

## UNIDAD 8: INTERFERENCIAS EN LAS MEDICIONES, APANTALLAMIENTO.

- *Efectos de la superposición de interferencias y ruido en los voltímetros digitales.*
- *Rechazo de modo normal de los voltímetros digitales*
- *Rechazo de modo común, sistemas de guarda*
- *Las fuentes de interferencias, sus orígenes y la forma o técnica para reducir su efecto.*
- *Problemas.*

**Al concluir el estudio de esta unidad, Ud. será capaz de hacer lo siguiente:**

Tener en cuenta las principales fuentes de interferencias eléctricas en las mediciones y tomar las precauciones para reducir al mínimo el error producido por las mismas.

### *Efectos de la superposición de interferencias y ruido en los voltímetros digitales.*

Cuando se utiliza un Voltímetro de alta impedancia para efectuar mediciones de caídas de tensión en un entorno donde hay interferencias, ruido, o cualquier otro tipo de señal espuria presente, puede ocurrir que las mismas se acoplen de alguna manera sobre los terminales de entrada del instrumento superponiéndose con la tensión a medir y por ende ocasionar error en el resultado de la medición.

Dependiendo del modo en que se produce la superposición, puede clasificarse a estas “señales” como: de *modo común*, o de *modo normal*. Este efecto se ilustra en la siguiente figura

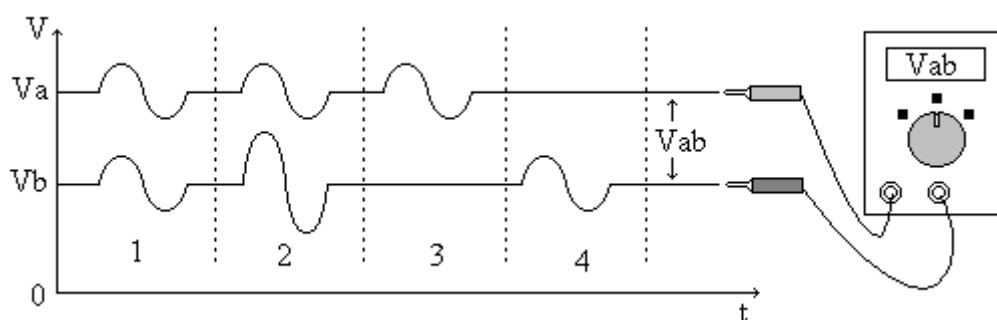


Figura 8-1. Interferencias de modo normal y modo común

- Si la superposición es por igual en ambos terminales (1) se trata de *modo común*.
- Una señal de modo común, pero de distinta amplitud en cada terminal, (2) es en realidad una interferencia de *modo normal*.
- (3) y (4) Representan interferencias en *modo normal*.

### Rechazo de modo normal de los voltímetros digitales

Durante la descripción del principio de funcionamiento de los conversores A/D, se hizo referencia a la habilidad de algunos de ellos para rechazar la interferencia y/o el ruido que se encuentran en serie con la señal de entrada. Estas interferencias corresponden justamente a lo que se definió previamente como de **modo normal**, y pueden ser producidas por inducción en los terminales o puntas de pruebas del instrumento, o por una componente ya incluida en la tensión que se mide, como podría ser por ejemplo el riple producido por el filtrado deficiente de una fuente de alimentación. Las frecuencias de estas señales suelen ser habitualmente, múltiplos de la frecuencia de línea, pero también pueden ser cualquier otro tipo de perturbación eléctrica (por ejemplo: transitorios producidos por fuentes conmutadas).

Los conversores A/D de no-integración (por ejemplo los de aproximaciones sucesivas), realizan la conversión sobre la base de comparaciones instantáneas de la tensión de entrada, y por ello son muy afectados por el ruido o la interferencia. Cualquier decisión incorrecta a lo largo del camino puede producir una lectura incorrecta. El ruido puede eliminarse con el uso de filtros, pero estos incrementan significativamente el tiempo de respuesta del conversor.

Todos los conversores A/D de integración emplean técnicas que hacen uso de un período determinado de tiempo que se denomina "longitud de compuerta" o "período de integración". Durante este período de tiempo, la señal de entrada es efectivamente integrada, y la salida del conversor resulta ser proporcional al promedio de la tensión de entrada.

En el caso particular del ruido, no hay manera de eliminar por completo el error que se produciría. Sin embargo resulta razonable suponer que si el tiempo de integración se elige en torno a un valor suficientemente elevado, el valor medio del ruido resultará reducido a valores prácticamente nulos.

En cuanto a las interferencias, resulta interesante poder estimar cual sería el valor óptimo de tiempo de integración a utilizar a fin de eliminarlas por completo.

Se supondrá en el siguiente análisis que dichas interferencias, son sinusoidales. Sin embargo, se buscará llegar a algún resultado que permita extender las conclusiones para otros tipos de formas de onda.

Supongamos que la entrada de un Voltímetro digital de integración consiste en:

$$v(t) = V_{cc} + V_I \sin \omega t$$

Donde  $V_I \sin \omega t$  es la señal de modo normal superpuesta a  $V_{cc}$ .

Con el propósito de simplificar el análisis, consideraremos solamente la señal de modo normal. Supondremos que el intervalo de integración comienza en  $t_1$  y termina en  $t_1 + T$ , donde  $T$  es el período de integración. La tensión promedio durante este tiempo es:

$$V_{med} = \frac{V_I}{T} \cdot \int_{t_1}^{t_1+T} \sin \omega \cdot t \cdot dt$$

$$V_{med} = -\frac{V_I}{\omega \cdot T} [\cos \omega(t_1 + T) - \cos \omega \cdot t_1]$$

Recordando que:  $\cos x - \cos y = -2 \sin \frac{1}{2}(x+y) \sin \frac{1}{2}(y-x)$

$$V_{med} = -\frac{V_1}{\omega \cdot T} \left[ -2 \cdot \sin \frac{1}{2}(\omega t_1 + T) \cdot \sin \frac{1}{2}(\omega T) \right]$$

Donde  $V_{med}$  puede ser maximizado eligiendo  $t_1$  de manera que:

$$\sin \frac{1}{2}(2\omega t_1 + \omega T) = 1$$

Por lo que reemplazando en la anterior;

$$V_{med(max)} = \frac{2 \cdot V_1}{\omega \cdot T} \sin \frac{1}{2} \omega \cdot T \Big|_{\omega = 2\pi f}$$

$$V_{med(max)} = \frac{V_1}{\pi \cdot f \cdot T} \cdot \sin \pi \cdot f \cdot T$$

A medida que la frecuencia de la señal superpuesta se aproxima a cero,  $V_{med(max)}$  se aproxima a  $V_1$ . (Recordar que el límite de  $\sin x/x$ , cuando  $x$  tiende a cero es 1).

A fin de desarrollar una expresión para la atenuación como función de la frecuencia, e independiente del valor absoluto de la tensión, se establece la relación entre la señal a 0Hz con su valor a una frecuencia específica.

$$RRMN = 20 \cdot \log_{10} \left[ \frac{V_1}{(V_1 / \pi \cdot f \cdot T) \cdot \sin \pi \cdot f \cdot T} \right] = 20 \cdot \log_{10} \frac{\pi \cdot f \cdot T}{\sin \pi \cdot f \cdot T}$$

Si esta relación se expresa en dB, se denomina: *Relación de rechazo de modo normal*. (cuyas siglas son : RRMN)

Mediante el empleo de un programa de computadora que permita trazar gráficos (P.ej. Scilab<sup>#</sup>), se puede obtener el trazado de la curva correspondiente a la ecuación anterior.

```
fT=0.01:0.1:8;
a=%pi.*fT;
b=sin(a);
c=a./b;
d=log10(c);
RRMN=20.*log10(c);
plot2d(fT,RRMN)
xgrid(1);
```

<sup>#</sup> Scilab fue desarrollado en el INRIA, Institut National de Recherche en Informatique et Automatique, un excelente instituto francés de investigación, con la colaboración de la escuela de ingenieros ENPC, Ecole Nationale de Ponts et Chaussées.

El trazado de la curva que representa esta relación se muestra en la figura 2. Como se puede ver, se producen infinitos puntos de rechazo a intervalos determinados por  $fT = n$ , donde  $n = 1, 2, 3, \dots k$ .

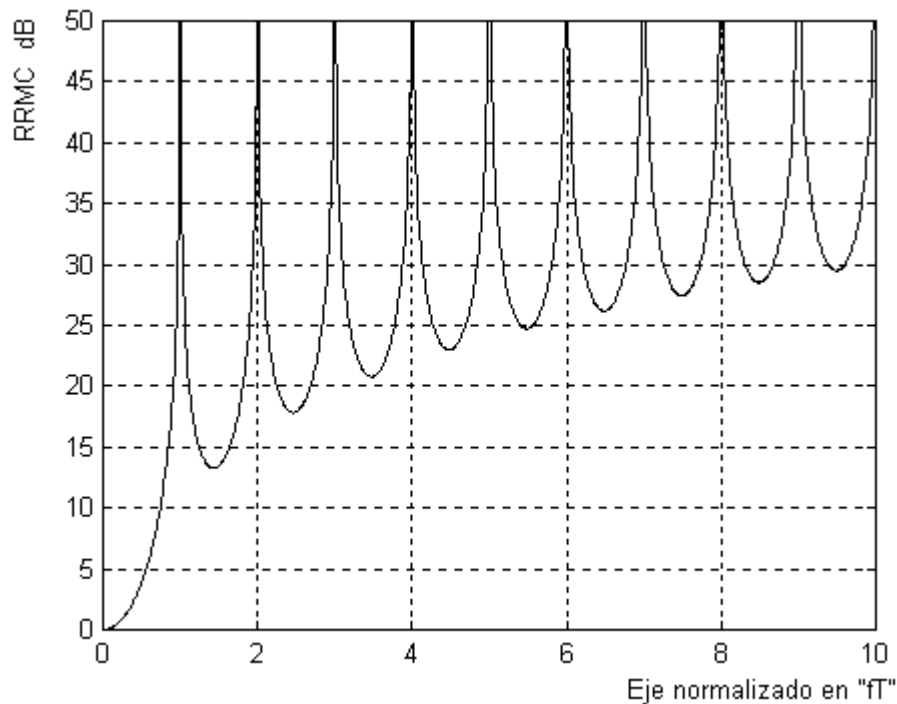


Figura 8-2. RRMN de un voltímetro digital de integración (el eje horizontal se ha normalizado en valores de  $fT$ )

Sobre la base de esta gráfica, se puede hacer una elección apropiada del intervalo de integración a fin de obtener el máximo rechazo a las frecuencias relacionadas con la de línea. Por esta razón es que en los países donde la frecuencia de la red es 60 Hz se usan períodos de integración de 16,66mseg. Para la Argentina, donde la frecuencia de línea es 50Hz, se utilizan períodos de 20mseg. El uso de una longitud de compuerta de 100mseg asegura un buen rechazo tanto para 50 como 60Hz, por tratarse de un múltiplo exacto de los períodos de ambas frecuencias.

### Rechazo de modo común en los voltímetros electrónicos

Otro tipo de interferencias que pueden producir errores en los voltímetros electrónicos (tanto digitales como analógicos), son las señales de modo común, es decir aquellas que se superponen por igual manera en ambos terminales de los instrumentos.

Existen muchas fuentes de señales de modo común. Las más comunes son las producidas por las corrientes que circulan entre las masas del instrumento y la del equipo a medir, particularmente cuando ambos elementos se encuentran separados por una distancia considerable. En esta situación difícilmente las conexiones de tierra se encuentran al mismo potencial. También hay que considerar que los amplificadores utilizados en los instrumentos electrónicos, que tienen entradas flotantes, suelen ser sensibles a las señales de modo común (debido a las diferencia en las corrientes de offset)

El rechazo de modo común en los instrumentos se aumenta con adecuados sistemas de guarda y blindaje y con el uso de configuraciones especiales en el diseño de los amplificadores de instrumentación.

La figura 8-3 muestra el circuito equivalente de un instrumento con entrada flotante. Aquí V3 y V4 son las señales de modo común, y representan una tensión continua que puede ser producida, entre otras cosas, por pares termoelectrónicos creados en forma accidental, y una tensión alterna superpuesta cuyo origen mas común es la inducción de línea. A su vez V2 es una señal de interferencia de modo normal, y V1 es la señal que se desea medir. R1 y R2 representan las resistencias de los lados alto y bajo del circuito de medida (incluyen la resistencia de los conductores usados para llevar la señal hasta el instrumento). Todos los otros elementos forman parte del instrumento de medida. R3 representa la resistencia de entrada del voltímetro, mientras que R4 y C4 representan las pérdidas entre el terminal bajo y tierra, y R5, C5 son las pérdidas entre el lado alto y tierra.

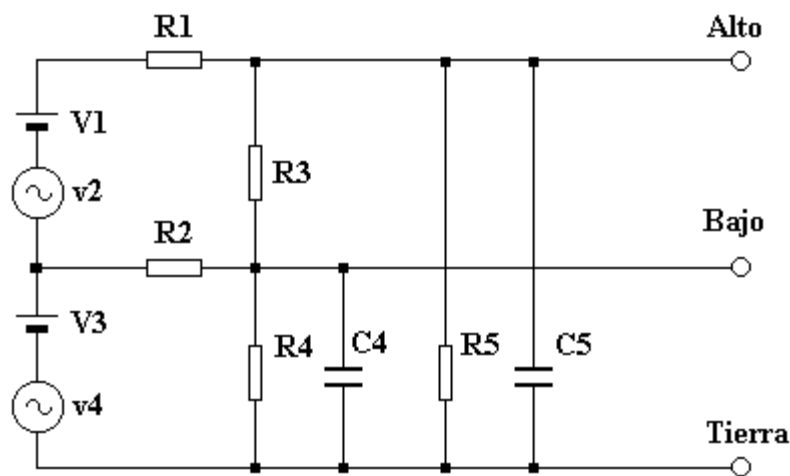


Figura 8-3.

En la mayoría de los sistemas de medidas, la impedancia determinada por la combinación paralelo de R5 con C5 es mucho mayor para todas las frecuencias que la dada por R4 y C4. La razón de esto, es que el lado alto se construye con un conductor fino, o la parte mas fina del circuito impreso, mientras que el lado bajo es un plano o área de metal grande muy próximo a tierra de la fuente del sistema de medida, que también es de gran superficie. Por esta razón se puede despreciar el camino de corriente a través de R1 y la combinación paralelo R5, C5. Las corrientes circulantes a través de R2 y R4 con C4 producirán una caída de tensión en R2 que se encontrara en serie con la tensión a medir. Por supuesto que esta corriente se debe a las tensiones de modo común V3 y V4. El rechazo de modo común se refiere a la habilidad para reducir las tensiones desarrolladas a través de R2; un valor práctico habitual para R2 podría ser 1 KΩ. En un instrumento con entrada flotante bien diseñado R4 puede ser de  $10^9 \Omega$  y C4 de unos 3000 pF. Estos valores llevan a las siguientes RRMC.

Para CC:  $RRMC = -20 \log 10^9 \Omega / 10^3 \Omega = -120 \text{ dB}$

Para CA:  $RRMC -20 \log (1/\omega \cdot C_4)/10^3 \Omega = -20 \log 10^6 \Omega / 10^3 \Omega = -60 \text{ dB}$

(Para el cálculo de CA se considero una frecuencia de 50 Hz y únicamente la reactancia capacitiva por ser esta mucho mas chica que R4).

En el ejemplo anterior, una señal de modo común de CC de 100 V, desarrollara 100  $\mu$ V a través de R2, mientras que una señal de modo común de CA de 20 V 50 Hz, desarrollara 20 mV. En muchas circunstancias errores de esta magnitud son intolerables en una medida (sobre todo si se hacen medidas de tensiones de bajo nivel).

### Rechazo de modo común efectivo

El rechazo de modo común efectivo es un concepto que combina los efectos del rechazo de modo común y el rechazo de modo normal.

Por ejemplo. Si un instrumento tiene un rechazo de modo común de -120 dB a la frecuencia de línea, y 50 dB de rechazo de modo normal a la misma frecuencia, su rechazo de modo común efectivo será -170 dB a la frecuencia de línea y nunca menor de -120 dB a frecuencias mayores que la de línea.

### Sistemas de guarda

Una técnica así denominada se encuentra incorporada en muchos instrumentos a los fines de aumentar su habilidad para reducir las interferencias de modo común.

En su forma mas simple, una guarda consiste en una caja hecha de una lamina de metal interpuesta entre el gabinete y el circuito del instrumento convenientemente aislada. Un terminal en el panel frontal la hace accesible para el circuito que se mide.

La figura 4 muestra la aplicación de una guarda al sistema de la figura 3 . Aquí las capacidades y resistencias entre el terminal bajo y la guarda y entre la guarda y tierra tienen la misma magnitud que R4 y C4 del esquema anterior ( $R = 10^9 \Omega$ ,  $C = 3000 \text{ pF}$ ), sin embargo R6 es típicamente mayor que  $10^{11} \Omega$ , mientras que C6 es menor que 2,5 pF; estos valores representan las perdidas que se mantienen a través de la guarda.

Como se observa en la figura, las señales de modo común no hacen circular corrientes por R2 y en cambio se derivan por la conexión de la guarda.

Una pequeña corriente de fuga circulara por R6 y C6, lo cual producirá una pequeñísima caída en R2. En otras palabras, la utilización apropiada de la guarda disminuye considerablemente el drenaje efectivo entre el terminal bajo del instrumento y la tierra de la fuente.

El rechazo de modo común para el circuito con guarda será:

$$\text{Para CC : } \text{RRMC} = -20 \log 10^{11}/10^3 = -160 \text{ dB}$$

$$\text{Para CA : } \text{RRMC} = -20 \log (1/\omega \cdot C_6)/10^3 = -120 \text{ dB}$$

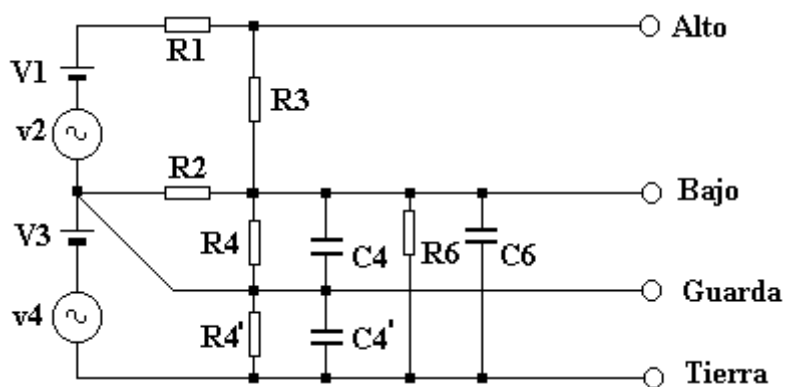


Figura 8-4. Circuito equivalente de un Voltímetro con sistema de guarda

Estos valores indican una mejora notable respecto al sistema sin guarda. Ahora una señal de modo común de CC de 100 V solo producirá 1 micro V de modo normal, mientras que 20 V de CA generaran 20 micro V.

### Conexión de la guarda

Entre la discusión teórica expuesta en el punto anterior, y la aplicación practica de la guarda, hay una pregunta elemental que aparece: ¿Donde conectar el terminal de guarda?. Los siguientes diagramas tal vez aclaren este cuestionamiento.

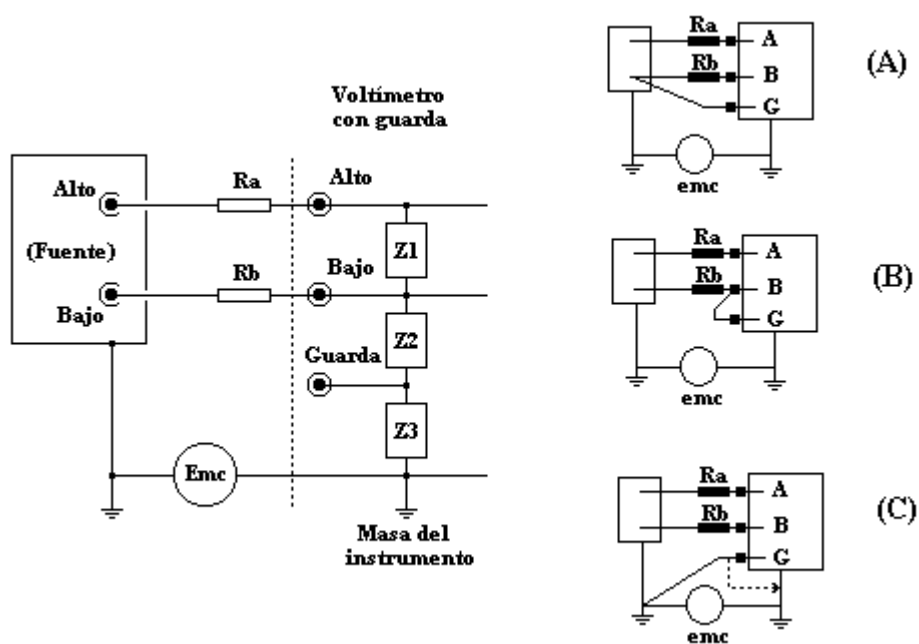


Figura 8-5.

**Referencias**

- A - La mejor conexión ( El terminal de guarda conectado en el terminal bajo de la fuente que se mide)
- B- La guarda conectada al terminal bajo del instrumento (Debe ser evitada pues empeora el rechazo de modo común al aumentar la corriente que pasa por R2)
- C - La guarda conectada a tierra. (Si la tierra elegida es la de la fuente a medir mejora el rechazo de modo común, pero si se conecta a la tierra del instrumento, empeora la situación y además reduce la aislación, con lo cual se pueden producir daños.

Se puede concluir que la guarda debe ser siempre conectada de manera que las corrientes de modo común circulen a través de ella. Cada caso particular debe ser analizado, pero ante la duda , es preferible no conectarla a conectarla incorrectamente.

Una manera práctica de saber si realmente se están eliminando las corrientes de modo común, consiste, (cuando es posible) en pasivar las fuentes del circuito a medir y verificar si la indicación del instrumento varía al conectar y desconectar la guarda, (la lectura debería ser nula con la guarda conectada).

***Las fuentes de interferencias, sus orígenes, y la forma o técnica para su eliminación.***

Los temas tratados hasta ahora ilustran sobre situaciones particulares respecto del tema general de la eliminación de interferencias, pero como se desprende de lo expuesto en el párrafo anterior, la clave para el tratamiento de las interferencias, consiste en conocer cuales son las causas que las provocan.

Si se tiene una idea clara del origen de las interferencias, pueden tomarse medidas para impedir la captación de las mismas. Se cuenta con diversos métodos para blindar los conductores de conexión de los instrumentos, y los aparatos o sistemas de medición. Desde luego, los blindajes son diferentes dependiendo de la naturaleza de la interferencia presente, y puede suceder que un método de blindaje que se comporta en forma excelente para una clase de interferencia, sea en cambio deficiente para otro tipo.

El problema de las interferencias se acentúa cuando las distancias entre el instrumento o sistema de medición y la fuente sobre la que se debe medir son grandes, lo cual suele ser común en ambientes industriales.

En los años recientes han surgido algunas variantes para lograr lo máximo en aislamiento, una de ellas es la inclinación hacia la transmisión de datos preferentemente en formato digital en lugar de analógico. La otra es la adopción de sistemas que emplean fibras ópticas para la transmisión de los datos. Esto es lo mas nuevo en aislamiento, ya que las fibras son inmunes por completo a todo tipo de interferencia eléctrica.

El cuadro sinóptico que se presenta a continuación muestra los distintos tipos de interferencias y el origen de las mismas, así como algunas recomendaciones para su tratamiento.



**Cuadro comparativo de las fuentes de interferencias, sus orígenes, y la forma o técnica para reducir su efecto.**

		<b>Tipos de interferencia</b>	<b>Origen</b>	<b>Se incrementan si:</b>	<b>Se disminuyen o atenúan si:</b>
De C.A.	De campos cercanos	<b>Interferencias capacitivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tomacorrientes de alimentación</li> <li>• Campos eléctricos intensos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la impedancia de entrada.</li> <li>• Si las capacidades parásitas son grandes.</li> <li>• Si la diferencia de potencial aumenta.</li> <li>• Si la frecuencia aumenta.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usando blindajes.</li> <li>• Manteniendo alejadas las puntas de pruebas de las fuentes de interferencia.</li> </ul>
		<b>Interferencias inductivas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Conductores de alimentación por los que circulan corrientes.</li> <li>• Transformadores</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay lazos cerrados en el circuito de medición.</li> <li>• Si el área del lazo es mayor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Trenzando los conductores que llevan corriente.</li> <li>• Manteniendo ángulos rectos entre conductores de corriente y señal.</li> <li>• Blindando los transformadores.</li> </ul>
	De campos alejados	<b>Interferencias electro-magnéticas</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fuentes conmutadas</li> <li>• Receptores de radio y T.V.</li> <li>• Fuentes naturales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hay proximidad con las fuentes de origen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usando blindajes.</li> <li>• Con supresores de interferencia a través de la toma de alimentación de la red eléctrica (en el equipo productor de interferencia)</li> </ul>
	De C.C. o C.A.	<b>Interferencias acopladas conductivamente</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas de aislación.</li> <li>• Conexiones a tierra defectuosas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aumenta la humedad.</li> <li>• Existe suciedad o polvo acumulado.</li> <li>• Hay presencia de óxidos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Asegurando la limpieza.</li> <li>• Usando circuitos de tierra de medición distintos de los de alimentación.</li> <li>• Con sistemas de guarda.</li> </ul>
		<b>Interferencias del circuito de tierra</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Diferencias de potencial entre los puntos de conexión a tierra</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• La distancia entre la fuente de señal y el sistema de medición aumenta</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Usando sistemas de guarda apropiados.</li> </ul>

**Problemas:**

1) Se tiene un voltímetro de laboratorio en el cual, por razones de seguridad, el gabinete del mismo está conectado a tierra. El circuito interno del voltímetro está aislado del gabinete y las pérdidas entre el terminal bajo y tierra equivalen a una resistencia de  $10^{10} \Omega$ . Se pide: Determinar cuál es el valor de la RRM<sub>C</sub>, para corriente continua, si se considera que la resistencia en serie con la entrada del voltímetro es de  $1 \text{ K}\Omega$ .

2) Se tiene un voltímetro digital cuyo conversor A/D es del tipo doble rampa (de integración). Debido a una reparación que se le ha efectuado, la frecuencia del clock se ha alterado dando como resultado que el periodo de integración, cuyo valor nominal es de 100ms, ha cambiado hasta un valor de 95 ms. Se pide: Calcular el valor de RRM<sub>N</sub> para la frecuencia de red (50 Hz) que el instrumento tiene en estas condiciones.