

# atenuador – attenuator

Authored by  
**memjavad**

November 1, 2025

## RECOMMENDED CITATION

memjavad (2025). *atenuador – attenuator*. Spanish Psychological Databases. Retrieved from <https://spanish.arabpsychology.com/?p=2381>

## Atenuador

**Primary Disciplinary Field(s):** Ingeniería Eléctrica, Telecomunicaciones, Ingeniería de Radiofrecuencia (RF), Acústica, Ingeniería Óptica

### 1. Definición y Principios Fundamentales

El **atenuador** es un dispositivo electrónico, óptico o acústico, generalmente de naturaleza pasiva, diseñado con el propósito fundamental de reducir la amplitud o potencia de una señal sin introducir una distorsión significativa en su forma de onda. Su función primaria es disipar parte de la energía de la señal de entrada, entregando una señal de salida con una potencia predeterminada inferior. Esta reducción de potencia se cuantifica típicamente en **decibelios** (dB), una escala logarítmica que facilita la expresión de grandes variaciones de potencia o voltaje. A diferencia de los amplificadores, que añaden energía al sistema, los atenuadores son intrínsecamente pasivos (aunque existen atenuadores variables controlados activamente) y operan mediante la conversión de la energía de la señal no deseada en calor.

La necesidad de atenuación surge en multitud de contextos de ingeniería. Por ejemplo, en los sistemas de radiofrecuencia (RF) y microondas, es común que la potencia generada por una fuente sea excesiva para la etapa de recepción o para los instrumentos de medición sensibles. Si se aplica una señal demasiado potente directamente a un dispositivo delicado, como un mezclador o un analizador de espectro, podría dañarlo permanentemente o llevarlo a un régimen de funcionamiento no lineal, introduciendo artefactos y mediciones erróneas. El atenuador actúa como un "amortiguador" de potencia, asegurando que los niveles de señal se mantengan dentro de los rangos operativos seguros y óptimos de los componentes subsiguientes.

Es crucial entender que la atenuación no es simplemente una pérdida no deseada inherente al sistema, sino una característica de diseño intencional. Un atenuador ideal debe cumplir con varios criterios estrictos, siendo el más importante la linealidad y la constancia de su valor de atenuación a través del rango de frecuencia de interés. Si la atenuación varía significativamente con la frecuencia, el dispositivo introduce una distorsión en la respuesta de frecuencia de la señal, lo cual es inaceptable en sistemas de alta fidelidad o comunicaciones de banda ancha. Además, el atenuador debe mantener una **adaptación de impedancia** adecuada con los circuitos adyacentes, minimizando las reflexiones de potencia que podrían surgir en las interfaces.

### 2. Fundamentos Matemáticos de la Atenuación

La atenuación se define matemáticamente mediante la relación logarítmica entre la potencia de entrada y la potencia de salida. La unidad estándar utilizada es el decibelio (dB). La fórmula para calcular la atenuación (A) en decibelios, basada en la potencia de entrada ( $P_{in}$ ) y la potencia

de salida ( $P_{out}$ ), es la siguiente:  $A_{dB} = 10 \cdot \log_{10} (P_{in} / P_{out})$ . Dado que el atenuador reduce la potencia, la relación  $P_{in} / P_{out}$  siempre es mayor que uno, resultando en un valor positivo de atenuación. Una atenuación de 3 dB, por ejemplo, implica que la potencia de salida es la mitad de la potencia de entrada.

Si se trabaja con voltajes en lugar de potencias, la fórmula se ajusta, asumiendo que las impedancias de entrada y salida son iguales, lo cual es el caso ideal para la mayoría de los atenuadores de RF. La atenuación en decibelios basada en el voltaje de entrada ( $V_{in}$ ) y el voltaje de salida ( $V_{out}$ ) es:  $A_{dB} = 20 \cdot \log_{10} (V_{in} / V_{out})$ . La relación entre voltaje y potencia en dB (10 veces el logaritmo de la potencia) versus 20 veces el logaritmo del voltaje se debe a que la potencia es proporcional al cuadrado del voltaje ( $P \propto V^2$ ). Esta convención logarítmica simplifica enormemente el diseño y el análisis de sistemas complejos, ya que las ganancias y atenuaciones de etapas consecutivas simplemente se suman o restan.

El diseño de atenuadores resistivos, comunes en frecuencias bajas e intermedias, se basa en la Teoría de Redes. Para garantizar la adaptación de impedancias, las resistencias internas del atenuador se seleccionan cuidadosamente para que la impedancia vista desde la entrada y la impedancia vista desde la salida coincidan con la impedancia característica del sistema (típicamente 50 ohmios o 75 ohmios). Si esta condición no se cumple, se produce un **desacoplamiento de impedancias**, lo que resulta en la reflexión de energía de vuelta a la fuente, causando pérdidas adicionales y variaciones de amplitud incontroladas. La capacidad de un atenuador para mantener una baja relación de onda estacionaria (VSWR) es un indicador directo de su calidad en términos de adaptación de impedancia.

### 3. Desarrollo Histórico y Contexto Disciplinario

El concepto de atenuación se hizo relevante con el desarrollo de la ingeniería eléctrica y de telecomunicaciones a principios del siglo XX. Con la proliferación de la radiodifusión y los sistemas telefónicos de larga distancia, surgió la necesidad crítica de controlar con precisión los niveles de señal. Inicialmente, los atenuadores eran implementados como simples divisores de voltaje resistivos. Sin embargo, a medida que las frecuencias de operación aumentaron, especialmente durante y después de la Segunda Guerra Mundial con el auge de la tecnología de radar y microondas, fue necesario desarrollar diseños que mantuvieran un rendimiento estable a través de un ancho de banda amplio.

El desarrollo de las redes resistivas balanceadas y desbalanceadas, como las configuraciones **Pi** ( $\pi$ ) y **Tee** (T), proporcionó las bases para el diseño de atenuadores de banda ancha. Estas configuraciones, que utilizan tres resistencias para lograr la atenuación deseada mientras mantienen la impedancia característica, se convirtieron en el estándar de la industria. La transición de la ingeniería de baja frecuencia a la ingeniería de RF y microondas implicó una evolución en la

construcción física de los atenuadores, pasando de componentes de cableado a estructuras más complejas basadas en líneas de transmisión y guías de onda, donde los efectos parasitarios y la distribución espacial de los campos electromagnéticos se vuelven críticos.

En el ámbito de la [comunicación óptica](#), la necesidad de atenuadores surgió con la masificación de los sistemas de fibra óptica en las últimas décadas del siglo XX. A diferencia de la atenuación eléctrica (que disipa energía en forma de calor), la atenuación óptica reduce la potencia de la luz. Los atenuadores ópticos son esenciales para evitar la saturación de los fotodetectores o para igualar los niveles de potencia entre diferentes canales en sistemas de multiplexación por división de longitud de onda (WDM). Esta evolución demuestra cómo el principio fundamental de la atenuación se adapta a diferentes medios físicos, desde electrones en conductores hasta fotones en fibras de vidrio.

#### 4. Parámetros Operacionales y Características Clave

La selección y el uso adecuado de un atenuador dependen de varios parámetros operativos críticos que definen su rendimiento en un sistema dado. Uno de los parámetros más importantes, además del valor nominal de atenuación (en dB), es el **rango de frecuencia**. Un atenuador diseñado para audiofrecuencias no funcionará correctamente en el rango de microondas, ya que las inductancias y capacitancias parásitas de sus componentes resistivos se volverían dominantes, alterando drásticamente el valor de atenuación y la adaptación de impedancia. Los atenuadores de RF de alta calidad se construyen utilizando técnicas especializadas, como resistencias de película delgada, para minimizar estos efectos parásitos.

Otro parámetro fundamental es la **capacidad de manejo de potencia**. Dado que el atenuador disipa la potencia de entrada en forma de calor, debe ser capaz de soportar esta disipación sin sobrecalentarse o fallar. Los atenuadores de alta potencia, utilizados por ejemplo en la salida de transmisores de radio potentes, requieren grandes disipadores de calor y construcciones robustas. Si un atenuador se utiliza más allá de su límite de potencia nominal, su valor resistivo puede cambiar debido al aumento de temperatura, provocando una atenuación inestable, o, en el peor de los casos, la destrucción física del componente.

Finalmente, la **precisión y estabilidad** son características esenciales. La precisión se refiere a cuán cerca está el valor real de atenuación del valor nominal especificado por el fabricante. La estabilidad se refiere a la capacidad del atenuador para mantener su valor de atenuación constante a lo largo del tiempo, bajo variaciones de temperatura y potencia de entrada. En aplicaciones de laboratorio y metrología, donde la calibración precisa es vital, se utilizan atenuadores de precisión extremadamente alta, a menudo calibrados con trazabilidad a estándares nacionales. Estos dispositivos suelen ser atenuadores de pasos (*step attenuators*) que permiten seleccionar valores discretos y altamente repetibles.

## 5. Tipologías Estructurales en Ingeniería Electrónica

En la ingeniería electrónica, los atenuadores resistivos se clasifican principalmente según su topología de red, siendo las configuraciones Pi y T las más comunes. La elección entre la topología Pi y T a menudo depende de la facilidad de construcción en el medio físico específico (por ejemplo, en circuitos impresos o en guías de onda) y de los requisitos de simetría. Ambos diseños son simétricos si están diseñados para operar entre impedancias iguales (por ejemplo, 50 ohmios a 50 ohmios).

Además de las topologías fijas, los atenuadores se clasifican según su variabilidad:

**Atenuadores Fijos:** Ofrecen un valor de atenuación constante y predeterminado. Son la opción más sencilla y económica, utilizados cuando el requisito de nivel de señal es inmutable.

**Atenuadores Variables (Continuos):** Permiten el ajuste continuo de la atenuación dentro de un rango. Se implementan a menudo mediante potenciómetros o divisores resistivos deslizantes, aunque en RF, esto puede ser difícil de lograr sin afectar la adaptación de impedancia.

**Atenuadores de Pasos (Step Attenuators):** Utilizan una serie de atenuadores fijos que pueden conmutarse en cascada o individualmente, ofreciendo valores discretos y muy precisos (por ejemplo, 1 dB, 2 dB, 4 dB, etc.). Son fundamentales en equipos de prueba y medición.

**Atenuadores Controlados Electrónicamente (Digitales o PIN Diode Attenuators):** Utilizados en sistemas automáticos (como radios definidas por software). Estos dispositivos utilizan interruptores de diodo PIN o transistores para cambiar la configuración de la red resistiva o reactiva, permitiendo un control rápido y programable de la atenuación.

En el dominio de las microondas, donde las longitudes de onda son comparables a las dimensiones del dispositivo, los atenuadores resistivos tradicionales se reemplazan o complementan con estructuras basadas en líneas de transmisión. Por ejemplo, los atenuadores de guía de onda utilizan materiales absorbentes que se insertan en la guía para disipar la energía electromagnética. Los atenuadores [stripline](#) y microstrip integran elementos resistivos directamente en el sustrato del circuito impreso, asegurando una buena respuesta de frecuencia hasta las bandas de gigahercios.

## 6. Aplicaciones Críticas en Telecomunicaciones y Sistemas Ópticos

El atenuador desempeña roles indispensables en la infraestructura moderna de las telecomunicaciones. En los sistemas de transmisión por cable o inalámbricos, se utilizan para equilibrar la potencia de las señales. En una red de distribución de televisión por cable, por ejemplo, la señal se debilita a medida que se aleja de la cabecera; sin embargo, en puntos

cercanos a la cabecera, la señal podría ser demasiado fuerte. Los atenuadores se instalan en las derivaciones más cercanas para **igualar los niveles de señal** entregados a todos los usuarios.

En el campo de la medición de RF, el atenuador es una herramienta de protección esencial. Al realizar pruebas en un transmisor de alta potencia, se utiliza un atenuador de alta potencia (a menudo un factor de 30 dB o 40 dB) para reducir la señal a un nivel que pueda ser manejado por un costoso analizador de espectro o medidor de potencia. Esto permite la caracterización precisa del transmisor sin riesgo de daño al equipo de prueba. Además, la calibración de muchos instrumentos requiere el uso de atenuadores de precisión para definir puntos de referencia conocidos con exactitud.

En los sistemas de fibra óptica, los **atenuadores ópticos** (OA) son vitales. Estos pueden ser de tipo fijo o variable. Los atenuadores fijos se utilizan para simular la pérdida de enlace que ocurriría en tramos largos de fibra, lo cual es útil para pruebas de margen de potencia. Los atenuadores ópticos variables (VOA) son fundamentales en los sistemas de comunicaciones avanzados, especialmente en la multiplexación densa por división de longitud de onda (DWDM), donde se deben igualar las potencias de las diferentes longitudes de onda para optimizar el rendimiento de los amplificadores ópticos (como los amplificadores de fibra dopada con erbio, [EDFA](#)). La atenuación óptica se logra mediante métodos como la absorción, la dispersión, o mediante el uso de filtros polarizadores o huecos de aire.

## 7. El Rol del Atenuador en la Adaptación de Impedancias

Aunque la función principal del atenuador es reducir la potencia, su capacidad para facilitar la adaptación de impedancias es igualmente significativa en el diseño de sistemas de RF y microondas. Un atenuador, cuando se diseña correctamente, puede mejorar el rendimiento de la interconexión entre dos componentes que, aunque nominalmente tienen la misma impedancia característica (por ejemplo, 50 ohmios), en la práctica presentan pequeñas imperfecciones de adaptación. Estas imperfecciones generan reflexiones de señal.

Al insertar un atenuador de valor moderado (típicamente 6 dB o 10 dB) entre la fuente y la carga, las reflexiones que regresan desde la carga hacia la fuente deben atravesar el atenuador dos veces. Esto reduce drásticamente la magnitud de la señal reflejada que llega a la fuente, mejorando efectivamente el **coeficiente de reflexión** percibido por la fuente. Este fenómeno se conoce como "efecto de amortiguación" (padding). Aunque el atenuador introduce una pérdida de potencia deseada, el beneficio de una mejor adaptación de impedancia y una menor sensibilidad a las variaciones de la carga a menudo supera esta pérdida en términos de estabilidad del sistema.

Este uso del atenuador es particularmente importante en la medición de [ruido electrónico](#). Las fuentes de ruido, como los generadores de ruido, son sensibles a la impedancia de la carga. Colocar un atenuador fijo de 10 dB entre el generador de ruido y el dispositivo bajo prueba

asegura que el generador "vea" una impedancia estable y bien adaptada, lo que resulta en una salida de ruido más precisa y repetible para la medición. Por lo tanto, el atenuador no solo protege, sino que también estandariza las condiciones de operación del sistema.

## 8. Consideraciones de Diseño y Limitaciones

El diseño de atenuadores, especialmente aquellos destinados a aplicaciones de banda ancha o alta potencia, presenta varios desafíos técnicos. Uno de los principales problemas es la **distorsión por temperatura**. Como se mencionó, la potencia disipada eleva la temperatura de los elementos resistivos, y si estos tienen un coeficiente de temperatura significativo, el valor de resistencia cambia, degradando la precisión de la atenuación. Los diseñadores mitigan esto utilizando materiales resistivos con coeficientes de temperatura bajos y asegurando una gestión térmica eficiente.

Otra limitación crítica es la respuesta plana en frecuencia. A medida que la frecuencia aumenta, los elementos resistivos comienzan a exhibir un comportamiento reactivo (inductivo o capacitivo) debido a su geometría física. Para atenuadores de microondas, esto requiere que las resistencias se diseñen como elementos de línea de transmisión, donde la resistencia se distribuye uniformemente para evitar la formación de ondas estacionarias internas. Si la respuesta en frecuencia no es plana, el atenuador actúa como un filtro, alterando la fidelidad de la señal transmitida.

Finalmente, la **intermodulación** es una preocupación en sistemas de comunicaciones que manejan múltiples señales simultáneamente. Un atenuador ideal debe ser perfectamente lineal. Sin embargo, en la práctica, especialmente bajo condiciones de alta potencia, pueden surgir no linealidades menores en los materiales o las uniones, lo que provoca la generación de productos de intermodulación. Esto es particularmente problemático en las estaciones base de telefonía móvil, donde la distorsión introducida por cualquier componente pasivo puede degradar la calidad de la señal y aumentar el ruido en el sistema. Los atenuadores pasivos de alta calidad están diseñados para tener una baja distorsión de intermodulación pasiva (PIM).

## 9. Lecturas Adicionales

[Atenuador - Wikipedia](#)

[RF Cafe: Attenuator Types and Formulas \(Referencia técnica\)](#)

[Keysight Technologies: Attenuator Basics \(PDF Técnico\)](#)