

# Capítulo-1: Introducción a las Técnicas de Puesta a Tierra (“Grounding”)

---

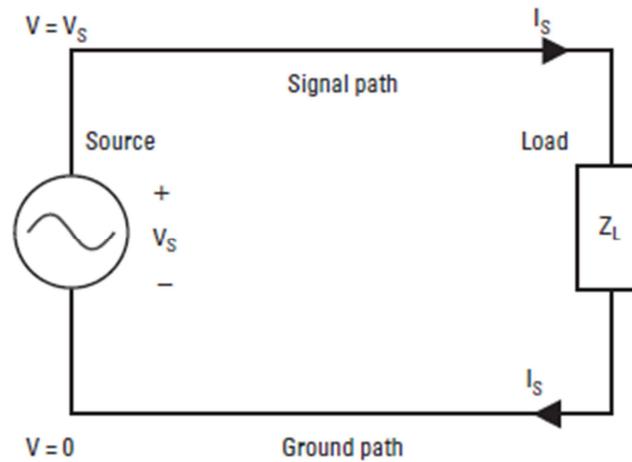
## 1 Puesta a Tierra para Circuitos en Continua (DC) y Alterna (AC) a Bajas Frecuencias

En la figura 1 definimos  $I_s$  en términos de cargas positivas moviéndose del electrodo positivo de la fuente a la tierra. La fuente debe transferir energía a la corriente  $I_s$ . La corriente es creada por la fuente puesta a un potencial de 0 V, y vuelve a ella a través del camino de tierra. Ya que la energía ni se crea ni se destruye, la corriente en la fuente y en la carga deben ser las mismas. Si aplicamos la ley de Ohm, la corriente será:

$$I_s = \frac{V_s}{Z_L}$$

En este circuito no existe intercambio de energía en forma de radiación con otros circuitos cercanos. Aparte de las interacciones magnéticas, el camino de señal, y el camino de tierra estarán aislados, y podrían estar incluso muy alejados.

Por camino de señal nos referimos al conductor por el que la corriente de la fuente fluye hacia la carga, y por camino de tierra, al conductor por el que dicha corriente vuelve a la fuente procedente de la carga. Podemos conectar el camino de tierra al electrodo negativo de la fuente, que está a 0 V. Esta elección es arbitraria, ya que también se podría haber hecho al contrario: conectar el camino de tierra al terminal positivo de la fuente.



**Ilustración 1: Circuito Ideal Baja Frecuencia**

## 1.1 Algunas Definiciones de Tierra

El *NEC* (National Electrical Code) define tierra como *“una conexión conductiva, bien intencional, o bien accidental, entre un circuito eléctrico y la tierra, o cualquier otro cuerpo conductor que realiza la función que tendría la tierra”*. En el circuito de la figura 1 el terminal negativo de la fuente hace la función de la tierra, por ello, ese terminal será la tierra del circuito.

NOTA: El *NEC* es un estándar estadounidense para la instalación segura de líneas y equipos eléctricos, y forma parte de la serie de normas de prevención de incendios publicada por la *National Fire Protection Association* (NFPA).

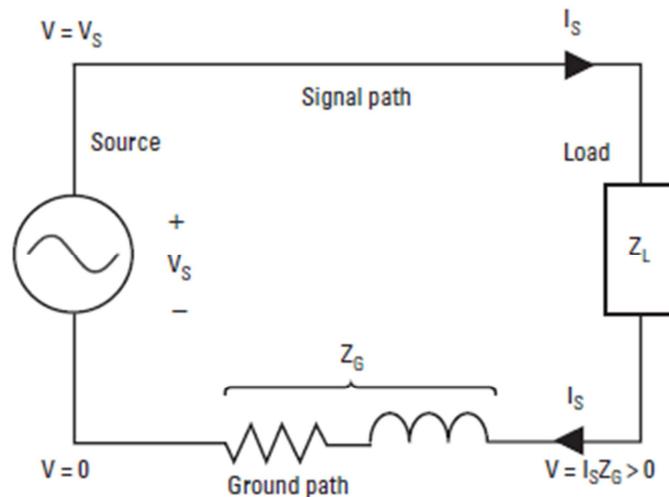
*Ott* (autor de un artículo de investigación) define tierra de una manera un poco más precisa: *“la tierra es un punto o plano equipotencial, que es fuente o sumidero para la corriente, y que sirve como referencia de potencial para un circuito o un sistema”*.

Si en la fuente de la figura 1 tenemos una corriente alterna, en el ánodo se alternará entre negativo y positivo alrededor de  $V = 0$  V, y la dirección del flujo de corriente variará de igual manera. Pero incluso en este caso, la tierra permanecerá a 0 V, por lo que la localización de la tierra, y del camino de tierra no cambiará.

Para el caso de circuitos de microondas, *Ott* da una definición alternativa, que será en

la que enfatizaremos a lo largo del presente texto: *“la tierra es un camino de baja impedancia para la corriente en su vuelta hacia la fuente”*.

Una baja impedancia implica que existe diferencia de potencial entre puntos separados del camino de tierra, como podemos ver esquemáticamente en la siguiente figura:



**Ilustración 2: Circuito con Impedancia en el Camino de Tierra**

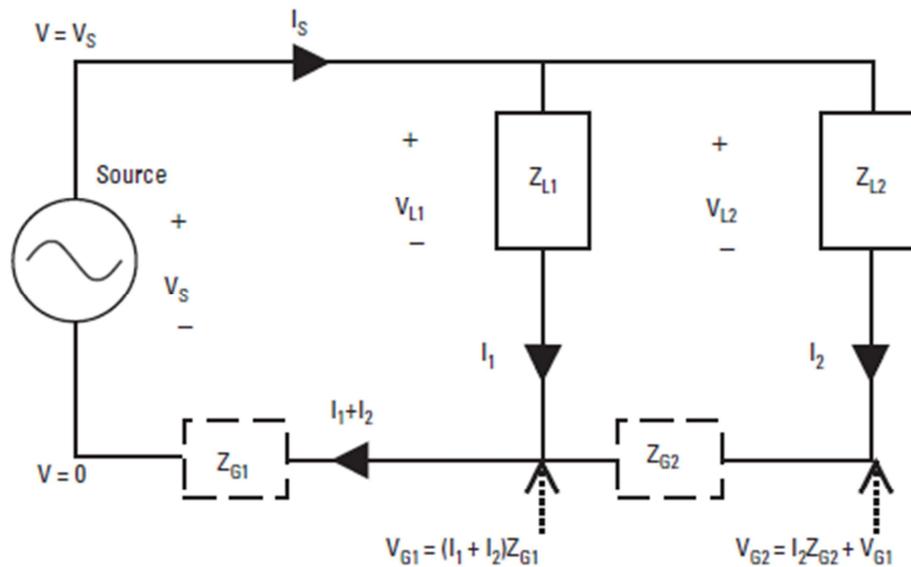
Ya que todos los conductores tienen una resistencia y una inductancia, el camino de tierra tendrá una impedancia  $Z_G$ , donde  $Z_G = R_G + j\omega L_G$ , y  $f$  es la frecuencia de la fuente de corriente alterna. En frecuencias cercanas a 0 Hz la parte resistiva se hará dominante, por lo que un aumento de la corriente, causa un incremento de la caída de potencial. Con el incremento de la frecuencia, la reactancia se hace dominante. Ya que la inductancia crece con la longitud del conductor, minimizar la longitud del camino de tierra se hará esencial en nuestra tarea.

Para el circuito de la figura 2, la corriente que fluye es la siguiente:

$$I_S = \frac{V_S}{Z_G + Z_L}$$

En la fórmula anterior se ha asumido que la impedancia de carga depende también de la frecuencia. Si la carga es capacitiva, podría incluso resonar con la inductancia del camino de tierra a una frecuencia particular.

Circuitos más prácticos poseen múltiples caminos de tierra, como podemos ver en la siguiente figura:



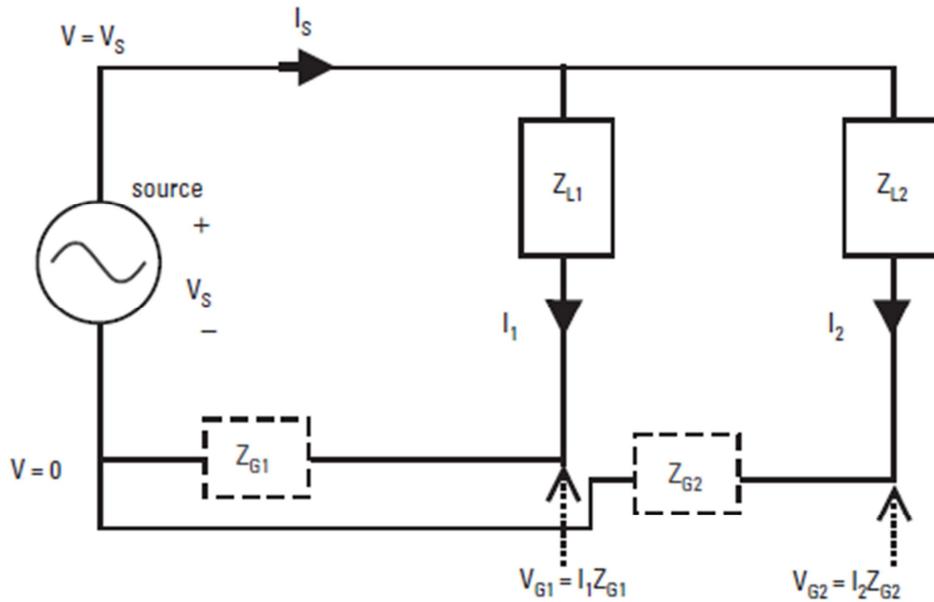
**Ilustración 3: Puesta a Tierra Multipunto**

debe vencer la impedancia de camino de tierra , mientras que , al tener que atravesar una distancia más larga, debe vencer las impedancias de tierra . La corriente de fuente será: ; Pretenderemos obtener una expresión para mediante la caída de tensión a través de la carga :

$$\text{_____} \rightarrow \text{_____}$$

Esta última expresión, nos muestra que un plano de tierra, teniendo una impedancia distinta de cero, acopla las corrientes procedentes de sendas cargas de la figura 3. Por consiguiente, el voltaje a través de la carga 1, es una función de ambas corrientes. Para minimizar la dependencia, debemos minimizar la impedancia del plano de tierra .

Para circuitos de baja frecuencia, un esquema como el indicado en la siguiente figura podría prevenir el acoplamiento entre ambas corrientes:



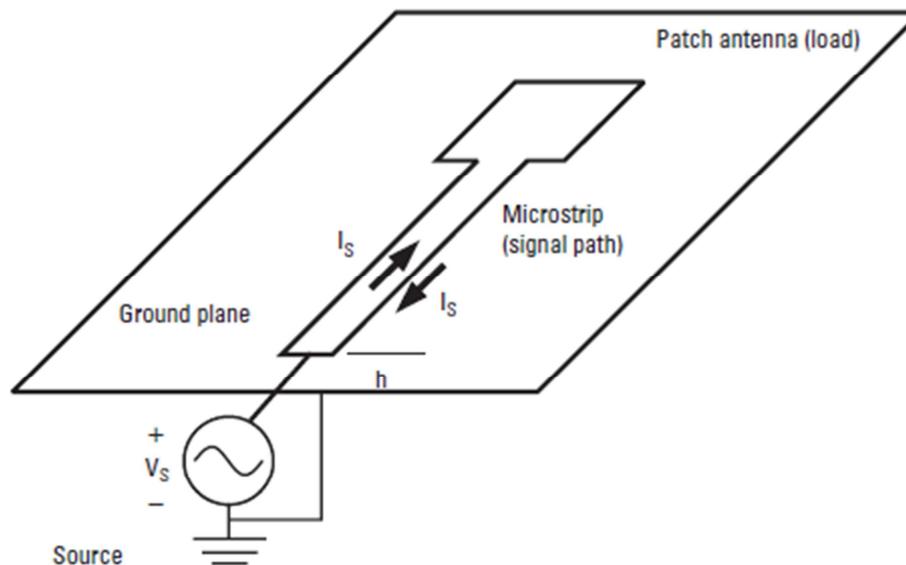
**Ilustración 4: Puesta a Tierra "Single-Point"**

Los caminos de tierra están completamente aislados, además de estar conectados a un único punto. Por esa causa, desaparece la interdependencia entre las corrientes  $I_1$  e  $I_2$ , a pesar de la existencia de las impedancias de sus respectivos caminos de tierra.

En circuitos de microondas, raramente es aceptable este último esquema, ya que no sería alcanzable sin tener que usar elevadas longitudes de caminos de tierra. Por otra parte, incluso en circuitos de microondas, conductores separados físicamente, podrían acoplar sus corrientes por radiación.

## 2 Puesta a Tierra para Frecuencias de RF

Un ejemplo de circuito a estas frecuencias, es el mostrado a continuación:



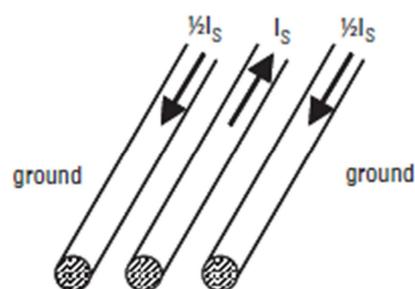
**Ilustración 5: Circuito Impreso de Microondas**

La corriente de señal, y la corriente de tierra son idénticas en magnitud, pero con polaridades opuestas, alternándose en dirección a la frecuencia de la fuente. Para circuitos en continua, la distancia que separa el camino de señal y el camino de tierra no es importante. Por el contrario, para un circuito de RF, la separación entre los conductores de señal y de tierra, establece la relación entre el campo eléctrico y magnético, llamada impedancia de onda.

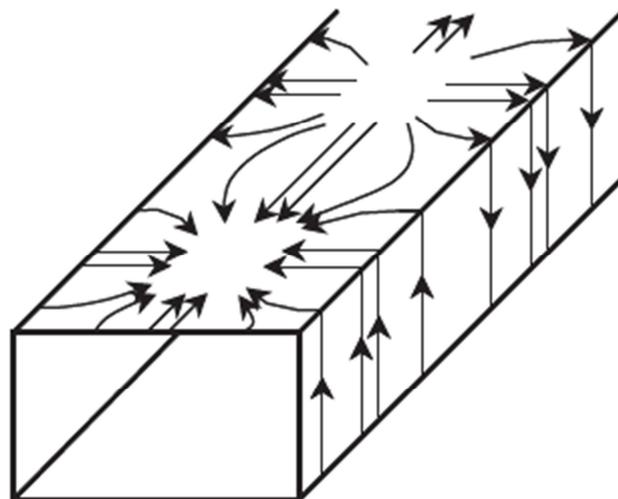
En el ejemplo, las dimensiones de la antena de parche, junto a la separación entre el plano de señal, y el camino de tierra, determina la frecuencia a la que la impedancia de entrada es resonante (impedancia real pura). El plano de tierra determina el camino de vuelta para la señal, por lo que alguna impedancia en este conductor se añadirá a la impedancia de la antena, cambiando su comportamiento resonante. La adaptación de la antena con la línea de transmisión se degradará, por lo que alguna energía se podría perder por desadaptación.

A continuación, vamos a realizar una definición para la tierra en circuitos de este tipo: la tierra en un circuito de RF, es el camino de baja impedancia, no radiante, hacia la tierra o hacia un cuerpo conductor que sirva en su lugar.

En el ejemplo puesto, la estructura que transporta la señal es una línea de transmisión, comprendida por un conductor como plano de señal, y otro conductor como plano de tierra. Pero cabe destacar que existen otras estructuras válidas como las que podemos ver a continuación:



**Ilustración 6: Línea Trifilar**



**Ilustración 7: Guía de Ondas Rectangular**

En la línea de transmisión de tres cables, los dos conductores externos proporcionan el camino de tierra, cada uno llevando la mitad de la corriente de señal, mientras que el conductor central transporta la señal.

La guía de ondas rectangular se construye a partir de un único conductor, por lo que físicamente no distingue entre conductor de señal y de tierra. El mismo conductor actúa como fuente y sumidero de la corriente.

### **3 ¿Por qué la Puesta a Tierra es Importante?**

La puesta a tierra en circuitos de RF es una parte esencial en su etapa de diseño. Para circuitos de microondas pasivos como filtros, una pobre puesta a tierra, acarrea altas pérdidas de inserción, pobre adaptación de los puertos, mal aislamiento entre entrada y salida, o radiaciones no deseadas. El ancho de banda de las transiciones (líneas de transmisión, guías de onda, etc.) podría ser estrecho si la puesta a tierra no es la correcta.

Un amplificador con su puesta a tierra mal diseñada podría oscilar y por tanto no comportarse de forma adecuada. Los conmutadores, basados en diodos, deben tener una correcta puesta a tierra, para alcanzar el mayor poder aislante posible entre entrada y salida.

Como éstos, existen muchos más ejemplos de mal funcionamiento por motivos de malas puestas a tierra. El estudio de las técnicas para evitar estos problemas será el objetivo del presente texto.