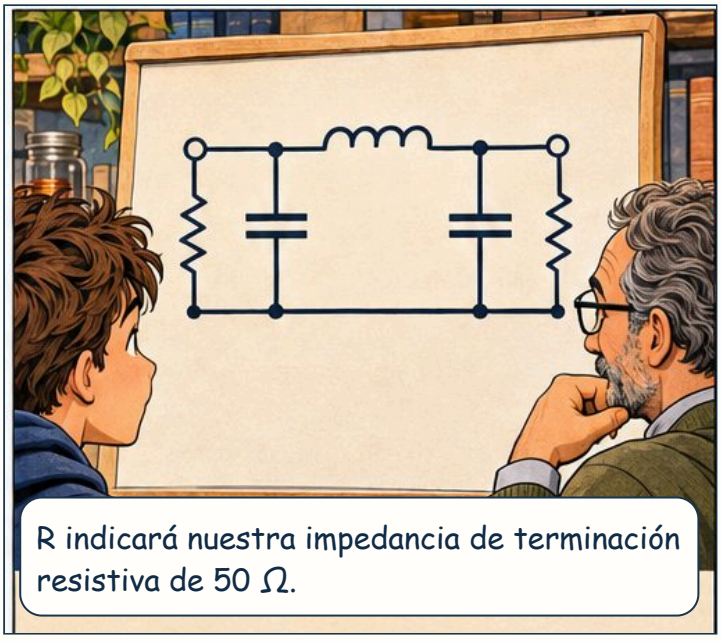


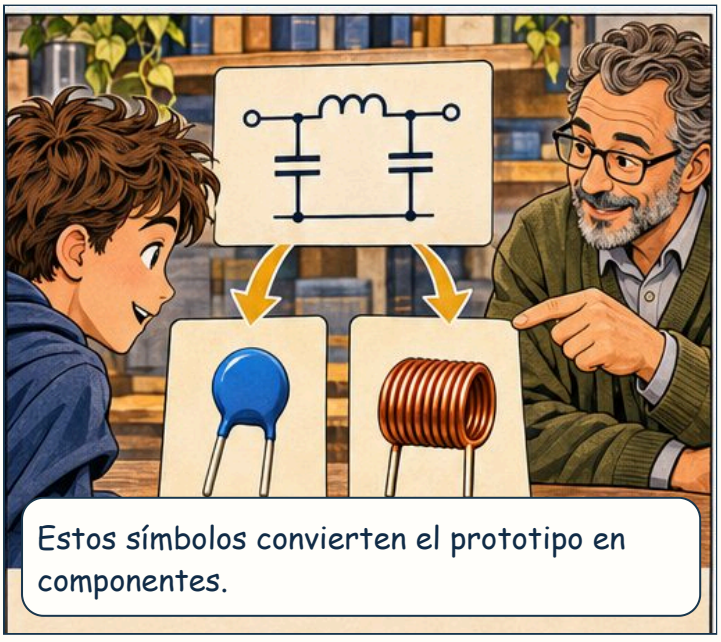
Cambiar de escala

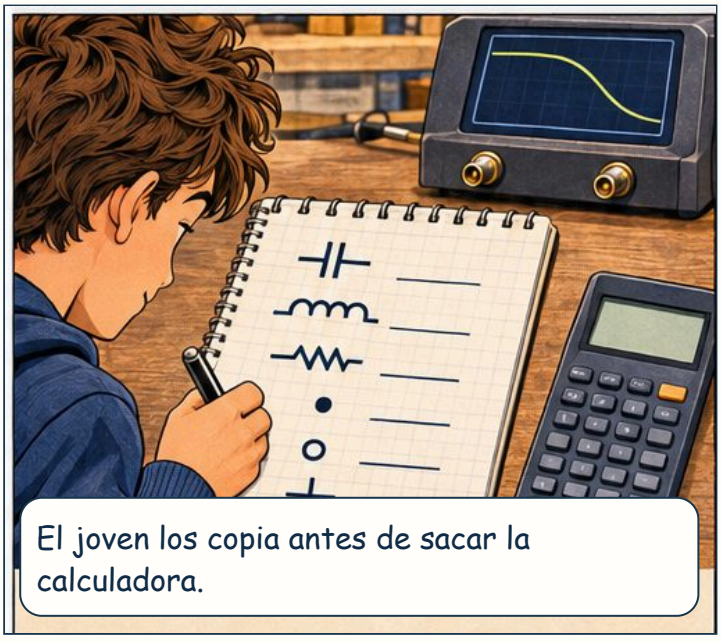








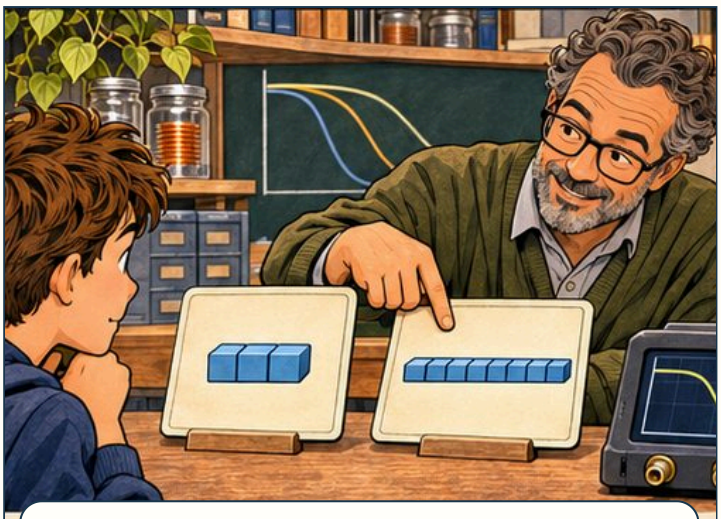




Las unidades antes que los números



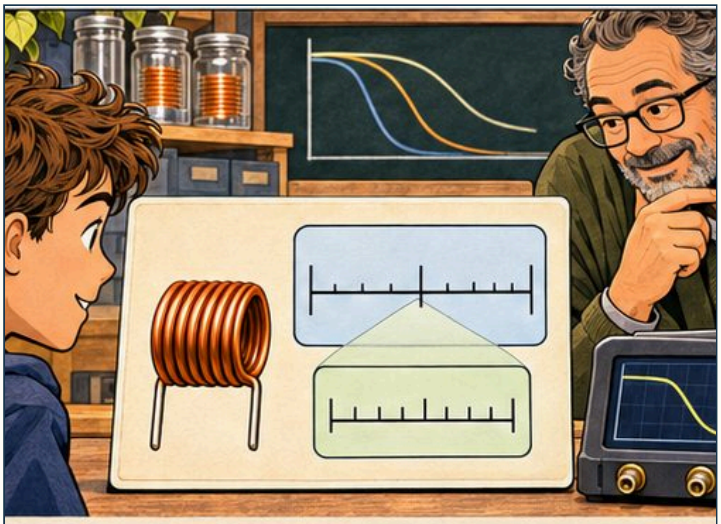
Un megahercio equivale a un millón de hercios.



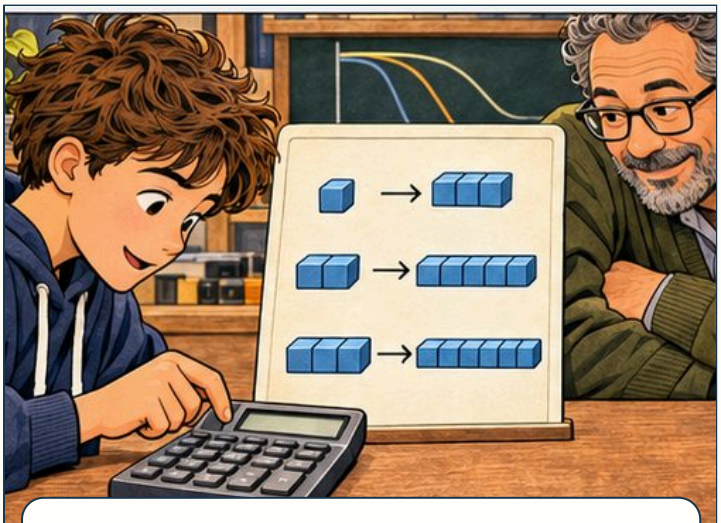
El corte de 10 MHz equivale, pues, a 10 000 000 Hz.



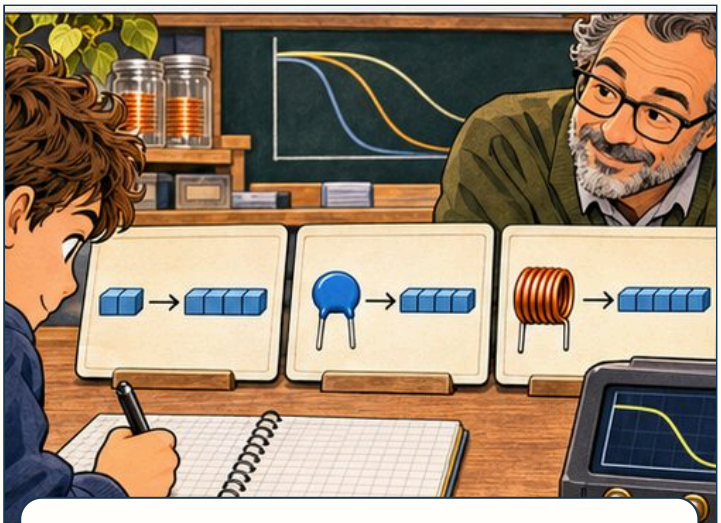
Un picofaradio equivale a 10^{-12} F.



Un microhenrio equivale a 10^{-6} H.



Las fórmulas usarán primero las unidades básicas.

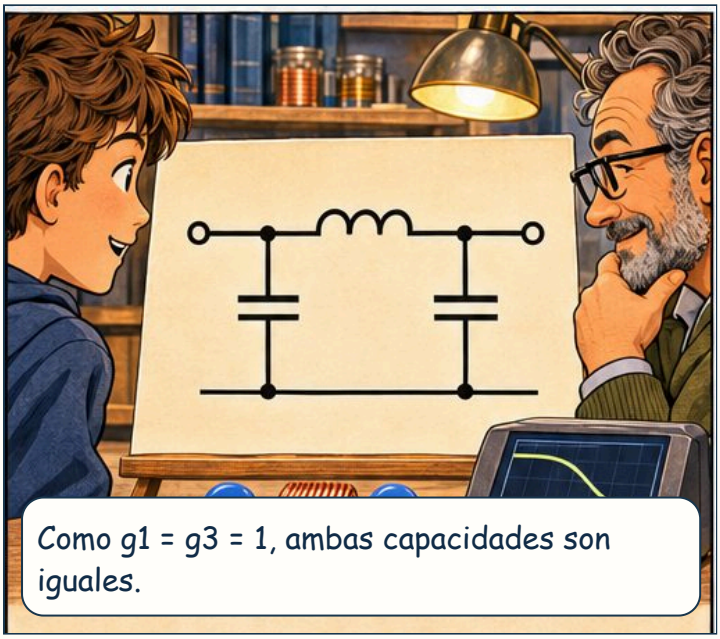


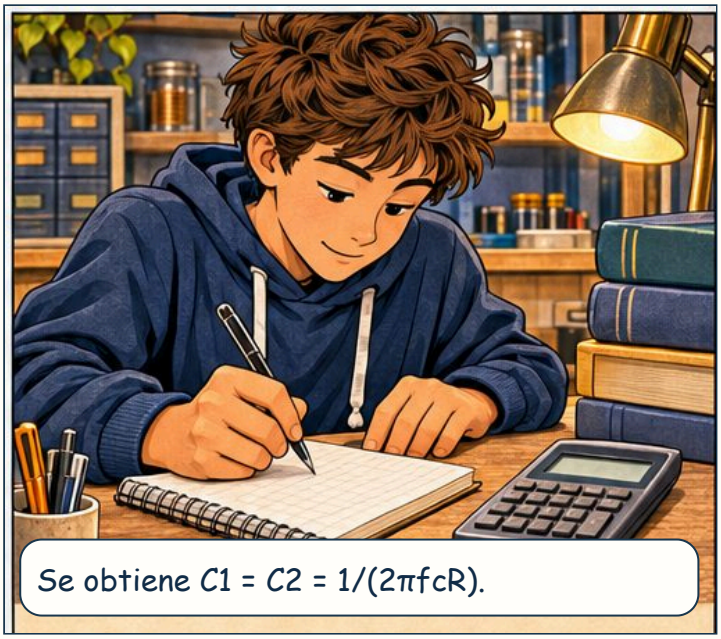
El joven mantiene las conversiones visibles junto a los cálculos.

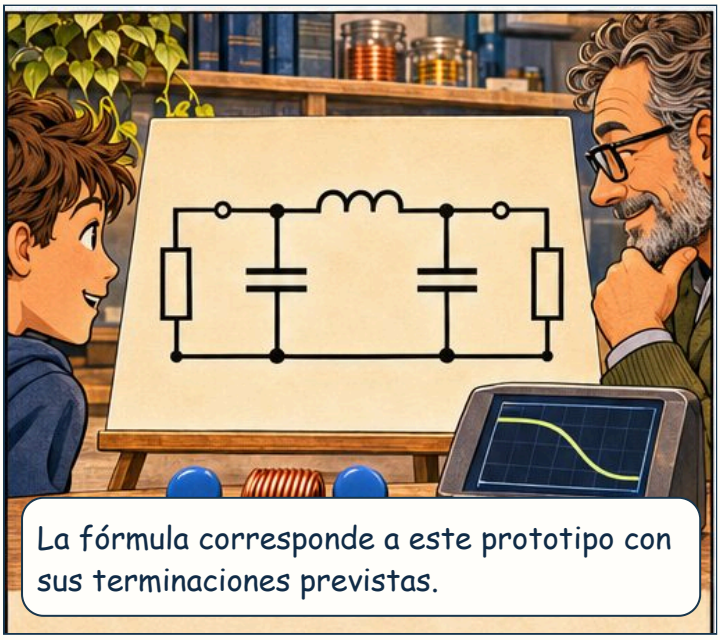
Las fórmulas de los condensadores

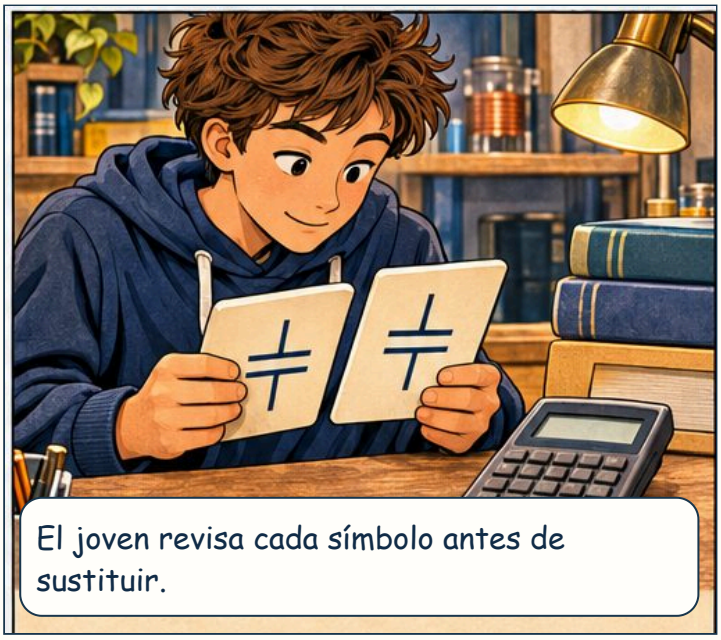












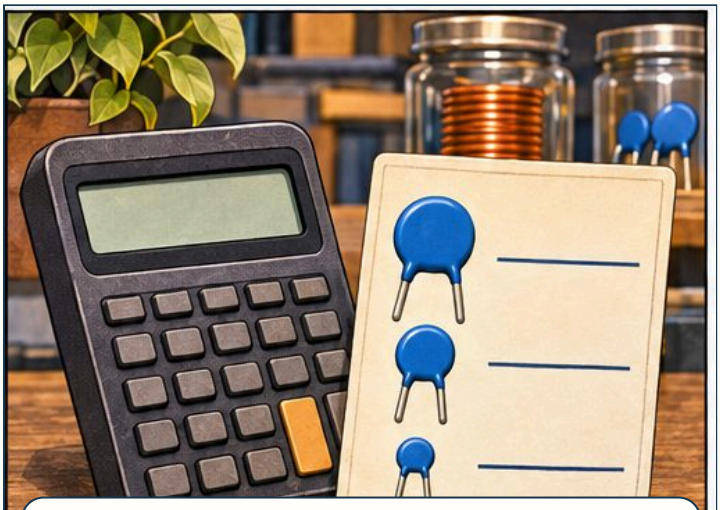
Calcular las capacidades



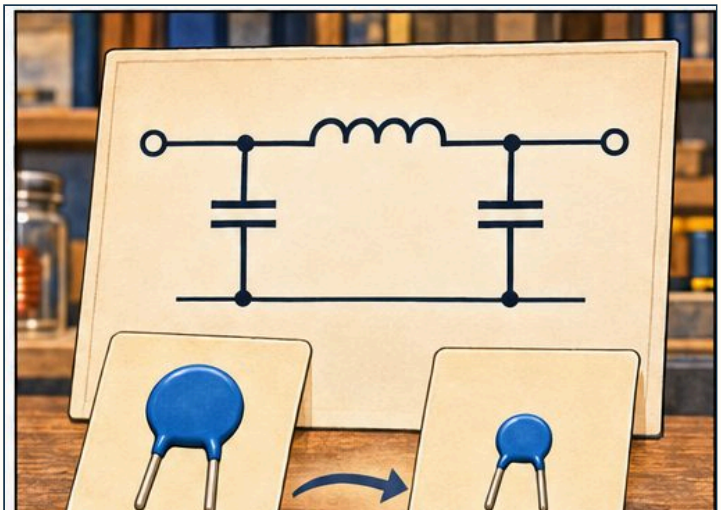
Sustituyen fc por 10 000 000 Hz y R por 50 Ω.



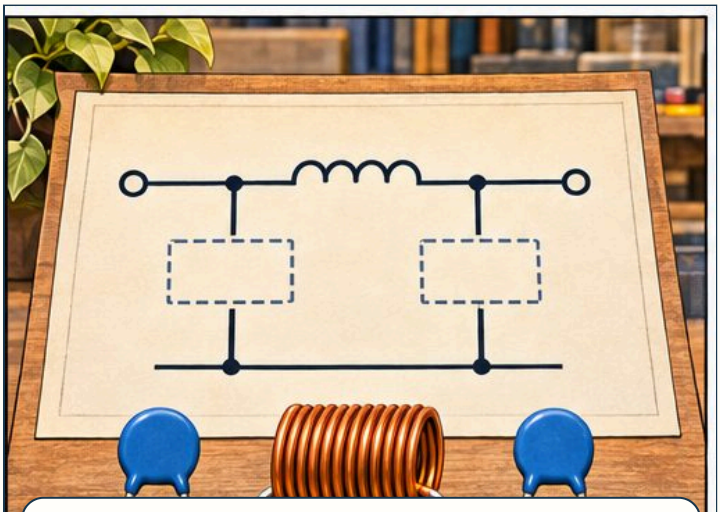
El denominador vale aproximadamente 3,142 × 10^{9}.



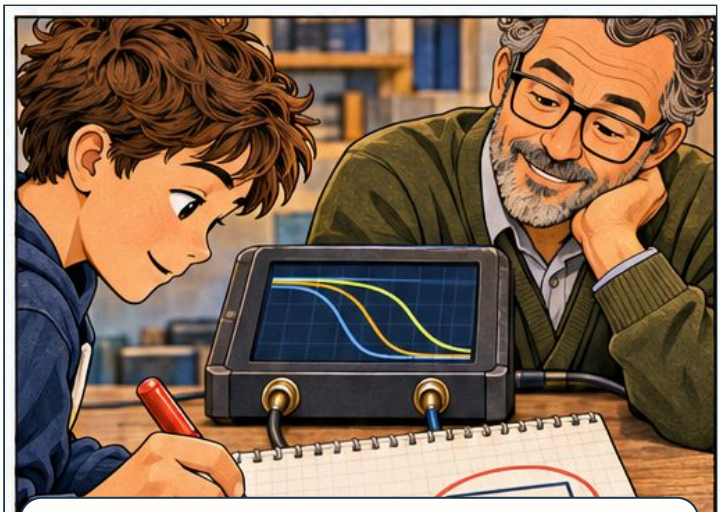
Cada capacidad ideal vale aproximadamente 3,183 × 10^{-10} F.



En picofaradios, son unos 318,3 pF.

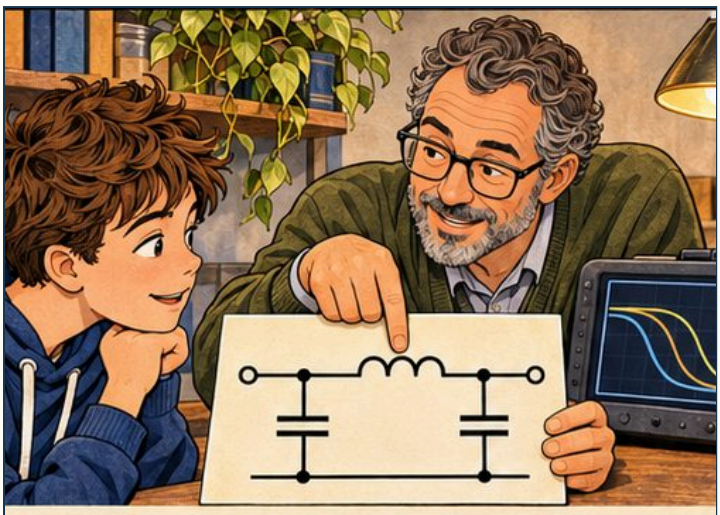


Ambos condensadores tendrán el mismo valor teórico.



Lucas escribe el resultado con su unidad visible.

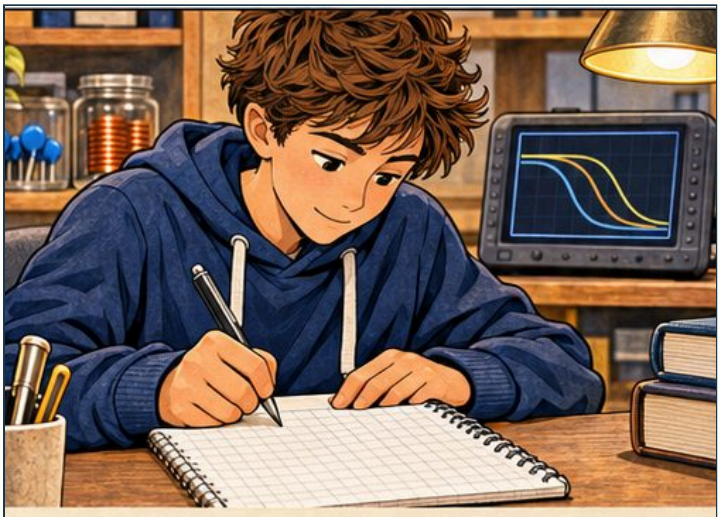
La fórmula de la bobina



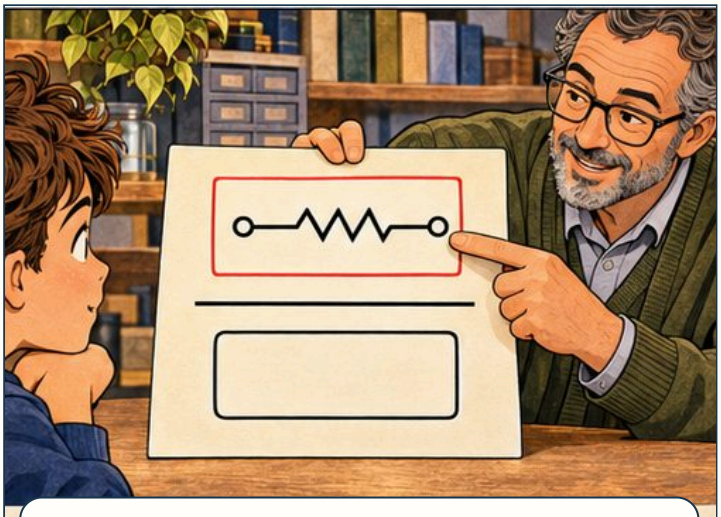
Para la bobina en serie, L = g2R/ωc.



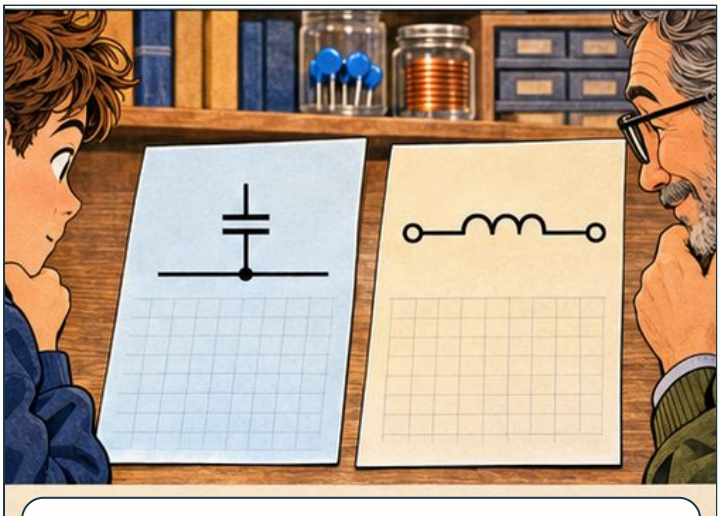
El coeficiente central vale aquí g2 = 2.



Por tanto, L = 2R/(2πfc).



La resistencia de terminación está ahora en el numerador.



El joven compara esta fórmula con la de los condensadores.

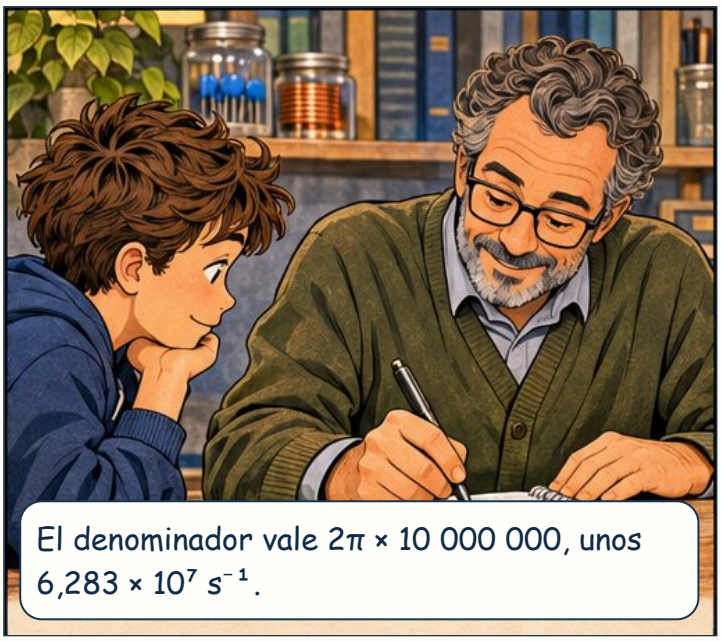


El parecido visual no evita tener que releer.

Calcular la inductancia



El numerador vale 2 × 50, es decir, 100 Ω.



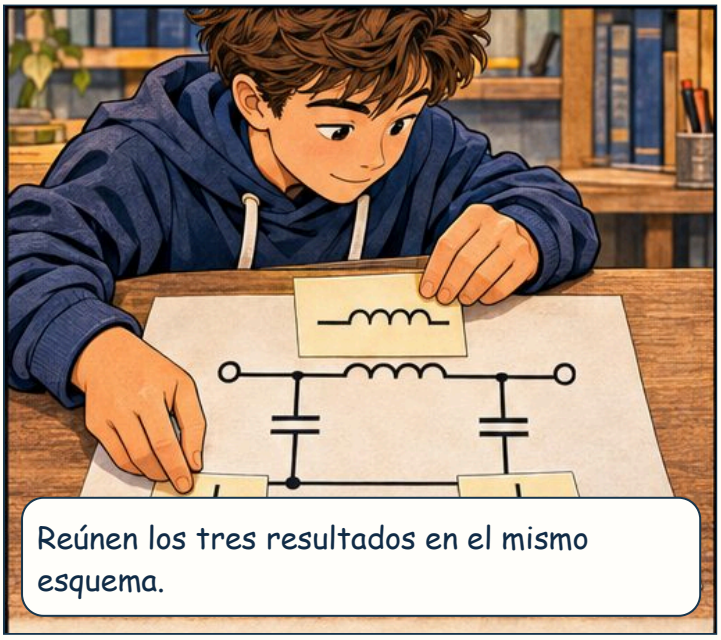
El denominador vale 2π × 10 000 000, unos $6{,}283 \times 10^{7}\ s^{-1}$.



El cálculo da aproximadamente $1{,}592 \times 10^{-6}$ H.



La bobina ideal tendrá unos 1,59 μH de inductancia.



Reúnen los tres resultados en el mismo esquema.



El proyecto tiene ya una primera definición completa.

El error del millón



El joven intenta volver a introducir el cálculo rápidamente.



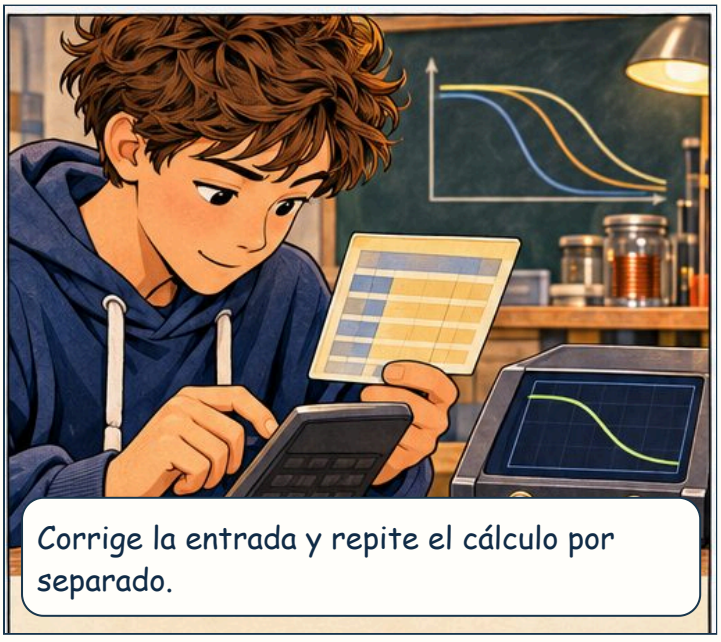
Escribe 10 en lugar de 10 000 000.



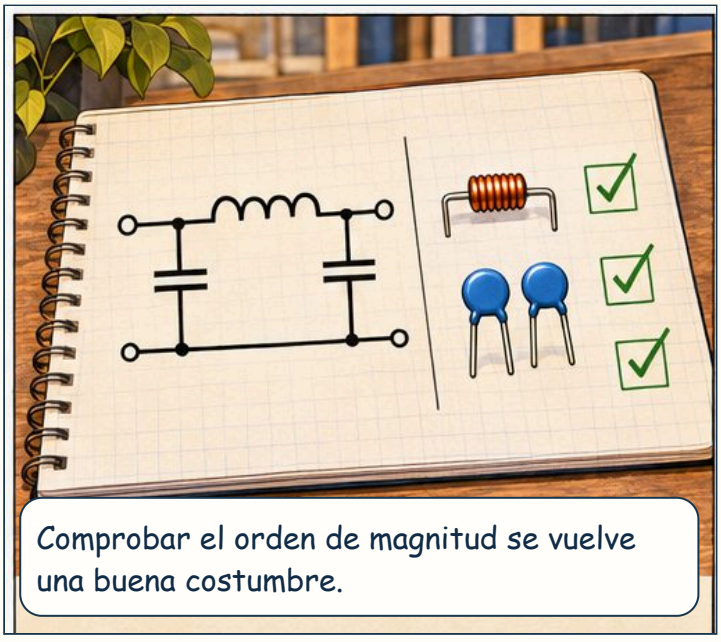
El resultado resulta un millón de veces demasiado grande.



Compararlo con los componentes esperados revela enseguida el problema.



Corrige la entrada y repite el cálculo por separado.

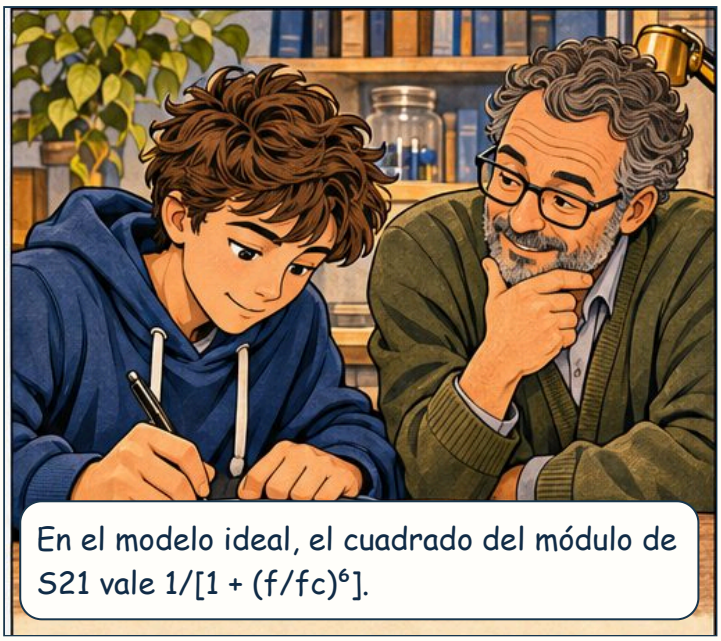


Comprobar el orden de magnitud se vuelve una buena costumbre.

Prever toda una curva



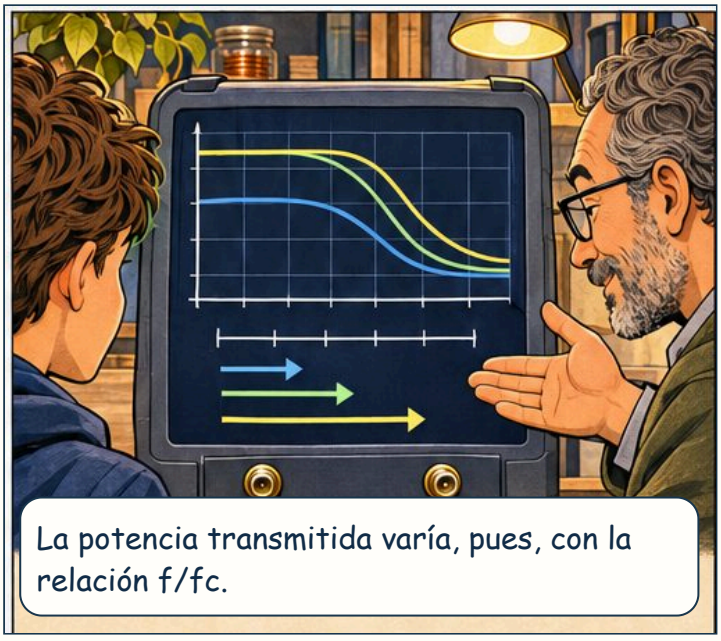
Tres valores todavía no cuentan toda la respuesta.



En el modelo ideal, el cuadrado del módulo de S21 vale $1/[1 + (f/fc)^6]$.



S21 describe aquí la transmisión entre puertos de referencia de 50 Ω.



La potencia transmitida varía, pues, con la relación f/fc.



La curva teórica sirve de referencia antes de medir.



El joven prepara varias frecuencias de comparación.

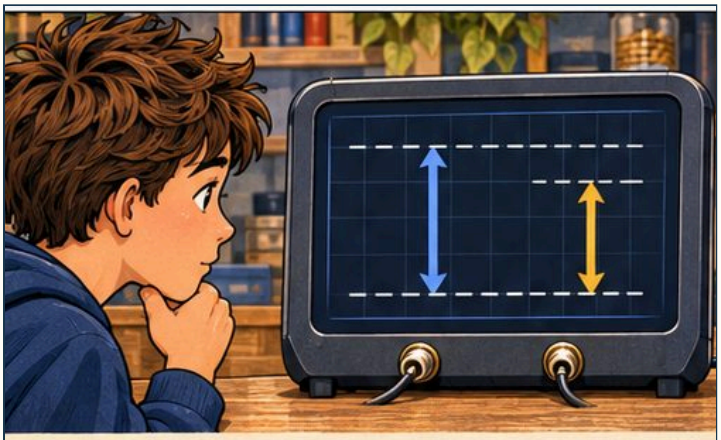
¿Qué significa menos tres decibelios?



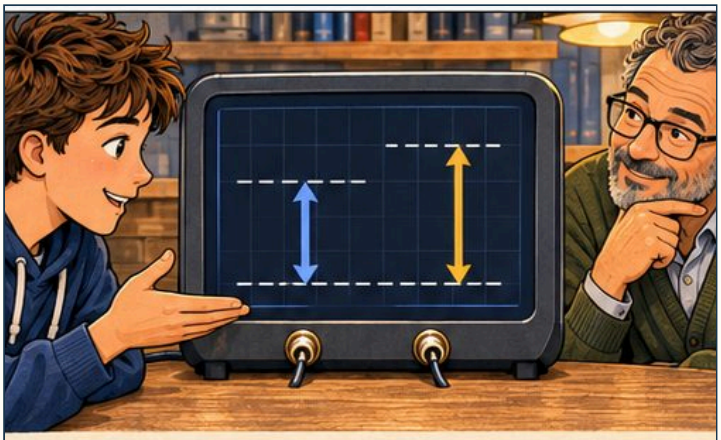
A f = fc, la relación ideal de potencia transmitida vale 1/2.



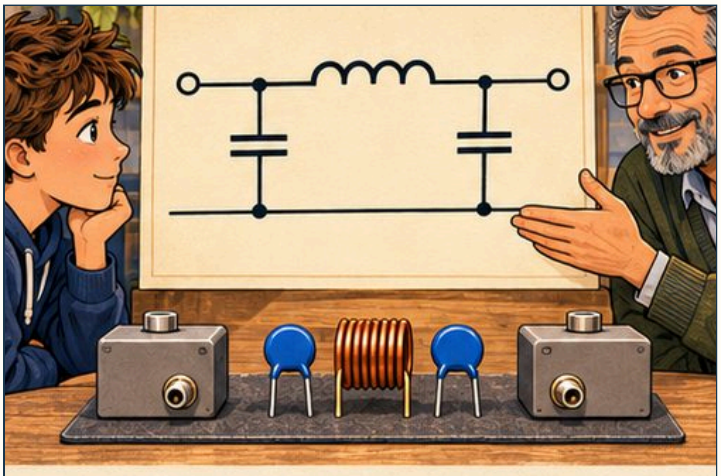
En decibelios, 10 log10(1/2) da unos −3,01 dB.



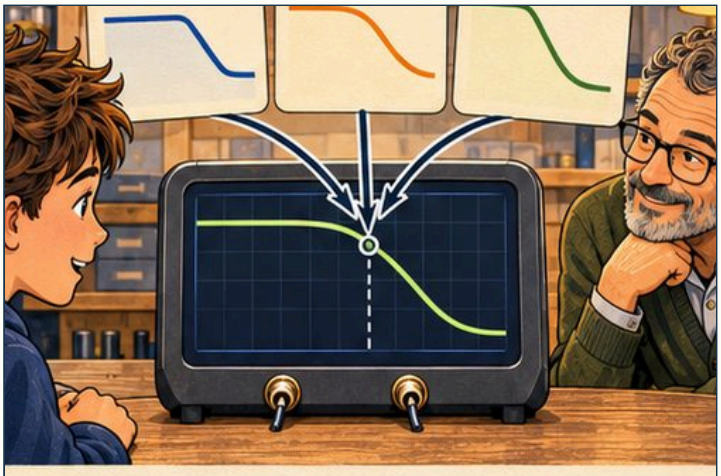
El módulo de S21 vale entonces aproximadamente 0,707.



Esta amplitud no es, por tanto, la mitad.



El cálculo usa las referencias adecuadas de 50 Ω.

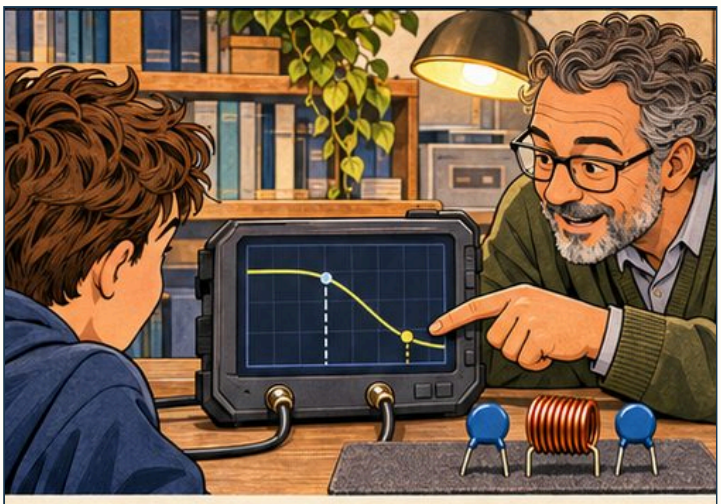


El joven relaciona tres expresiones del mismo punto de la curva.

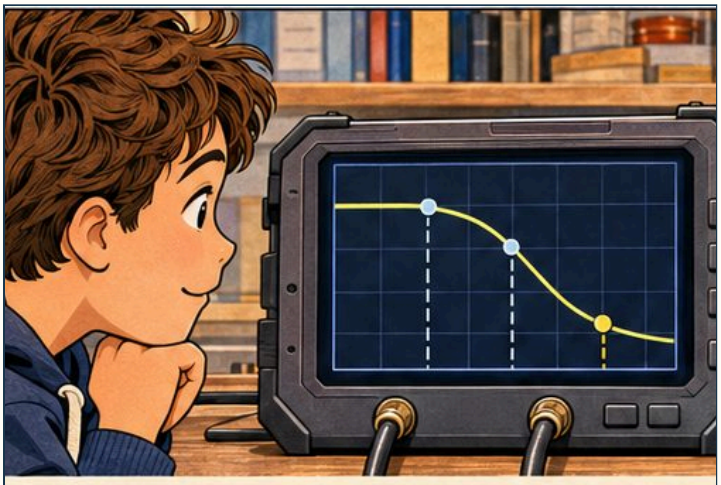
Más allá del corte



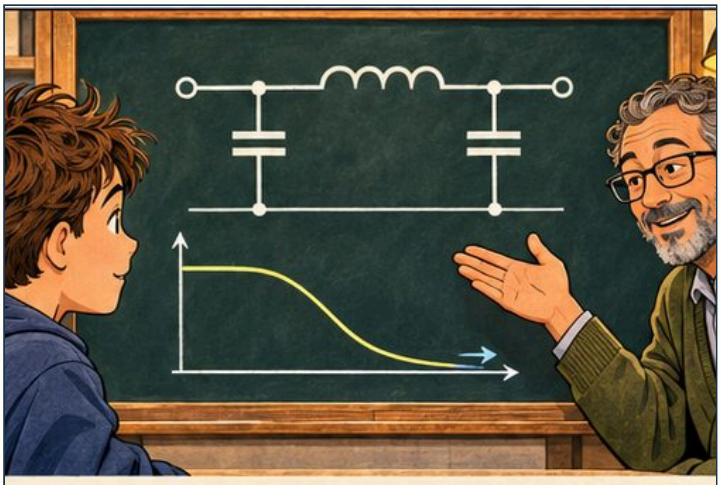
A 20 MHz, f/fc vale 2.



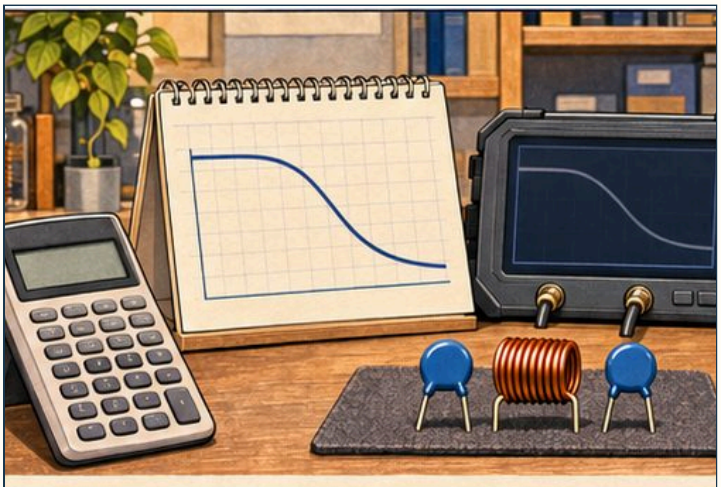
La transmisión ideal pasa a unos −18,13 dB.



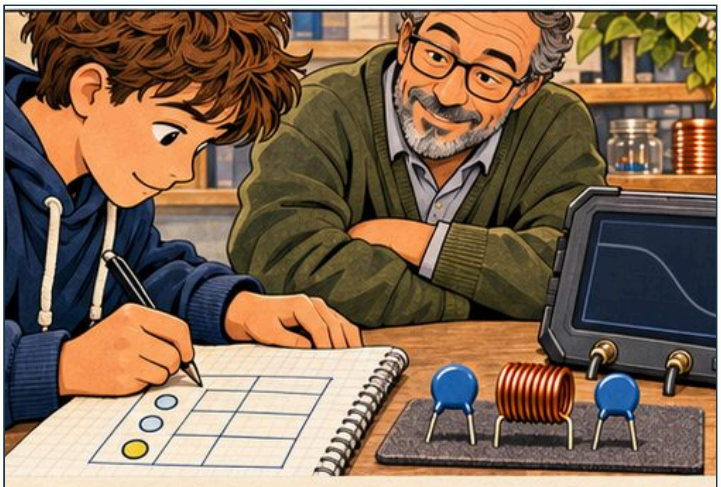
A 30 MHz, f/fc vale 3: unos −28,63 dB.



La atenuación aumenta, pero sigue siendo finita.



Estos números son calculados, no medidos en su circuito.

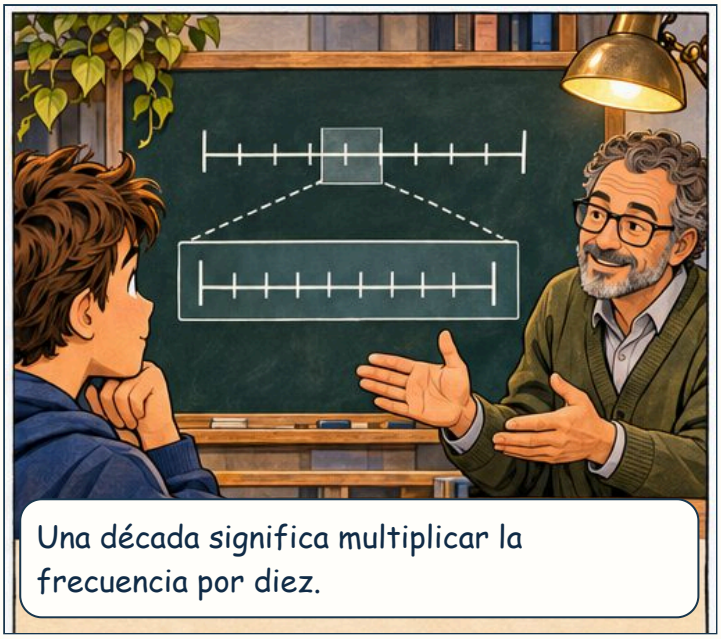


El joven los coloca en la columna de previsiones.

La pendiente no es una promesa



Lejos del corte, la atenuación ideal tiende a 60 dB por década.



Una década significa multiplicar la frecuencia por diez.



Esa pendiente asintótica pertenece al modelo de tercer orden.



Cerca del corte, la curva no es una recta.

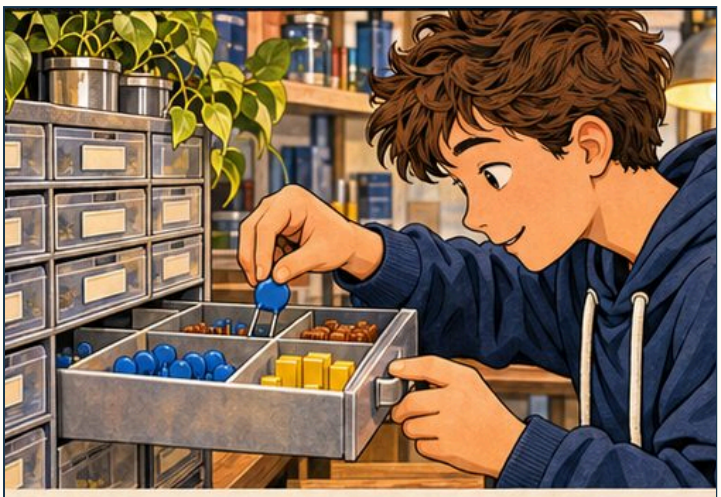


Los componentes reales también limitarán esa evolución.

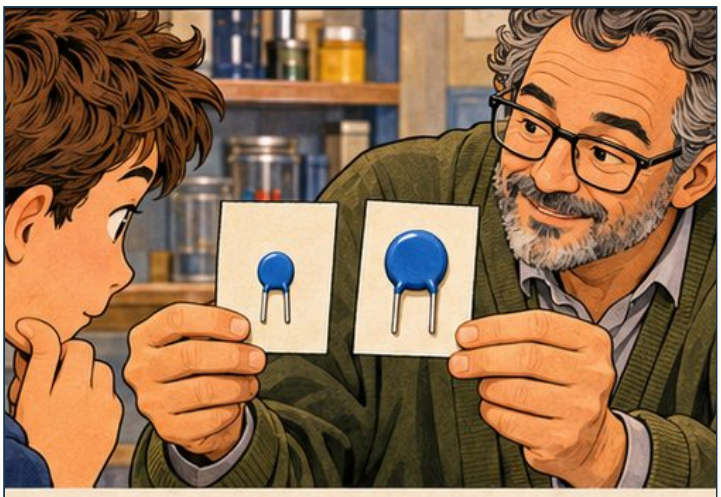


El joven no extiende una regla fuera de sus condiciones.

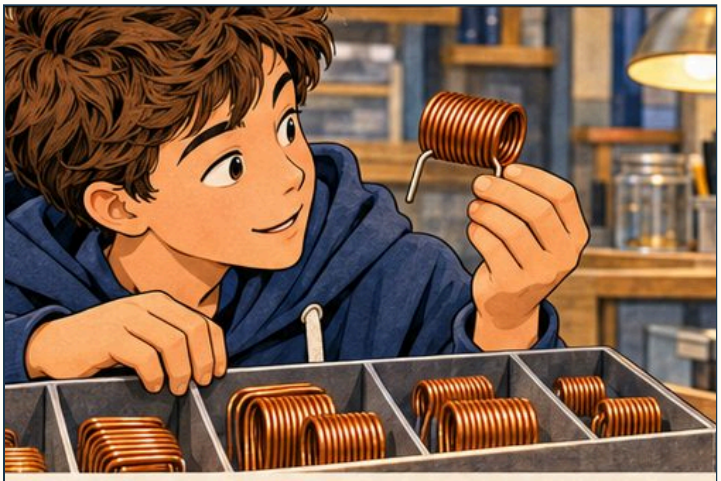
Los valores disponibles



El cajón no contiene necesariamente condensadores de 318,3 pF.



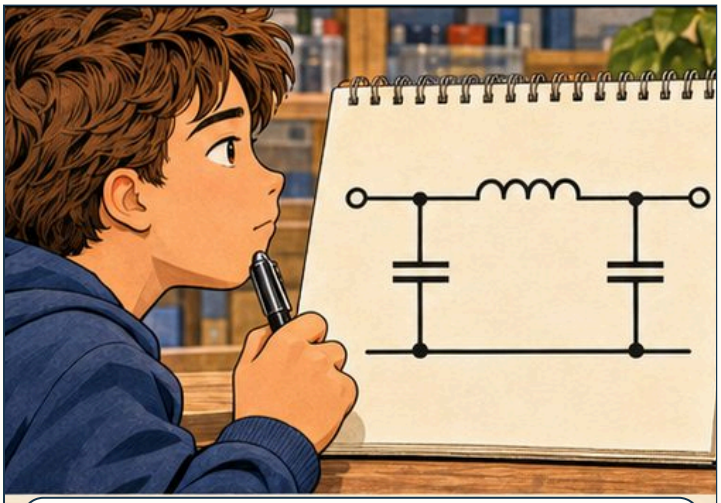
Un valor habitual de 330 pF no es idéntico.



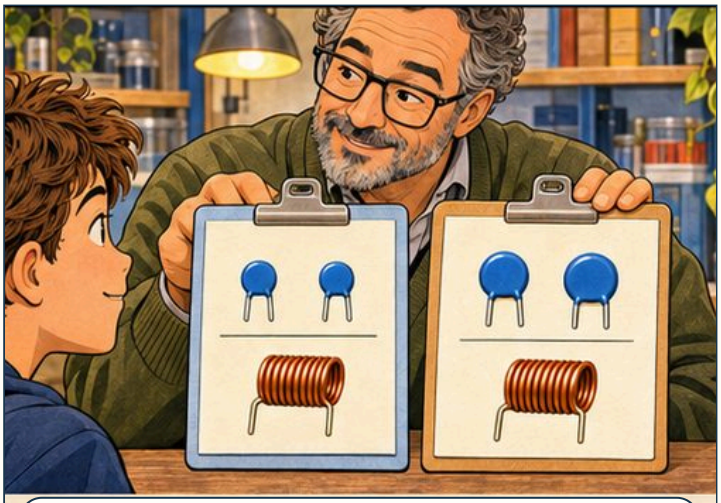
Una bobina de 1,6 µH se acerca al valor calculado.



Elegir estos valores obliga a recalcular o simular la respuesta.

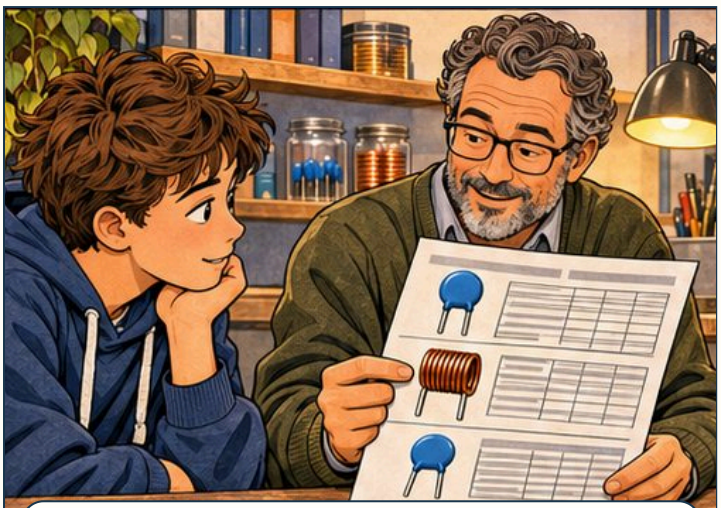


No se llama automáticamente «exactamente 10 MHz» a ese circuito.



El joven separa los valores ideales de los elegidos.

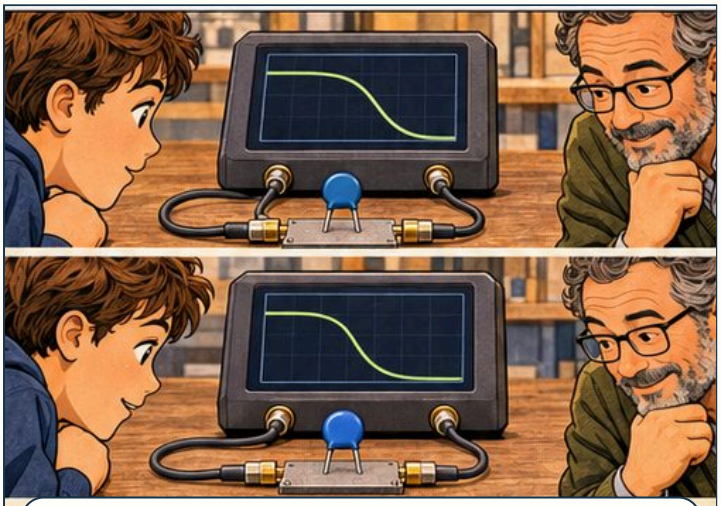
Cada pieza tiene tolerancia



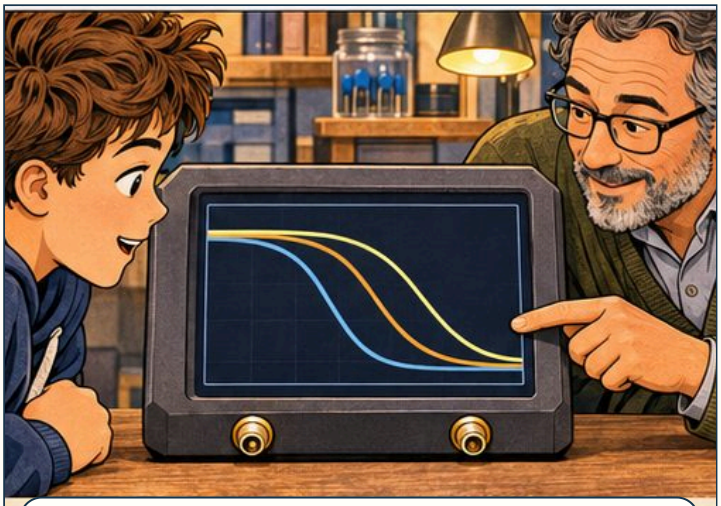
Un valor nominal no es un valor exacto garantizado.



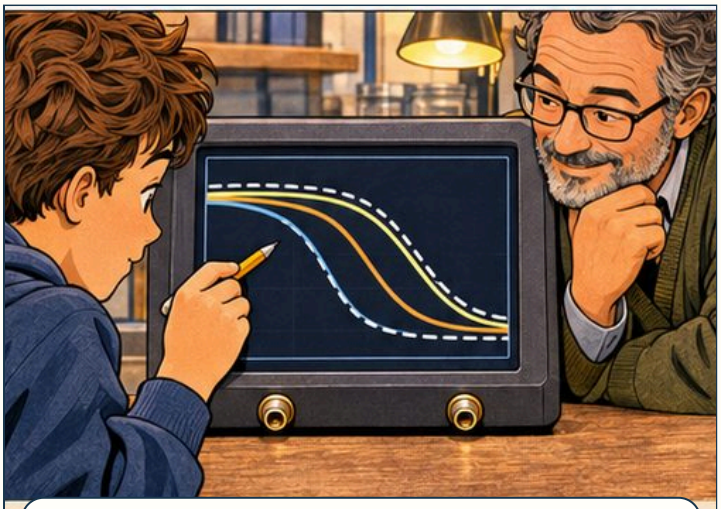
Las tolerancias de condensadores y bobina importan.



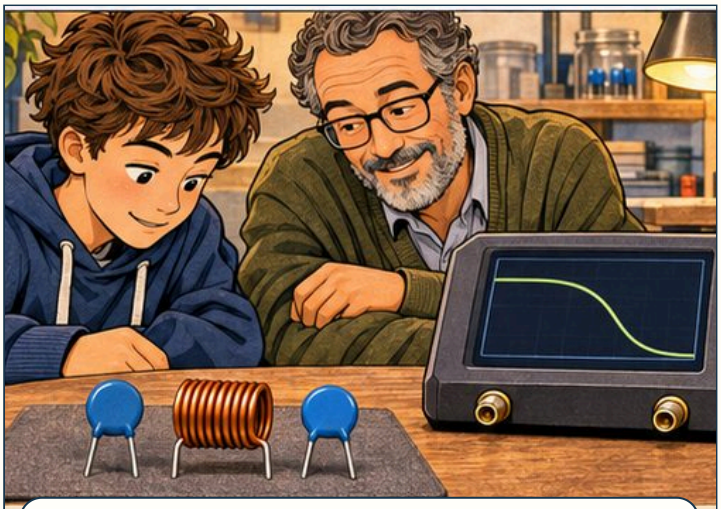
Componentes con la misma inscripción pueden diferir ligeramente.



Una simulación puede explorar varias combinaciones de valores.



Ayuda a prever un intervalo de respuestas posibles.



La medida examinará después las piezas realmente utilizadas.

Los componentes ocultos



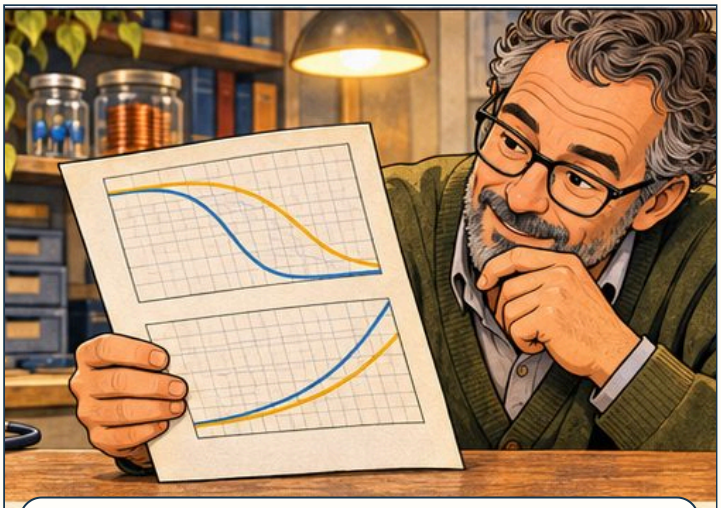
Una bobina real también tiene resistencia y capacidad parásita.



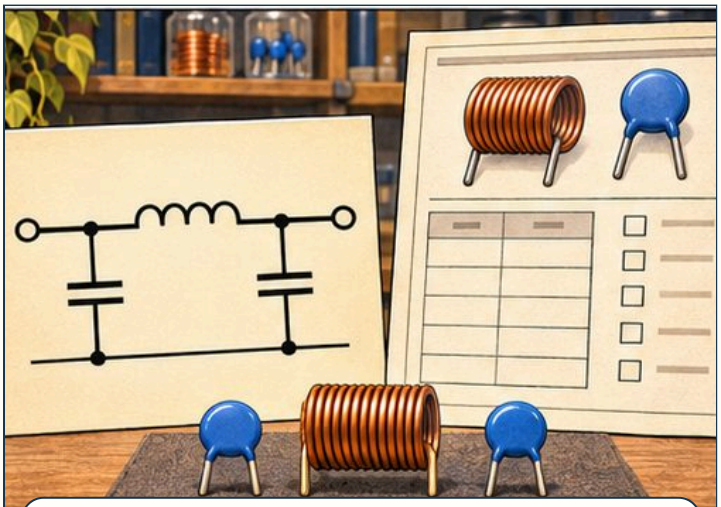
Un condensador tiene, entre otras cosas, pérdidas e inductancia parásita.



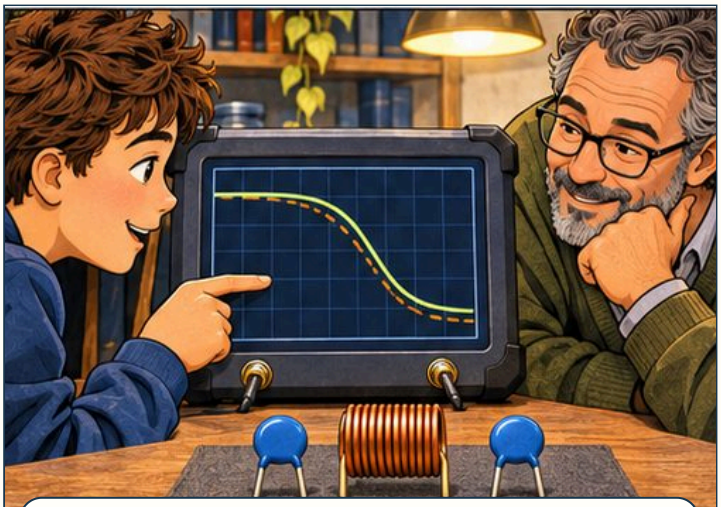
Su comportamiento cambia cerca de ciertas resonancias.



Las fichas técnicas indican límites que hay que examinar.



El valor en picofaradios o microhenrios no basta.



El joven aprende a leer más allá de la primera línea.

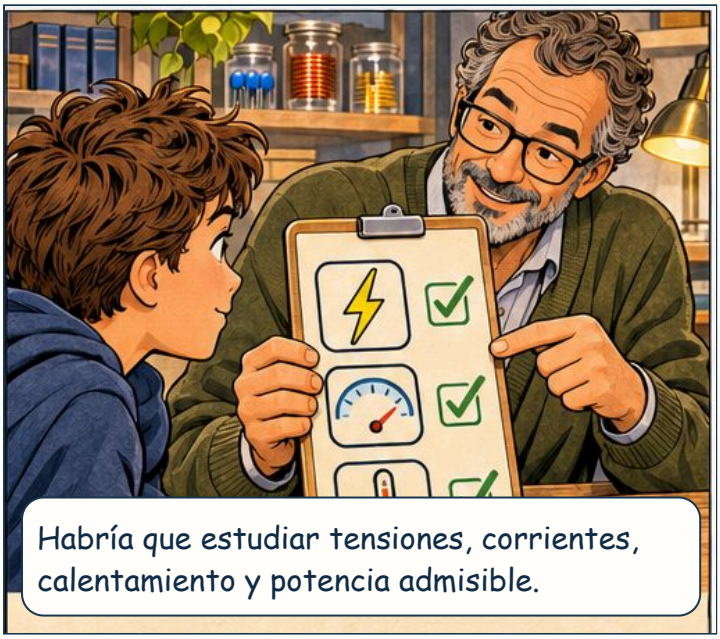
Un banco no califica un transmisor



El demostrador solo recibe la pequeña señal prevista por el analizador.



El uso en transmisión exigiría otras verificaciones.



Habría que estudiar tensiones, corrientes, calentamiento y potencia admisible.



La tensión admisible de un condensador no califica todo el filtro.

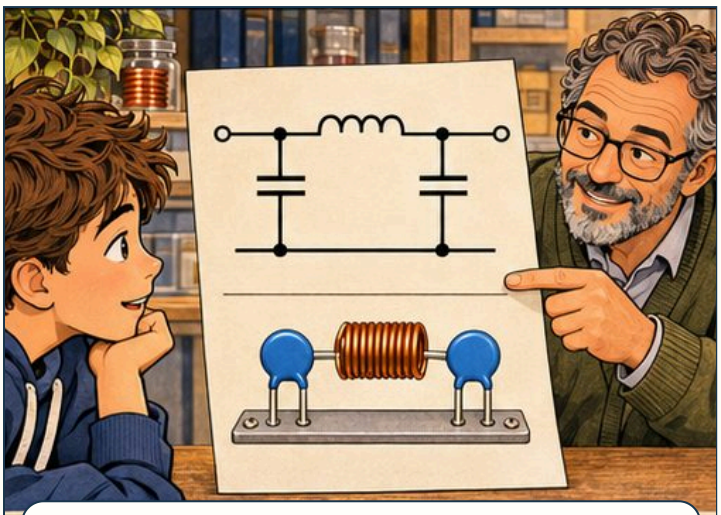


Este taller no incluye pruebas de potencia.

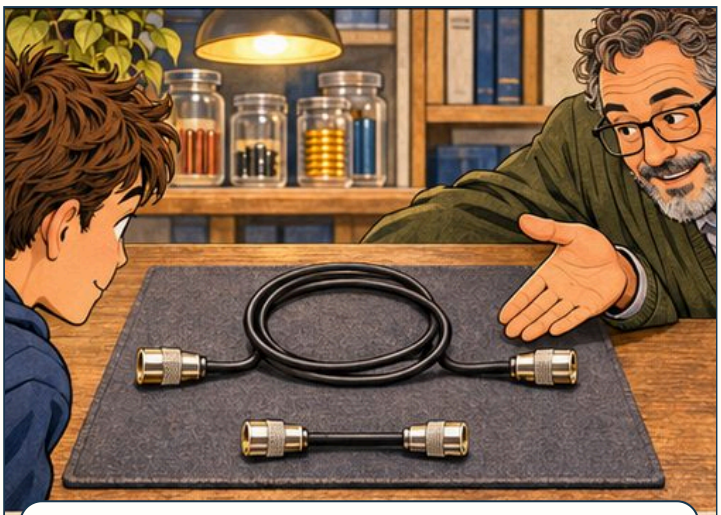


El joven escribe claramente los límites de su realización.

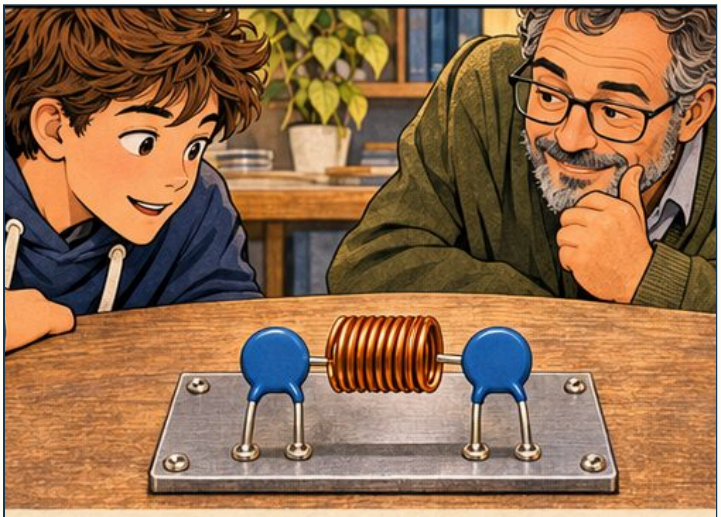
Dibujar la disposición



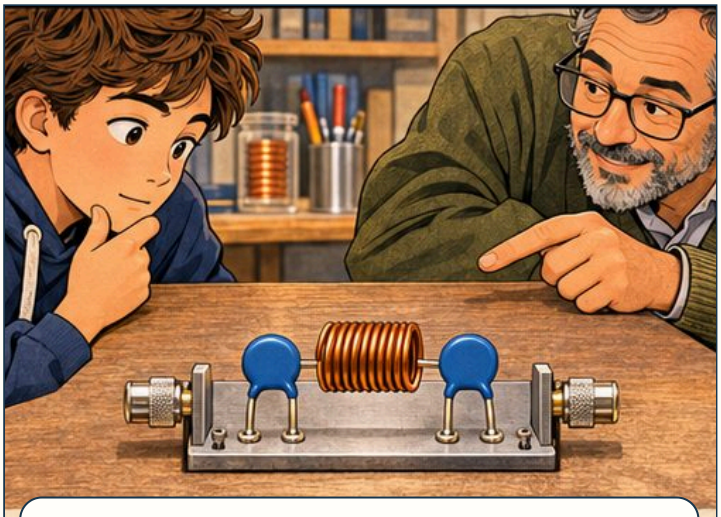
El esquema indica conexiones, pero no toda su geometría.



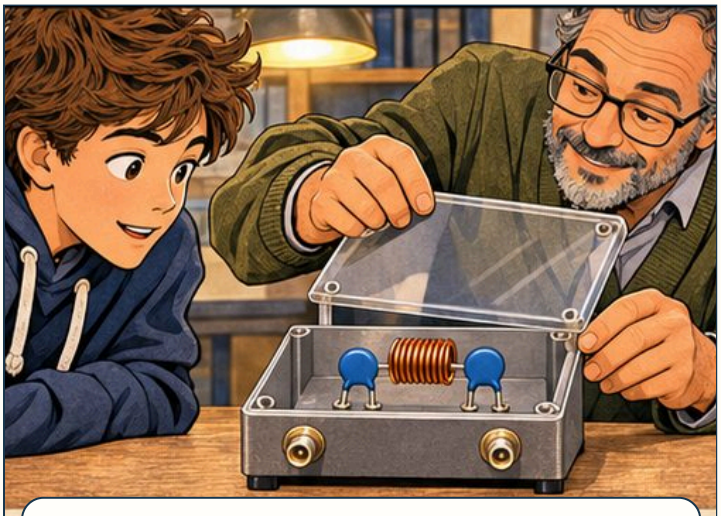
A estas frecuencias pueden importar las longitudes y la disposición.



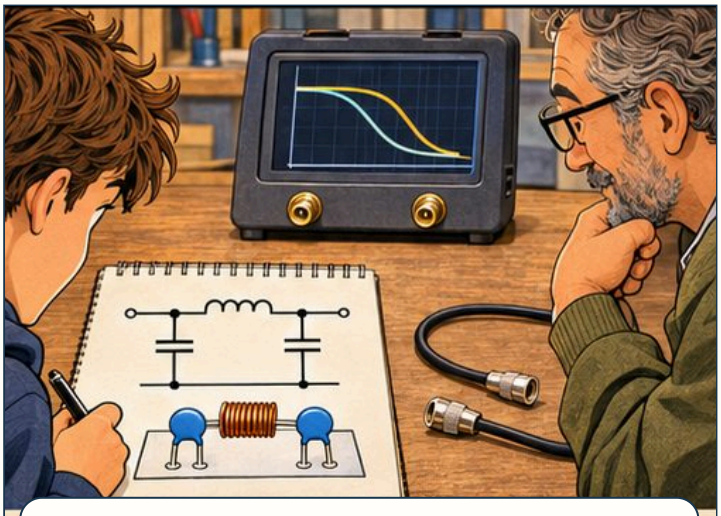
Prevén una masa común y conexiones cortas.



También separan caminos que puedan acoplarse directamente.



Henri prepara un demostrador adecuado para medir.

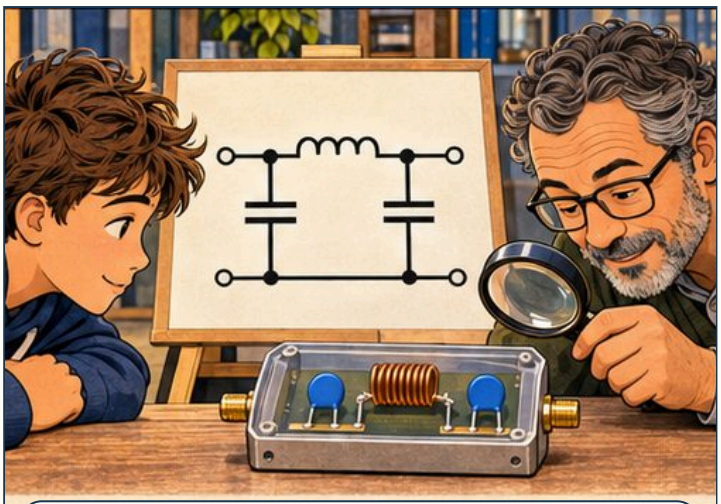


Lucas compara disposición y esquema, conexión por conexión.

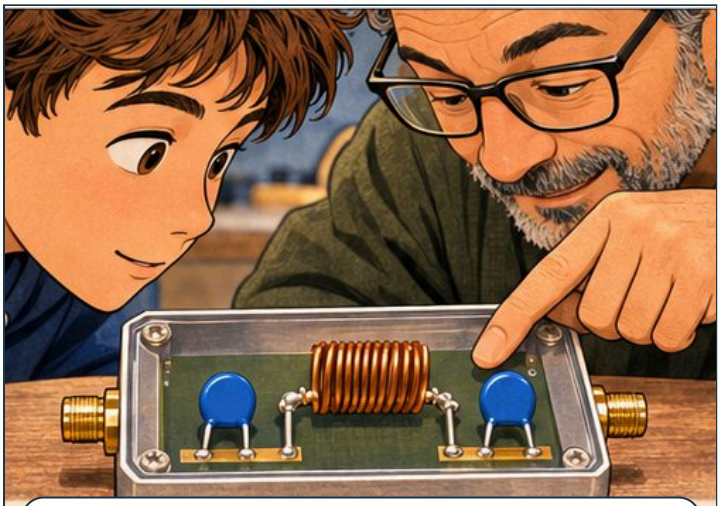
Revisar antes de conectar



La fuente de medida permanece apagada durante la preparación.



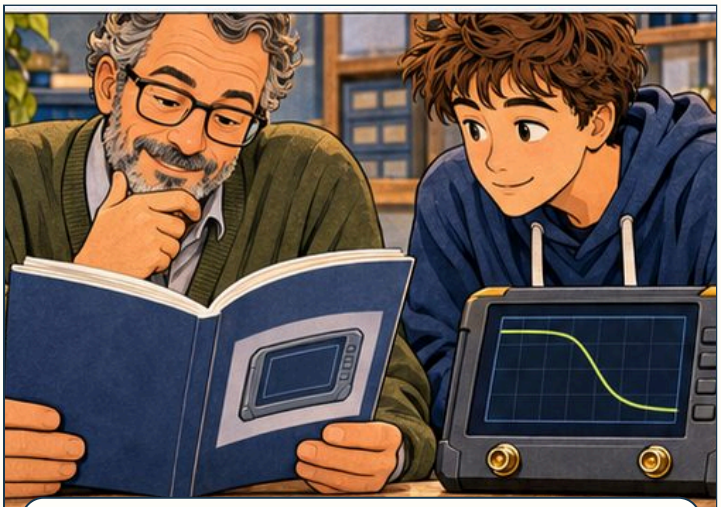
Revisan conexiones, componentes y masa común.



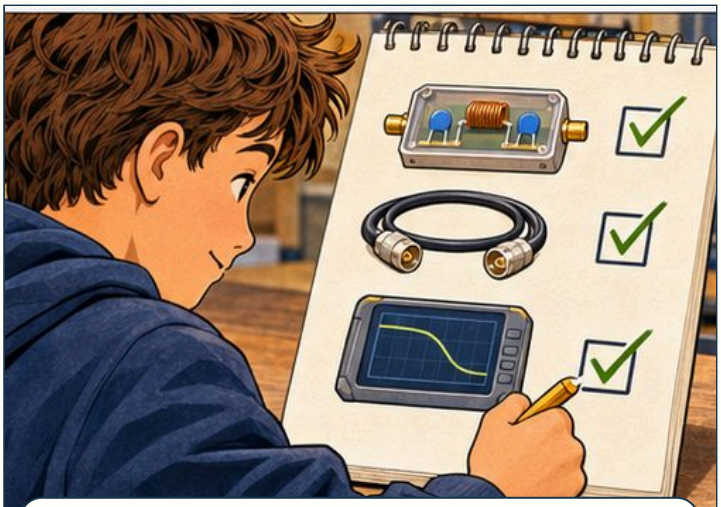
Buscan cortocircuitos, conexiones erróneas y piezas dañadas.



Después inspeccionan conectores y cables.



El mentor comprueba los límites de entrada del equipo.

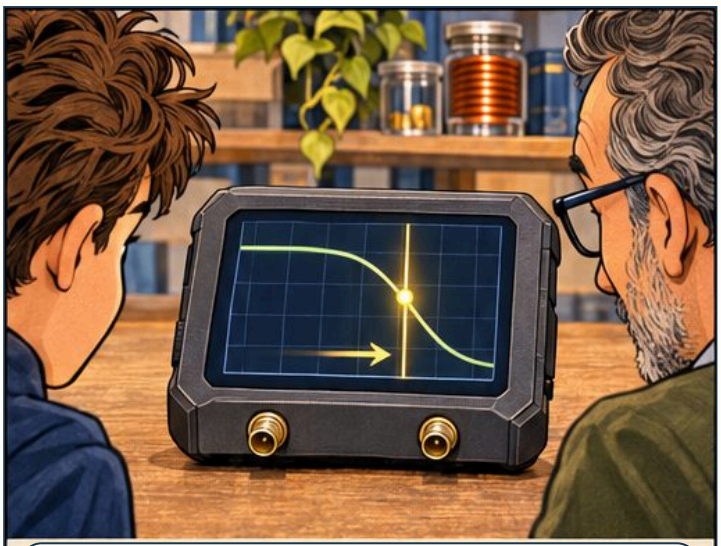


El joven termina su lista antes del primer barrido.

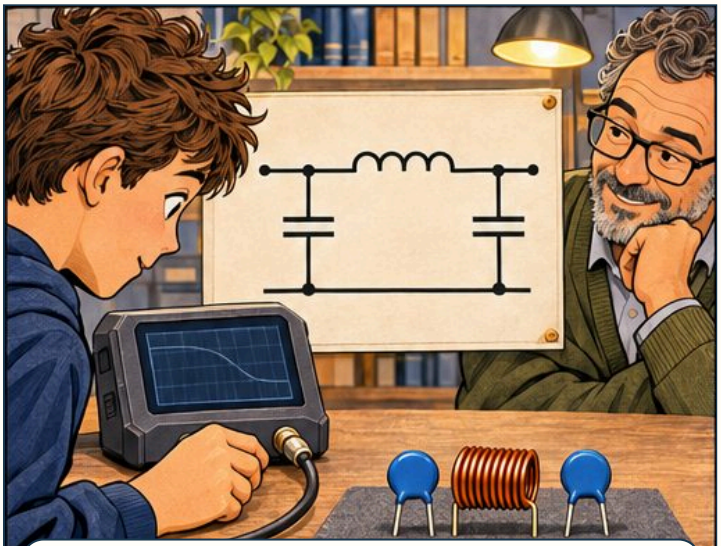
El analizador pregunta



El analizador de redes envía una pequeña señal conocida.



Barre un intervalo de frecuencias elegido.



El puerto 1 alimenta la entrada del filtro.



El puerto 2 observa la transmisión en la salida.



El parámetro S21 permite seguir esa transmisión.



Los puertos proporcionan las referencias previstas de 50 Ω.

Calibrar en el lugar correcto



Los cables y adaptadores participan en la medida.



Siguen, por tanto, el procedimiento de calibración del equipo.



Los patrones adecuados se conectan según su manual.



Los planos de referencia se sitúan en los extremos de los cables.



Tras calibrar, conservan esas conexiones siempre que sea posible.



El joven anota la configuración y los ajustes del barrido.

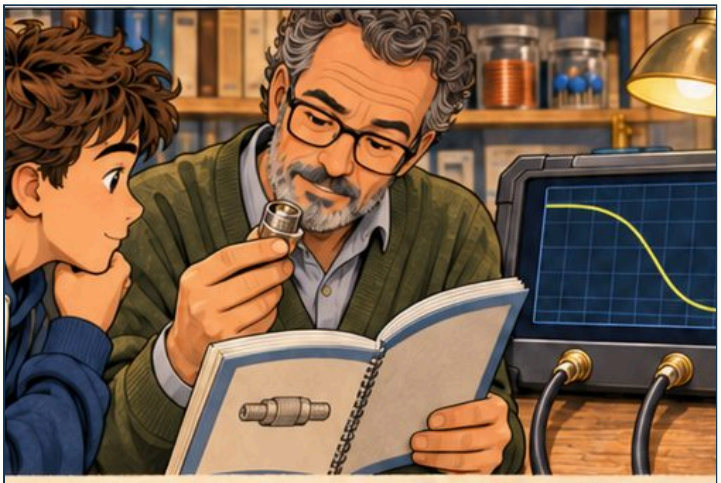
Comprobar el camino directo



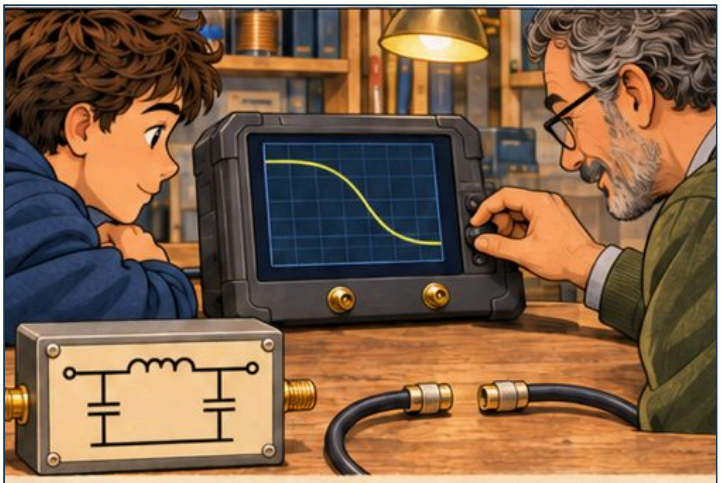
Antes del filtro, una conexión directa verifica la referencia.



La transmisión esperada debe ser compatible con esa conexión.



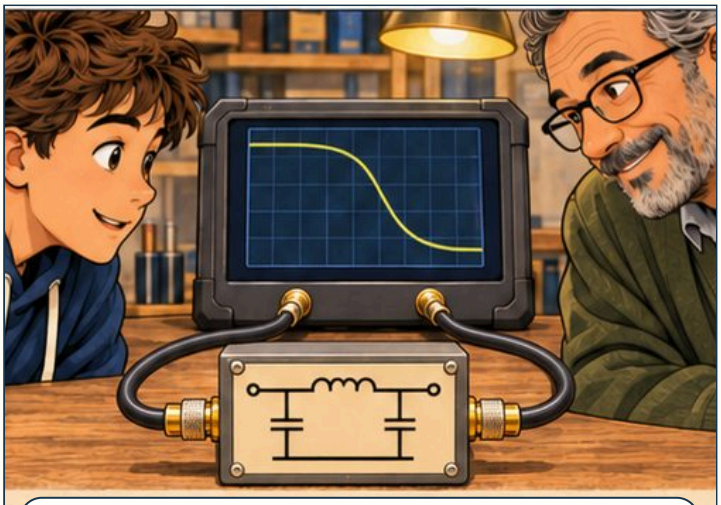
Una anomalía obliga a revisar cables, calibración y ajustes.



No se modifica un filtro para ocultar un fallo del banco.



Terminada la revisión, detienen la fuente para conectar.

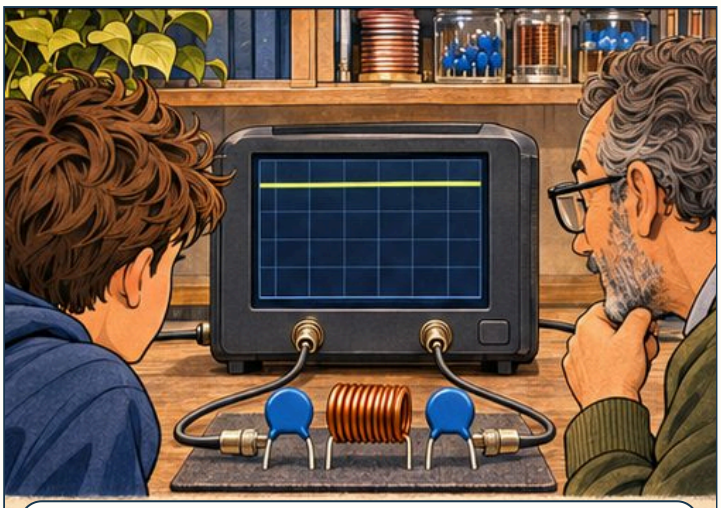


El filtro ocupa después su lugar entre ambos cables.

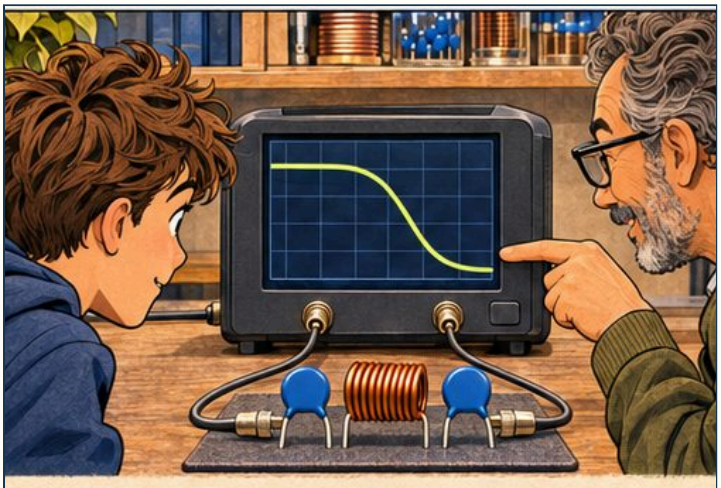
El primer barrido



Inician un barrido que cubre la banda útil y la transición.



La traza permanece más alta a bajas frecuencias.



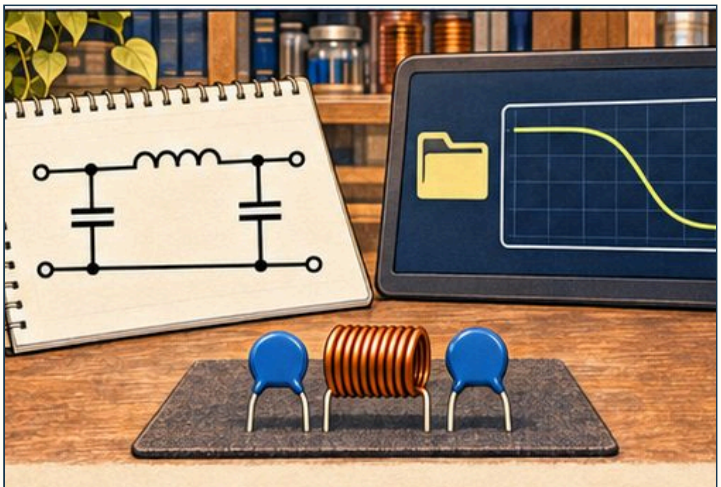
Después desciende al aumentar la frecuencia.



El joven reconoce la forma prevista sin suponer una igualdad perfecta.

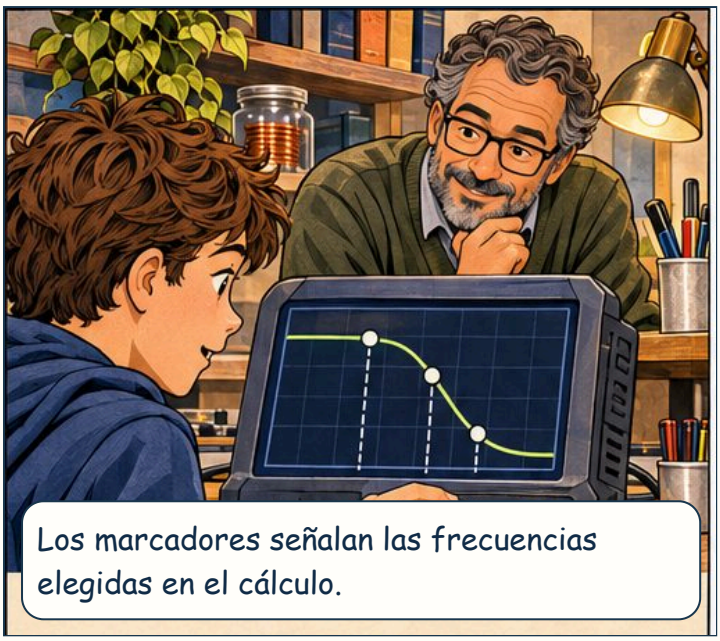


Guarda la traza y las condiciones de medida.



Un resultado guardado permite comparar tras cada modificación.

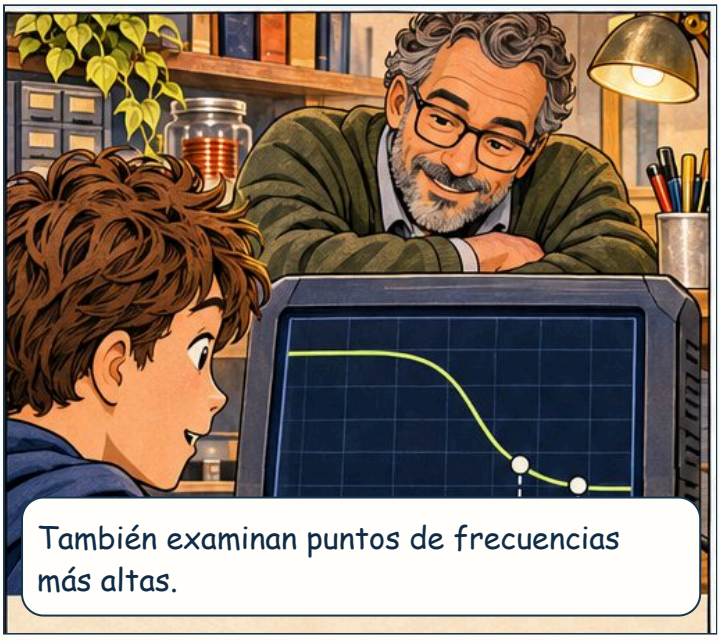
Leer puntos precisos



Los marcadores señalan las frecuencias elegidas en el cálculo.



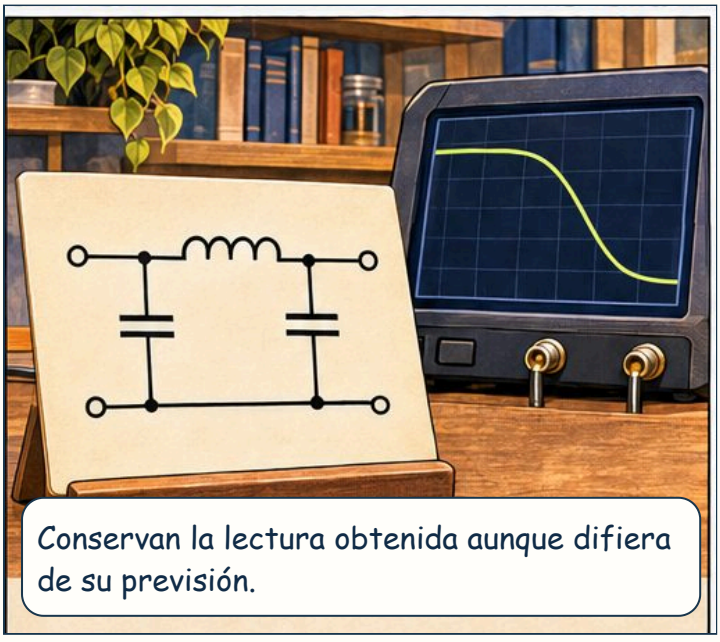
Leen la transmisión alrededor del corte esperado.



También examinan puntos de frecuencias más altas.



Las lecturas reales van en la columna de medidas.



Conservan la lectura obtenida aunque difiera de su previsión.



El joven indica también la fecha y la configuración.

Comprender una desviación



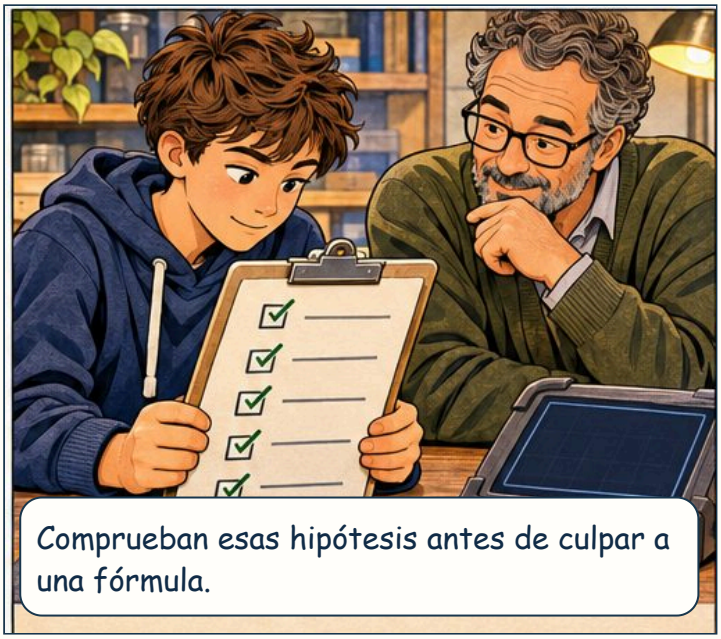
El corte observado puede diferir del calculado.



Los valores elegidos y sus tolerancias ofrecen primeras pistas.



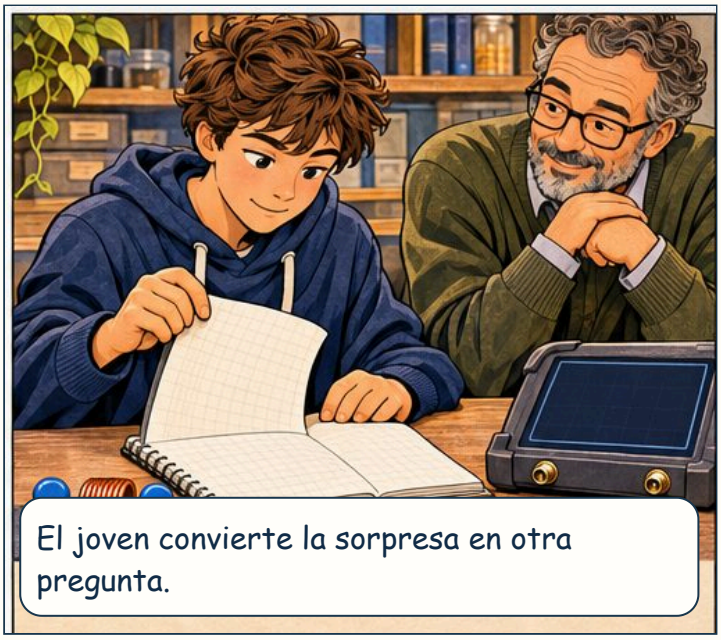
Pérdidas, disposición y calibración también merecen revisión.



Comprueban esas hipótesis antes de culpar a una fórmula.

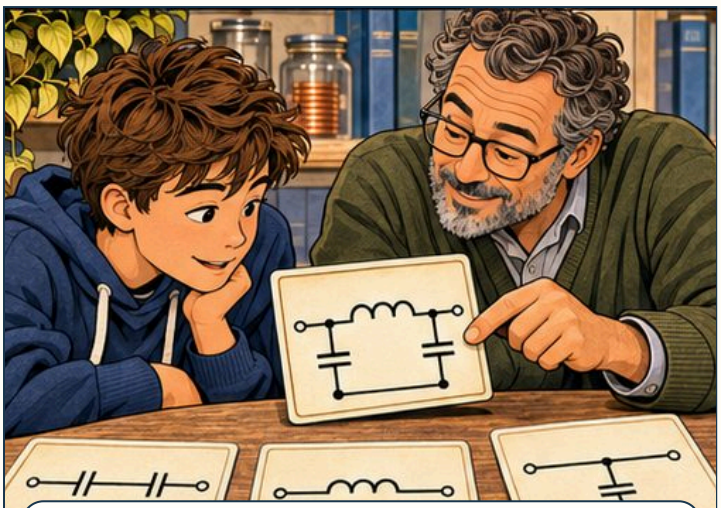


Una curva diferente no explica por sí sola su origen.

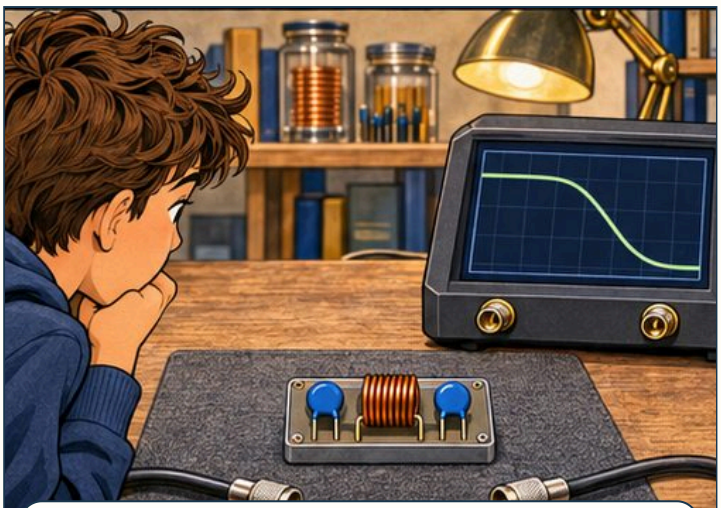


El joven convierte la sorpresa en otra pregunta.

Una modificación cada vez



Eligen una hipótesis y preparan un cambio justificado.



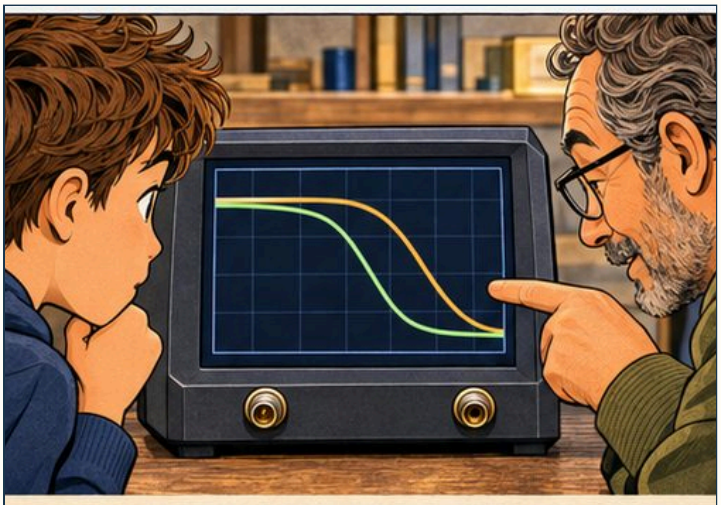
Detienen la fuente y desconectan el módulo antes de intervenir.



Henri realiza el cambio y revisa el circuito.



El barrido se repite en las mismas condiciones documentadas.

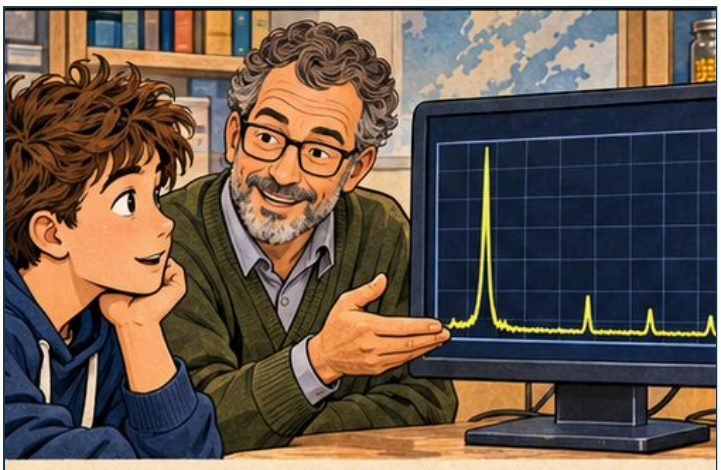


Comparan la traza antigua con la nueva.

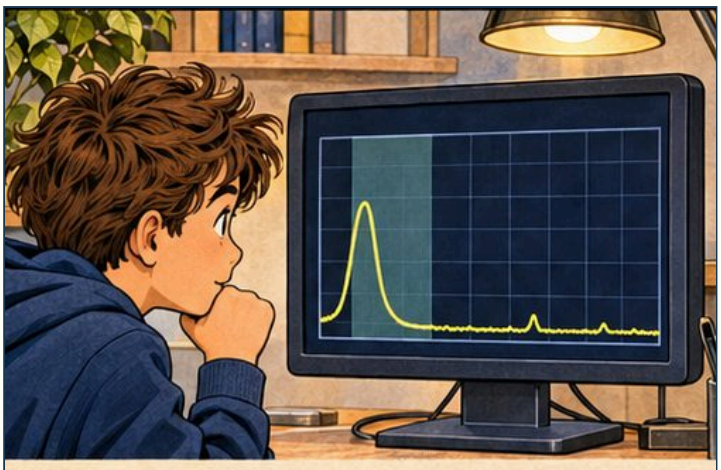


El método evita mezclar varias causas posibles.

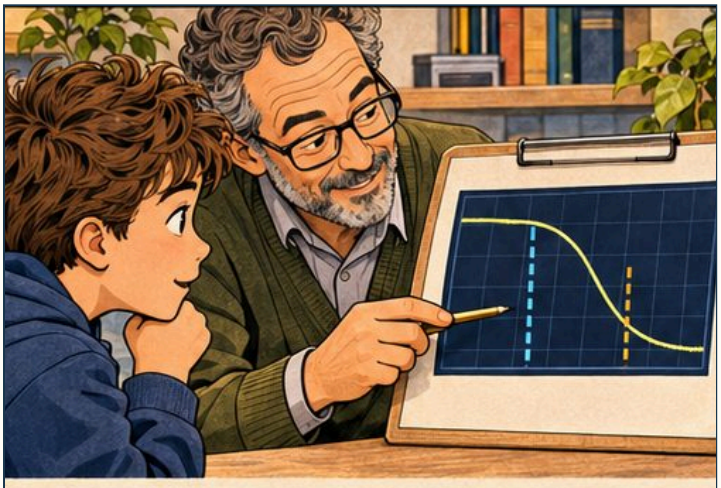
La atenuación tiene límites



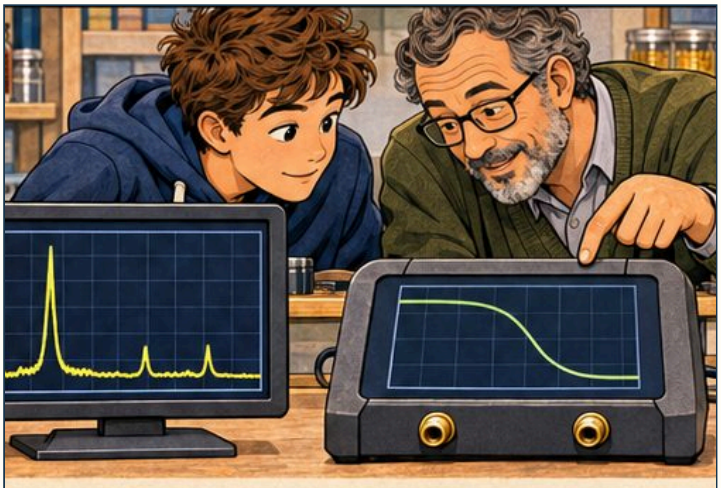
Un paso bajo no elimina todos los componentes indeseados.



Un componente en su banda pasante apenas se atenúa.



El rechazo depende de la frecuencia y la realización.



Un control espectral completo exigiría otras medidas adecuadas.



Tener un filtro no demuestra la conformidad de una estación.

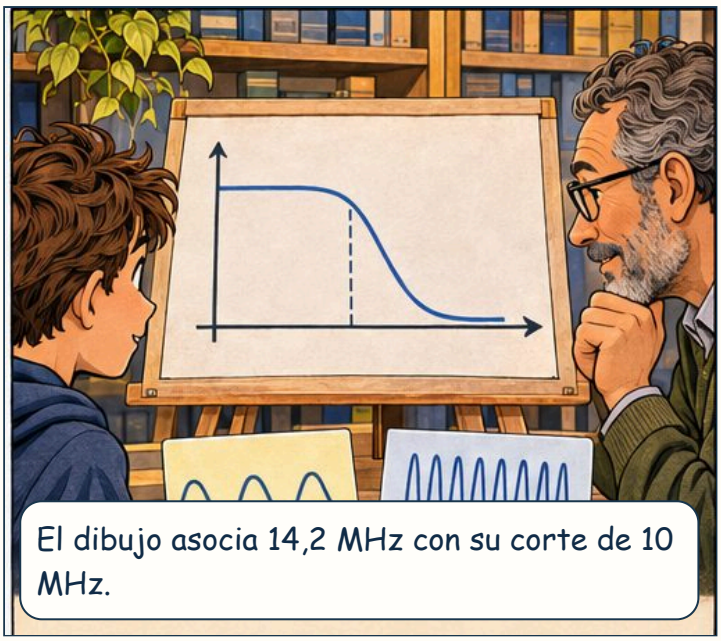


El joven distingue una función útil de una garantía general.

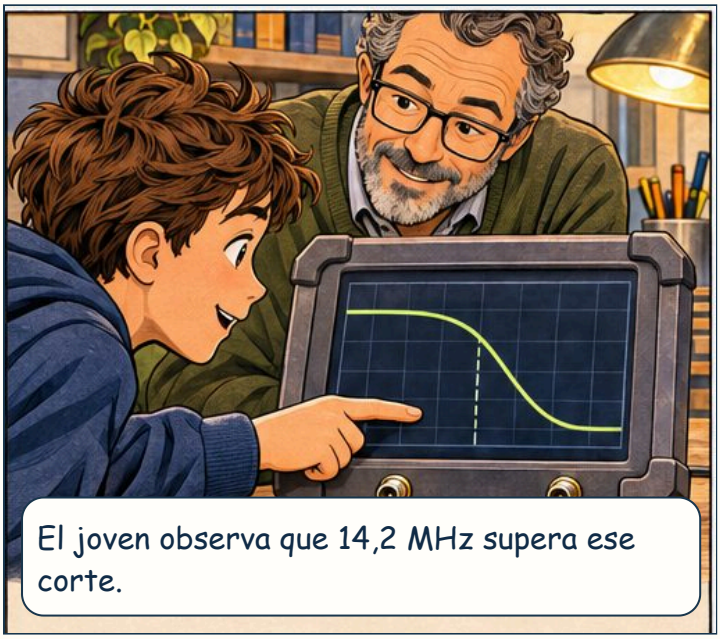
La frecuencia útil debe pasar



Por último, el mentor plantea una trampa en un dibujo de estación.



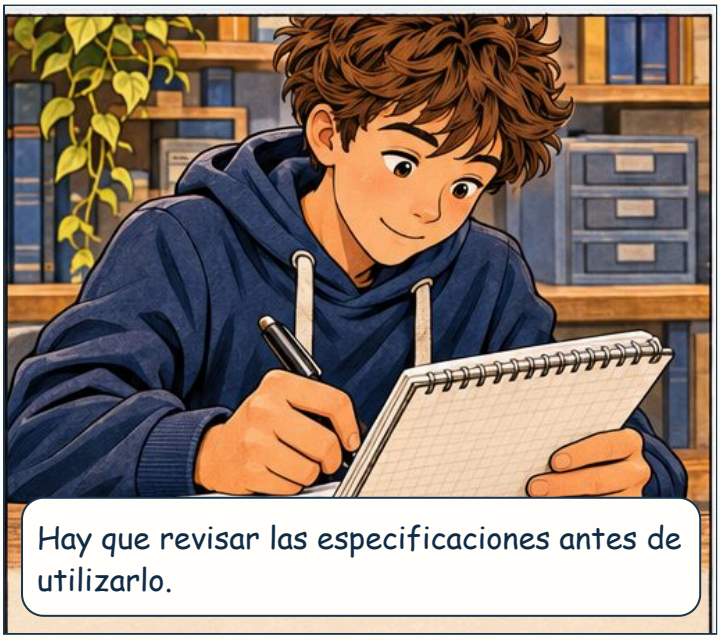
El dibujo asocia 14,2 MHz con su corte de 10 MHz.



El joven observa que 14,2 MHz supera ese corte.



Esa elección también atenuaría la señal deseada.



Hay que revisar las especificaciones antes de utilizarlo.



Un ejemplo de cálculo no es un filtro universal.

Preparar una explicación compartible



Lucas reúne necesidad, esquema, cálculos y selección de componentes.



Distingue las previsiones de los resultados realmente observados.



Precisa las referencias de 50 Ω y la pequeña señal usada.



Conserva trazas, calibración y límites del experimento.



Henri interpreta a un visitante y hace una última pregunta.



Ahora el joven explica por qué importa cada condición.

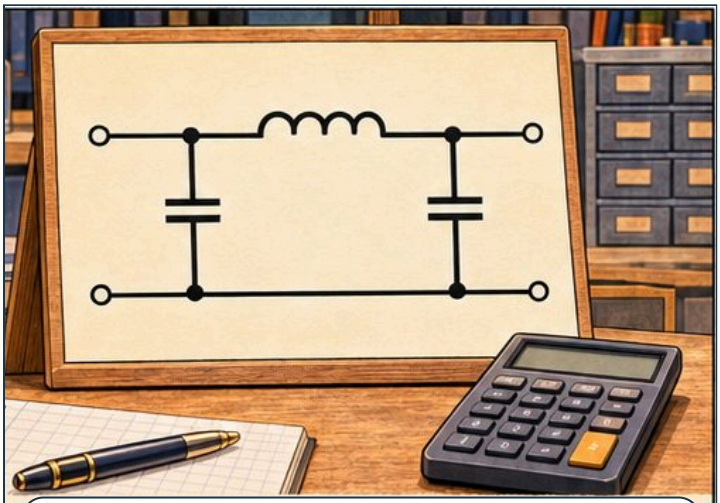
Comprender, calcular, medir



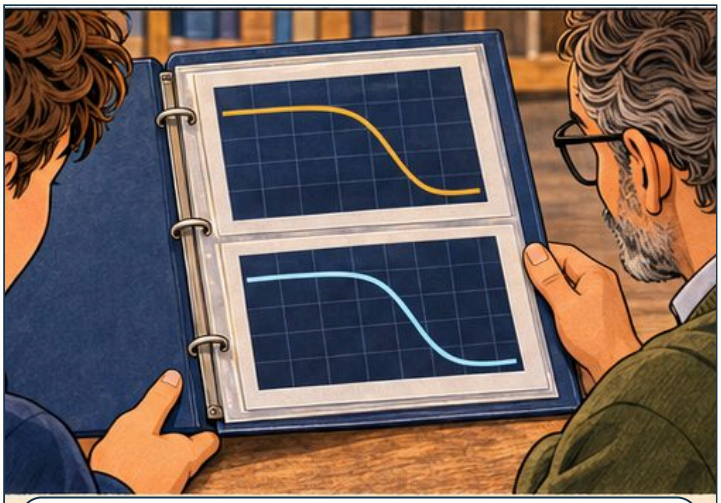
Los tres componentes vuelven a la caja didáctica.



El joven ya relaciona una necesidad con la respuesta de un filtro.



Sabe calcular este Butterworth en π y comprobar las unidades.



También sabe medir, comparar y cuestionar desviaciones.



El cuaderno conserva un método, sus hipótesis y sus límites.



En el club, el próximo descubrimiento ya empieza con una pregunta.