



## TEMA: CÁLCULO DE GANANCIA Y ATENUACIÓN EN LÍNEAS DE TRANSMISIÓN



Aporte de la Asignatura a las Competencias Específicas de la Carrera (CE)

- **Especificar, proyectar y desarrollar sistemas de comunicación de datos**, evaluando posibles soluciones tecnológicas disponibles para dar soporte a los sistemas de información en lo referido al procesamiento y comunicación de datos.  
(Nivel de aporte de la asignatura: **medio**)
- **Proyectar y dirigir lo referido a seguridad informática** para seleccionar y aplicar técnicas, herramientas, métodos y normas, garantizando la seguridad y privacidad de la información procesada y generada por los sistemas de información.  
(Nivel de aporte de la asignatura: **bajo**)
- **Certificar el funcionamiento, condición de uso o estado de** sistemas de información, **sistemas de comunicación de datos**, software, seguridad informática y calidad de software para asegurar la generación de los resultados deseados en función de restricciones de tiempo y recursos establecidos.  
(Nivel de aporte de la asignatura: **medio**)
- **Dirigir y controlar la implementación, operación y mantenimiento de** sistemas de información, **sistemas de comunicación de datos**, software, seguridad informática y calidad de software, a los fines de alcanzar los objetivos fijados por la organización.  
(Nivel de aporte de la asignatura: **medio**)

*Resultados de Aprendizaje que promueve la Asignatura*

- **RA1: Explicar las bases teóricas de la transmisión de señales**, identificando los conceptos físicos y matemáticos comprendidos en un sistema de comunicación de datos, para comprender su funcionamiento.

**Unidad: I, II y III**

- **RA2: Describir los principales componentes (físicos y lógicos) de un sistema de comunicación de datos**, distinguiendo las funciones de cada uno, a fin de poder integrarlos en un sistema de comunicación.

**Unidad: I, II, III, IV y V**

- **RA3: Experimentar los modos de transmisión**, utilizando herramientas y dispositivos de comunicaciones, dentro de un entorno controlado, para aplicar los conocimientos adquiridos sobre los tipos y características, de los medios físicos y los componentes de un sistema de comunicación de datos.

**Unidad: I, II, III y IV**

- **RA4: Reconocer las distintas perturbaciones de las señales**, en los medios físicos de transmisión, utilizando instrumentos y pruebas de certificación especificados para cada medio, con el fin de determinar la calidad de un canal de comunicación.

**Unidad: III, IV y V**

- **RA5: Describir el proceso de comunicación según el modelo de referencia OSI**, distinguiendo las funciones de cada una de sus capas y sus interrelaciones, para identificarlas dentro de un sistema de transmisión de datos.

**Unidad: V**

- **RA6: Comparar los componentes, lógicos y físicos, de los distintos servicios de transmisión de datos**, brindados por las empresas prestadoras del mercado actual según las distintas tecnologías de acceso a Internet, con el fin de seleccionar el más adecuado en una situación problemática determinada.

**Unidad: V**

### Heurística

Objetivos del diseño de la herramienta:

- Incorporar un enfoque heurístico en la resolución de problemas.
- Minimizar la frustración temprana de los estudiantes a la hora de resolver situaciones problemáticas.

- Promover el desarrollo de habilidades investigativas desde etapas iniciales.
- Desarrollar la competencia fundamental de “aprender a aprender”

Esta herramienta permite incorporar un enfoque heurístico en la resolución de problemas, utilizando reglas generales, atajos mentales o métodos aproximados en una primera instancia de análisis de la situación problemática a resolver, sobre todo cuando nos enfrentamos a problemas complejos y novedosos. Esta primera aproximación permite poner en contexto la situación a resolver, sus posibles soluciones y los resultados esperables, para luego de aplicar un análisis exhaustivo y sistemático que corrobore la exactitud de los resultados. El abordaje heurístico previo, disminuye notablemente la frustración inicial de los estudiantes cuando se enfrentan a la resolución de una guía de trabajos prácticos tradicional. A continuación, se presentan algunos aspectos clave de un enfoque heurístico en la resolución de problemas:

**Simplificación del problema:** Las heurísticas permiten reducir la complejidad de un problema dividiéndolo en partes más manejables, o abordando solo los aspectos más relevantes. Esto ayuda a enfocarse en los detalles clave y evitar la sobrecarga de información.

**Atajos mentales:** Los atajos mentales son reglas simples que permiten tomar decisiones rápidas basadas en patrones reconocibles. Estos atajos pueden ser útiles para simplificar la toma de decisiones, pero también pueden llevar a errores si no se aplican adecuadamente, en un análisis inicial favorece el debate entre pares y el trabajo colaborativo.

**Uso de ejemplos o analogías:** Los enfoques heurísticos pueden involucrar la búsqueda de situaciones pasadas similares o analogías que proporcionen pistas sobre cómo abordar el problema actual.

**Exploración de soluciones inmediatas:** En lugar de buscar la solución óptima, un enfoque heurístico puede llevar a cabo la búsqueda de soluciones que sean aceptables o satisfactorias en un período de tiempo más corto, contrastando con los valores esperables. Para luego buscar la solución óptima.

**Confianza en la intuición:** Los enfoques heurísticos a menudo dependen de la intuición y la experiencia personal para tomar decisiones. Esto puede ser útil en situaciones en las que se confía en la intuición desarrollada a lo largo del tiempo. La intuición tiene un marco formativo acentuado por la **acción cognitiva aplicada** cuando enfrentamos situaciones problemáticas en

repetidas ocasiones, cuando esto ocurre nuestro cerebro acumula información y patrones que pueden influir en cómo percibimos y abordamos futuros desafíos similares. Este proceso formativo se basa en la experiencia y puede fortalecer nuestra capacidad intuitiva.

**Adaptación a la información disponible:** Los enfoques heurísticos pueden ajustarse según la información disponible en el momento, lo que permite tomar decisiones rápidas incluso cuando no se tiene acceso a todos los datos necesarios, habitualmente el estudiante inexperto en un determinado contenido curricular, que se está analizando, tiene más dudas que certezas, por lo tanto disponer de un proceso de análisis conocido disminuye **la angustia y frustración**, y esto se verá claramente en la valoración que ellos mismos hacen sobre la herramienta.

**Aceptación de soluciones subóptimas:** En algunas situaciones, un enfoque heurístico puede llevar a soluciones que no son las óptimas, pero que son lo suficientemente buenas para el propósito en cuestión. Esto da paso a la etapa posterior, que consiste en la **elaboración de la respuesta definitiva**, contrastada con las otras respuestas obtenidas por sus pares. En este proceso el aprendizaje también es aportado a partir de los errores, que es de dónde uno más aprende. Encontrar soluciones es parte del aprendizaje, pero saber que puede ser falsable, aporta una concepción más científica y metodológica, evita una temprana frustración y prepara el camino para el desarrollo de un perfil de investigador en una etapa temprana.

La **estructura de las “Heurísticas” es dinámica y depende de la complejidad de los temas** abordados y de la profundidad de los resultados de aprendizaje que nos proponemos obtener. En algunos casos contienen la metodología de resolución paso a paso de conceptos centrales, que luego se aplicarán en forma sistémica, dentro de un proceso más complejo. La herramienta propone soluciones posibles, pero aplicando otros criterios, los resultados cambian y muestran que la dinámica del contexto es fundamental tenerla en cuenta, sobre todo en el abordaje de soluciones en el ámbito de las telecomunicaciones.

Su aplicación, en forma piloto en las aulas, ha mostrado una aceptación y ponderación por parte de los estudiantes muy relevante.

## HEURÍSTICA I

Contribuye a lograr los **Resultados de Aprendizaje: 1 y 2**

## EL DECIBEL COMO MAGNITUD DE COMPARACIÓN

La primera aplicación importante del decibel tiene lugar cuando lo utilizamos como **“magnitud de comparación”**, es decir para expresar cuán grande es una potencia con respecto a otra, o bien cuán pequeño es un voltaje con respecto a otro, etc.

✓ **Primero:**

- Nos pondremos de acuerdo, emplearemos una convención para interpretar el significado de un resultado positivo (+) o de un resultado negativo (-) cuando se aplica la expresión logarítmica del decibel.

### El concepto de ganancia y pérdida

- ✓ No siempre la potencia que se encuentra en la salida de un circuito es más pequeña que la potencia que se aplicó en la entrada del mismo.
- ✓ Cuando el circuito tiene características de **“amplificador”**, los resultados serán inversos, es decir, la potencia obtenida en la salida del circuito será más grande que la potencia aplicada en la entrada del mismo.
- ✓ Hablaremos de **“ganancia de un circuito”** y de **“pérdida de un circuito”**, expresada en decibeles y utilizaremos **el signo** del resultado obtenido para poder tener una mejor idea del comportamiento de un sistema.
- ✓ Para ello, emplearemos la siguiente convención, en donde el orden establecido para el numerador y el denominador del logaritmo es muy importante:

$$n \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right)$$

- Diremos que hay **“ganancia”** cuando el resultado de esta expresión sea positivo (+) y, por el contrario, hablaremos de **“pérdida”** cuando el resultado sea negativo (-).

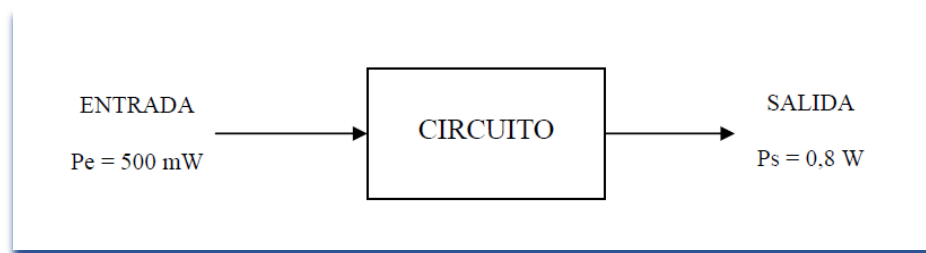
¿Cómo resolver los ejercicios sin morir en el intento?





## EJEMPLO 1

En el circuito de la figura siguiente, la potencia que se mide en la entrada es de **500 mW** mientras que en la salida la potencia es de **0,8 W**. Calcular la ganancia del circuito.



### Solución:

**¡Cuidado!** Para poder aplicar la fórmula del decibel, tanto la potencia en la entrada como la potencia en la salida deben estar expresadas en la **misma unidad**. En este caso ambas deberían estar en **vatios** o en **milivatios**, lo que en este ejemplo no ocurre.

- ✓  $P_e = 500 \text{ mW}$
- ✓  $P_s = 0,8 \text{ W} = 800 \text{ mW}$

### Entonces:

$$n \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right) = 10 \log \left( \frac{800}{500} \right) = + 2,04 \text{ dB}$$

### O bien:

- ✓  $P_e = 500 \text{ mW} = 0,5 \text{ W}$
- ✓  $P_s = 0,8 \text{ W}$



$$n \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right) = 10 \log \left( \frac{0,8}{0,5} \right) = + 2,04 \text{ dB}$$

Diremos que el circuito del ejemplo tiene una ganancia de **2,04 dB**. Si bien el signo positivo debería dejarse implícito, en este ejemplo hemos decidido explicitarlo para poder dejar las ideas bien claras.

### EJEMPLO 2:

Un transmisor inyecta una potencia de  $\frac{1}{4} \text{ W}$  a la entrada de la línea de transmisión que puede verse en la figura siguiente. Si en los bornes de entrada del receptor colocado a la salida de la línea se mide una potencia de **1000 pW**. ¿Cuál es la ganancia de la línea?



**Solución:**

**Primero expresamos la potencia en la entrada y la potencia en la salida en la misma unidad.**

- ✓  $P_e = 0,25 \text{ W}$
- ✓  $P_s = 1000 \text{ pW} = 1000 \cdot 10^{-12} \text{ W} = 10^{-9} \text{ W}$

**Entonces:**

$$n \text{ (dB)} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right) = 10 \log \left( \frac{10^{-9}}{0,25} \right) = - 83,97 \text{ dB}$$



- Cuando el **resultado sea negativo**, una pérdida como en este caso, es más frecuente referirse a ella como **"atenuación"**, siendo este término el que más se emplea para hablar de circuitos en los cuales la potencia que llega a la salida es más pequeña que la potencia que se aplicó en la entrada.
- Con respecto a la cantidad de decimales a tomar, salvo especificación contraria, adoptaremos **dos decimales**.
- En cuanto a los redondeos, en el ejemplo anterior podemos escribir que el resultado es: **- 84 dB** y estará perfectamente bien, ya que las diferencias serán – a nivel de relaciones de potencia – ínfimas.

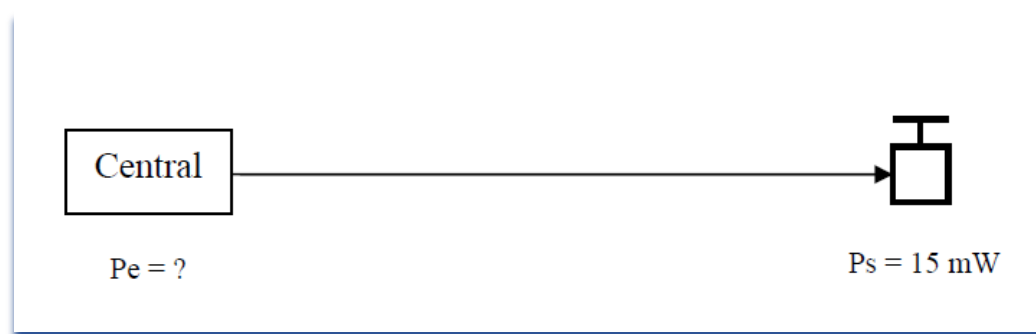
### Ejemplo 3:

Se nos informa que una línea telefónica tiene una atenuación de **3 dB**. Si la potencia medida en los bornes de entrada del aparato telefónico es de **15 mW**,

- ¿Cuál es la potencia aplicada por la central en la entrada de la línea?

### Solución:

Primero, y como **en todo problema de ingeniería**, las cosas son más simples de visualizar – y de entender – si hacemos un pequeño esquema:



Escribamos la fórmula del decibel y coloquemos en ella los datos suministrados, **teniendo cuidado con la atenuación, que implica el uso del signo negativo**:

$$-3 \text{ dB} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right) = 10 \log \left( \frac{15 \text{ mW}}{P_e} \right)$$

Enseguida veremos la importancia de colocar la unidad de la potencia que se tiene como dato en la expresión, cuando es necesario despejar términos.

- ✓ Será necesario despejar **Pe**, que es la potencia que nos solicita el problema.

Lo haremos paso a paso, para que el estudiante no tenga dificultades cuando opere corrientemente con decibels.

- ✓ Primero pasamos 10 al denominador del primer miembro:

$$-\frac{3}{10} = \log \left( \frac{15 \text{ mW}}{P_e} \right)$$

- ✓ Luego tomamos antilogaritmo en ambos miembros:

$$10^{-\frac{3}{10}} = \frac{15 \text{ mW}}{P_e}$$

- ✓ El paso final es despejar **Pe**, la potencia en la entrada:

$$P_e = \frac{15 \text{ mW}}{10^{-\frac{3}{10}}} = 10^{\frac{3}{10}} \cdot 15 \text{ mW} = 1,9952623 \cdot 15 \text{ mW}$$

$$\diamond P_e \cong 2 \cdot 15 \text{ [mW]} = 30 \text{ [mW]}$$

- ✓ Observe lo siguiente: **3 dB equivale a una relación del doble entre las potencias en juego.** Conviene recordar esto, ya que es muy útil a la hora de realizar algunos cálculos.



## EL DECIBEL COMO MAGNITUD DE MEDIDA

- La segunda aplicación importante del decibel tiene lugar cuando se lo utiliza como “**magnitud de medida**”, es decir para expresar el valor de un determinado parámetro (tensión, corriente, potencia, campo eléctrico, nivel de presión sonora, etc.) en un determinado punto.
- Para que esto sea posible, primero será necesario establecer un valor o nivel fijo, “**una referencia**”, que normalmente es estándar y responde a una convención perfectamente clara y determinada.
- Aquí también tendrán un significado bien definido los resultados positivos (+) y los resultados negativos (-) que se obtengan como consecuencia de aplicar la expresión logarítmica del decibel.

### Definición

Llamaremos **p** a la cifra que, expresada en decibels, es utilizada como magnitud de medida.

- ✓ **La fórmula es la siguiente:**

$$P (\text{dB}_{\text{referencia}}) = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en un punto dado de un circuito}}{\text{Unidad de referencia de potencia}} \right)$$

- ✓ Cuando el decibel es utilizado como **magnitud de medida**, para poder diferenciarlo del decibel que vimos anteriormente, se le añade un subíndice que indica cuál es la referencia utilizada y se lee “**decibel referido a <nombre de la referencia>**”.
- ✓ Se emplean muchos tipos de referencias distintas; aquí solo veremos algunas de ellas.

### Decibel referido a milivatio (dBm)

Es una de las versiones más utilizadas del decibel como magnitud de medición.

- Su expresión es:

$$P \text{ (dBm)} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en un punto dado de un circuito (en mW)}}{1 \text{ mW}} \right)$$

Supongamos que en el punto “x” de un determinado circuito tenemos una potencia de 0,3 W ¿Cuál será el valor de esta potencia expresado en dBm?

- ✓ Puesto que 0,3 W = 300 mW, entonces

$$P_x \text{ (dBm)} = 10 \log \left( \frac{300}{1} \right) = 24,77$$

- Por lo tanto, **P<sub>x</sub> = 24,77 dBm**, la **potencia en el punto x expresada en dBm**.

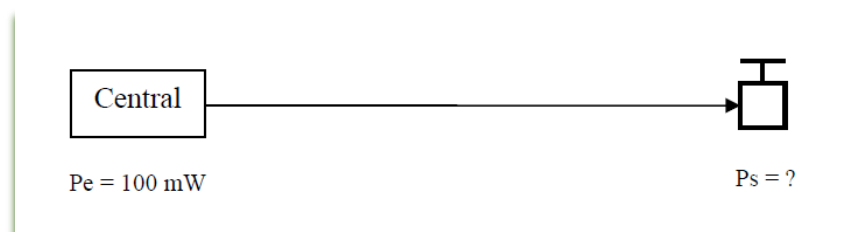
#### Ejemplo 4:

Se nos informa que una línea telefónica tiene una atenuación **A = 5 dB**. Si la potencia aplicada por la central en la entrada de la línea es de **100 mW**,

- ✓ ¿Cuál será la potencia, expresada en dBm, que llega a los bornes de entrada del receptor telefónico?

#### Solución:

- Nuevamente hacemos un pequeño esquema:



- Hay dos caminos para encontrar el resultado pedido.
- La primera consiste en aplicar la formula del dB para saber, conocida la atenuación y la potencia en la entrada de la línea, cuánto vale la potencia en milivatios en bornes del aparato telefónico.

Finalmente se convierte el valor hallado a dBm.

**Veamos:**



$$-5 \text{ dB} = 10 \log \left( \frac{\text{Potencia en la salida}}{\text{Potencia en la entrada}} \right) = 10 \log \left( \frac{P_s}{100 \text{ mW}} \right)$$

$$-\frac{5}{10} = \log \left( \frac{P_s}{100 \text{ mW}} \right)$$

$$10^{-\frac{1}{2}} = \frac{P_s}{100 \text{ mW}}$$

$$P_s = 10^{-\frac{1}{2}} \cdot 100 \text{ mW} = 0,3162277 \cdot 100 \text{ mW}$$

$$P_s \cong 31,6 \text{ mW}$$

❖ El paso final es convertir la potencia **Ps** a **dBm**:

$$P_s (\text{dBm}) = 10 \log \left( \frac{31,6}{1} \right) = 15$$

- **La potencia en el punto x expresada en dBm es: Ps = 15 dBm**
- La segunda forma es más sencilla y nos mostrará un concepto muy importante.
- Si expresamos la potencia Pe en dBm obtenemos:

$$P_e \text{ (dBm)} = 10 \log \left( \frac{100}{1} \right) = 20$$

$$P_e = 20 \text{ dBm}$$

**Observe:**



- La diferencia entre **Ps** y **Pe** (expresadas en **dBm**) es exactamente igual al valor de la atenuación o pérdida de la línea.

Este resultado es muy importante y lo podemos generalizar, de la siguiente manera:

$$P_s \text{ (dBm)} - P_e \text{ (dBm)} = 10 \log \left( \frac{P_s}{1 \text{ mW}} \right) - 10 \log \left( \frac{P_e}{1 \text{ mW}} \right)$$

Aplicando propiedades de los logaritmos tenemos:

$$10 \log \left( \frac{P_s}{1 \text{ mW}} \right) - 10 \log \left( \frac{P_e}{1 \text{ mW}} \right) = 10 \log \left( \frac{\frac{P_s}{1 \text{ mW}}}{\frac{P_e}{1 \text{ mW}}} \right) = 10 \log \left( \frac{P_s}{P_e} \right) = n \text{ (dB)}$$

Es decir que:

$$n \text{ (dB)} = P_s \text{ (dBm)} - P_e \text{ (dBm)}$$

La ecuación anterior nos lleva a preguntarnos:

➤ ¿Podemos sumar y/o restar dB a los dBm?

✓ La respuesta es (y lo acabamos de demostrar) que **sí**, que podemos hacerlo.

Como **regla general** podremos escribir, sin temor a equivocarnos:

$$P_s (\text{dB}_{\text{referencia}}) = P_e (\text{dB}_{\text{referencia}}) + \sum G + \sum L$$

Donde:

- ✓  **$\sum G$**  es la suma de todas las ganancias a lo largo de un circuito, en **dB**.
- ✓  **$\sum L$**  es la suma de todas las pérdidas a lo largo de un circuito, en **dB** (¡tenga en cuenta el signo negativo de las pérdidas al introducirlas en la sumatoria!).

Si se suman algebraicamente **ganancias** y **pérdidas** a un valor expresado en “**dB referido a**” se obtiene como resultado “**dB referido a**”.

Podemos generalizar las operaciones permitidas entre dBm y dB en el siguiente cuadro:

- $\text{dB} \pm \text{dB} = \text{dB}$
- $\text{dB} \pm \text{dBm} = \text{dBm}$
- $\text{dBm} \pm \text{dBm} = \text{dB}$
- $\text{dBm} \pm \text{dBm} \neq \text{dBm}$



Nuevamente:

$$\square \text{ dBm} \pm \text{dBm} \neq \text{dBm}$$

¿Cómo resolverlo sin morir en el intento?



### Ejemplo 5

Tomemos el ejemplo que dimos en la Clase de Física de las comunicaciones (diapositiva N°56)

□ Ejemplo: A cuantos dBm equivale la suma de 0dBm mas 0dBm?

Rta: 3dBm

Lo primero que tengo que determinar es:

➤ 0dBm: ¿a qué potencia equivale?

$$\checkmark \quad 0\text{dBm} = 10 \log_{10} (P/\text{mW})$$

despejando:

$$\checkmark \quad \log_{10} (P/\text{mW}) = 0 \quad \text{aplico antilogaritmo}$$

$$\checkmark \quad (P/\text{mW}) = 10^0 = 1 \quad \text{despejando}$$

$$\checkmark \quad P = 1 \text{ mW} \Rightarrow \text{equivale a una potencia de: } 1\text{mW}$$

Ahora puedo reemplazar en la suma:

$$\text{A) } 0\text{dBm} + 0\text{dBm} = 1 \text{ mW} + 1\text{mW} = 2 \text{ mW} \rightarrow \text{Ahora debo expresar esta magnitud en dBm}$$

$$\checkmark \quad \text{La potencia de } 2 \text{ mW expresado en dBm} = 10 \log_{10} (P/\text{mW})$$

$$\checkmark \quad (2 \text{ mW}) \text{ dBm} = 10 \log_{10} (2 \text{ mW}/1 \text{ mW})$$

$$\checkmark \quad (2 \text{ mW}) \text{ dBm} = 10 \log_{10} (2) = 10 \times 0.30 = 3\text{dBm}$$

$$\checkmark \quad (2 \text{ mW}) \text{ dBm} = 3\text{dBm} \quad \text{reemplazo este valor en el punto A) y obtengo}$$

$$\checkmark \quad 0\text{dBm} + 0\text{dBm} = 3\text{dBm}$$

Por lo tanto, **no podemos decir que:**

✓  $0\text{dBm} + 0\text{dBm} = 0\text{dBm}$  **incorrecto!!**

[**no podemos** sumar algebraicamente **dBm** con **dBm** y obtener **dBm** en forma directa]

$0\text{dBm} + 0\text{dBm} = 3\text{dBm}$  **es correcto!!**

**El cálculo de su valor es por método indirecto**