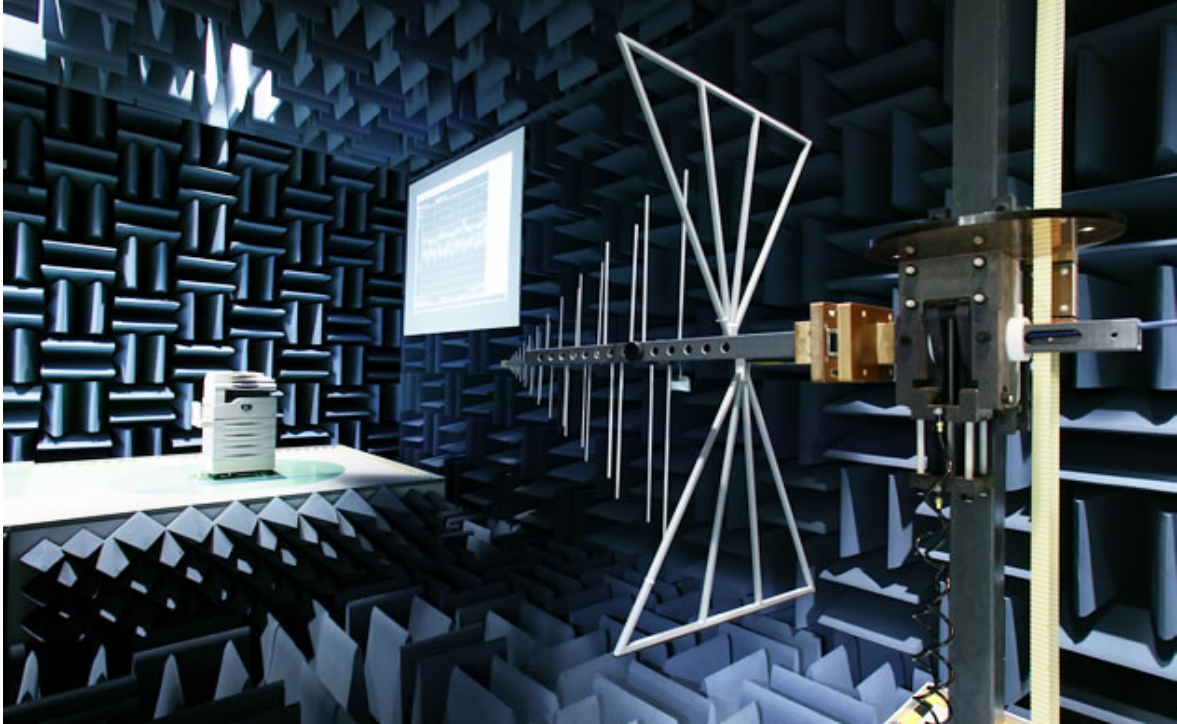


GUÍA PRÁCTICA DE DISEÑO EMC



Índice

- 1. Diseñando para la EMC***
- 2. Longitud de onda y frecuencia***
- 3. Soluciones EMC***
- 4. Amplificación y análisis de derivas***
- 5. Normativa y mercado CE***

1. DISEÑANDO PARA LA EMC

1.1 Introducción

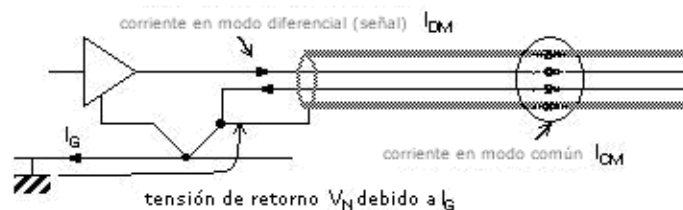
El principal problema EMC de los productos electrónicos es la emisión en alta frecuencia generada internamente, la cual puede interferir en las recepciones radiofónicas, y la inmunidad a las interferencias de radiofrecuencia y transitorios provenientes del entorno ambiental; los cuales pueden degradar la calidad e integridad de las señales analógicas o de los procesos digitales. Las normas EMC especifican los niveles y los métodos de ensayo para ambos fenómenos, emisión e inmunidad. Otro requisito que aparece bajo el marco de la directiva de EMC es que la red de suministro de corriente de entrada debe estar limitada en su contenido armónico.

Si son tratados como parte integral en la fase de diseño del producto, estos requisitos no son difíciles de cumplir. Con demasiada frecuencia, porque no afecta a la viabilidad del producto, este problema no se considera hasta que el diseño está completo y la producción está a punto de comenzar. La incorporación de los principios de EMC como una ocurrencia tardía es caro y consume más tiempo. Sólo el 15% de los productos que no han sido diseñados para EMC es probable que pasen las pruebas de EMC la primera vez, un promedio de entre uno y dos rediseños (y volver a realizar los ensayos) son necesarios antes de que esos productos sean certificables.

1.2 Emisión e inmunidad RF

En la mayor parte de aparatos y equipos electrónicos el camino de acoplamiento de las interferencias hacia el medio ambiente y viceversa, es a través de sus cables de conexión. Estos interfieren de forma eficiente con el mundo exterior, a través de la conducción a bajas frecuencias, a través de la radiación y, en particular alrededor de sus frecuencias de resonancia (en la que la longitud del cable es un múltiplo de un cuarto de longitud de onda). Estos cables pueden intencionalmente llevar las señales de alta frecuencia, tales como los datos o vídeo, pero una fuente más potente de interferencia es el acoplamiento en modo común sobre el cable de la interfaz, y que fluye en todos sus conductores o en su pantalla (Figura 1), que puede no estar directamente relacionado con la señal. Una parte importante de EMC es el diseño concerniente a las interfaces entre la unidad y sus cables.

Figura 1: Corriente en modo común



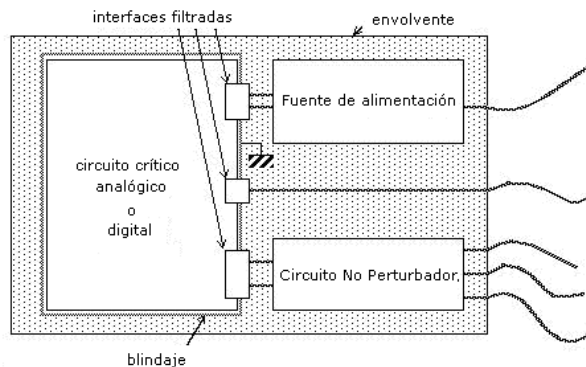
1.3 Distribución

El primer paso es el diseño de la distribución del sistema. Una mala distribución, o un sistema no distribuido puede tener los componentes de sus sub-sistemas separados en diferentes áreas de la tarjeta de circuito impreso o de la envoltura, pero las interfaces entre ellos deberán estar definidas y los puertos externos se dispersarán alrededor de la periferia. Esto hace que el control de las corrientes en modo común que existen en las distintas interfaces sea muy difícil. La dispersión de los puertos significa que las distancias entre los puertos en los lados opuestos del sistema es grande, lo que lleva a altos voltajes inducidos a través de tierra. Por lo general, la única manera de controlar las emisiones y la inmunidad de un sistema de este tipo es

colocando un blindaje alrededor de él y el filtrado de cada interfaz, lo cual, es una solución muy costosa. En muchos casos será difícil o imposible mantener la integridad del blindaje y aún así poder permitir un funcionamiento correcto.

La distribución separa el sistema en secciones críticas y no críticas desde el punto de vista de la EMC (Figura 2). Las secciones críticas son las que contienen fuentes de radiación, tales como lógica de microprocesador o circuitos de vídeo, o que son especialmente sensibles a las interferencias, tales como microprocesadores y señales de bajo nivel de los circuitos analógicos. Las secciones no críticas son aquellas cuyos niveles de señal, anchos de banda y funciones del circuito son tales que no son susceptibles a interferencias ni las provocan: la lógica de baja velocidad o sin clock, las fuentes de alimentación lineales y etapas de amplificación de potencia son ejemplos típicos.

Figura 2: Distribución del sistema



Las secciones críticas deben ser encerradas en un recinto blindado donde las entradas y salidas de todas las conexiones externas son cuidadosamente controladas. Este recinto puede contener el producto entero o sólo una porción de él, en función de la naturaleza de los circuitos: un gran objetivo del diseño debe ser reducir al mínimo el número de interfaces de control. Tenga en cuenta que el blindaje actúa tanto como una barrera a las interferencias radiadas como un punto de referencia para las corrientes de retorno.

1.4 Masas y trazado del PCB

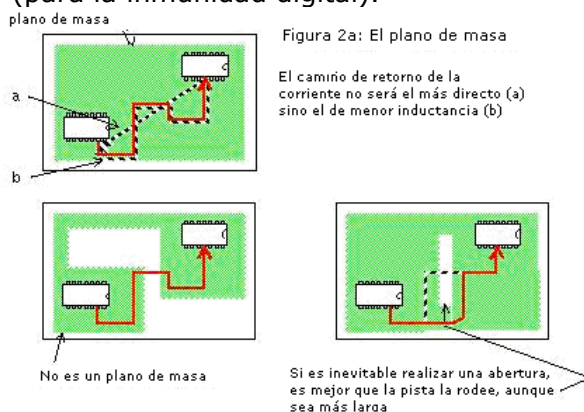
La definición clásica de la masa es "un punto equipotencial o plano que sirve de referencia para un circuito o sistema". Lamentablemente, esta definición no tiene en cuenta la presencia de flujo de corriente en la masa. Incluso cuando las señales de corriente son insignificantes, la corriente de masa inducida debido a las corrientes magnéticas del medio ambiente o campos eléctricos provocará cambios en el potencial de masa. Una alternativa para la definición de una masa es "un camino de baja impedancia por la que la corriente pueda regresar a su fuente". Esta definición hace hincapié en el flujo de corriente y la consiguiente necesidad de baja impedancia, y es más apropiado cuando están involucradas las altas frecuencias. Es importante recordar que dos puntos de "masa" separadas físicamente no están al mismo potencial, a menos que no esté fluyendo corriente entre ellas.

La cuidadosa colocación de las conexiones de masa nos lleva (un largo tiempo) hacia la reducción del ruido de las tensiones que se desarrollan a través de las impedancias de masa o de retorno. Pero, en cualquier circuito es prácticamente imposible eliminar por completo las corrientes de retorno que circulan. El otro aspecto importante de diseño de masa es reducir al mínimo el valor de la impedancia propia de la masa.

La impedancia de masa está dominada por inducción a frecuencias superiores a unos pocos kHz, y la inductancia de una pista de PCB o cable depende principalmente de su longitud. Por ejemplo, una pista de 0,5 mm de anchura y una longitud de 10cm aparece como 60nH mientras que 2 cm de longitud es 12nH. Las pistas paralelas reducirán la inductancia, siempre que estén separadas lo suficiente como para neutralizar el efecto de la inductancia mutua. La forma lógica de extender las pistas de masa en el PCB es la de formar el trazado de la masa en una estructura de rejilla. Esto maximiza el número de los diferentes caminos que puede tomar el

retorno de corriente y, por tanto, minimiza la inductancia de masa para cualquier pista de señal. El caso límite de una masa enrejillada es cuando se provee de un número infinito de caminos paralelos y la masa es continua; es entonces conocido como un "plano de masa". Esto es fácil de realizar en una tarjeta PCB multicapa, y ofrece la más baja inductancia posible de retorno de masa, siempre que este plano no sea interrumpido por otras vías. Tenga en cuenta que la finalidad del plano de masa no es para proporcionar protección y apantallamiento, sino para dar una baja impedancia de masa a las señales de alta frecuencia.

La regla importante es que no debe haber roturas ni huecos en el plano de masa debajo de las pistas críticas (de emisiones o susceptibles), las cuales, desvían la corriente de retorno y, por tanto, incrementan la efectividad del bucle figura 2a), ni que estas pistas se encuentren cerca del borde del plano. Por lo tanto, es necesario antes de iniciar el diseño determinar que pistas son críticas. Los criterios incluyen la clasificación en orden de frecuencia y di/dt (para emisiones) y en orden de ancho de banda, impedancia y nivel (para la inmunidad analógica) o si están o no "latcheadas" (para la inmunidad digital).



La reducción de la inductancia de masa en el circuito es reducir al mínimo el ruido auto inducido en los circuitos digitales (V_N en la Figura 1), y reducir al mínimo la diferencia de potencial de masa generada por las interferencias. Sin embargo, esto no puede ser eliminado totalmente, y por lo tanto, la masa de las interfaces debe ser establecida de modo que las corrientes de interferencia se desvíen lejos del circuito (entrante) y de los cables (saliente).

Un enfoque de diseño del plano de masa es utilizar un único plano para todos los circuitos de la tarjeta, lo que evita el difícil y desordenado proceso de decidir exactamente dónde dividir los planos. Otro es separar el plano de masa de la sección digital de la sección analógica y de la sección I/O y conectar la masa digital sólo a la interfaz de referencia de masa (véase el siguiente párrafo) en un punto. Los cables de I/O (incluidos los de alimentación) deben estar agrupados y el circuito de masa si es necesario debe ser puesto a la carcasa en este punto (Figura 3). Cualquier cable apantallado no debe ser puesto a los 0V del PCB, sino directamente a la interfaz de referencia de masa a través de la ruta más corta.

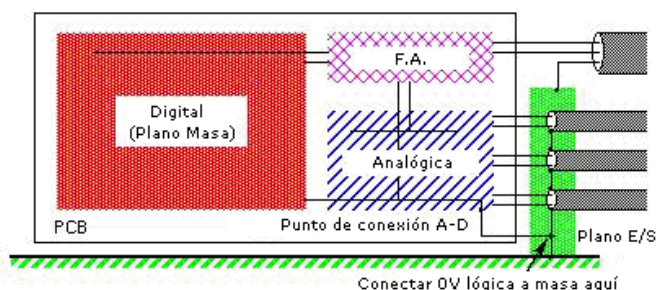
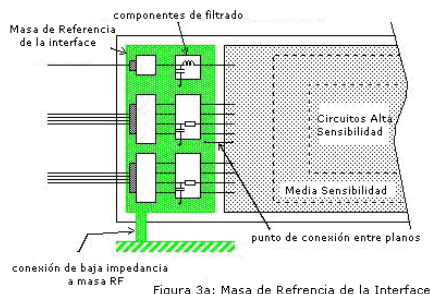


Figura 3: Configuración de la masa en E/S

Una de las principales amenazas EMC para cualquier equipo se produce en sus interfaces, y tratar las interferencias de corriente en modo común en las interfaces es fundamental. Esto se logra mediante la creación de una estructura de baja impedancia de transferencia de masa, donde todas las líneas de interfaz son desacopladas en RF. Su objetivo es reducir al mínimo los transitorios de radiofrecuencia y las diferencias de potencial a través de los puertos. La solución

es muy simple, ya sea mediante el uso de un metal o placa metálica sobre la cual montar todos los conectores, o mediante la designación de una parte del PCB como un interfaz de plano de masa con el mismo propósito (Figura 3a).

Esta interfaz de referencia de masa debe ser siempre una parte integral del diseño, aunque no aparezca en el esquema del circuito funcional. No es necesario tener una conexión del circuito o una conexión externa a tierra para fines de EMC, aunque bien pueden ser realizadas por razones de seguridad o funcionamiento.



1.5 Filtrado

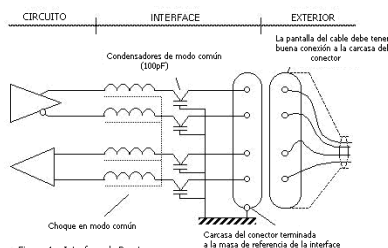
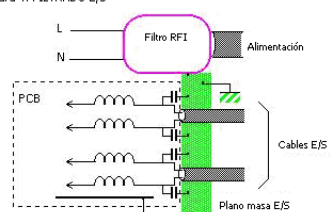
Las líneas no apantalladas de E/S deberían ser desacopladas de la interfaz de referencia de masa en el punto en el que entran o salen de la caja (Figura 4). La finalidad de esto es evitar que las corrientes de interferencia fluyan hacia él o los circuitos a través de los cables. Los condensadores de filtrado de RF y las bobinas son necesarios para ello. Los condensadores deben estar montados muy cerca de la masa y los terminales muy cortos, con el fin de desacoplar y reducir al mínimo su inductancia, y las bobinas deben ser arrolladas y montadas de forma que reduzca la capacidad al mínimo a través del bobinado. Las ferritas de supresión son útiles para reducir las corrientes del cable en modo común de alta frecuencia.

Para efectos de interferencia, tratar el puerto de entrada de red como cualquier otro, especialmente en lo que respecta al desacoplo de la interfaz de referencia de masa. Un filtro de alimentación es esencial si usted está usando una fuente de alimentación conmutada. Incluso si no es así, la inmunidad frente a transitorios de alimentación mejora notablemente si se incluye un filtro (a condición de que las otras interfaces también sean tratadas adecuadamente). Es difícil recomendar determinados tipos de filtro, salvo señalar que los altos valores de condensador X y de inductancias de modo común sólo son válidas, si las emisiones que se esperan son de baja frecuencia (150kHz).

De todas formas, es más importante garantizar que el filtro tenga un buen rendimiento en alta frecuencia y esté correctamente instalado. La conexión a tierra de la unidad de filtro debe tener un buen contacto de baja impedancia a la interfaz de referencia de masa e incluso un cable de poca longitud, más de 5 cm puede tener un efecto degradante en el rendimiento del filtro. Asegurar un contacto metal a metal es muy deseable.

Si usted sabe que el equipo se utilizará en un entorno con un alto grado de impulsos de alta energía, o si el cumplimiento de sus requisitos incluyen la prueba de caída de rayo, entonces será necesario colocar limitadores de sobretensión tipo varistores en el puerto de alimentación (a menos que los parámetros de tensión de los componentes de la fuente de alimentación estén muy sobre-valorados).

Figura 4: FILTRADO E/S



Hay dos maneras de eludir el problema de las corrientes de modo común en los cables de señal: apantallarlos o filtrarlos (figura 4). Cualquier técnica presupone la existencia de la interfaz de masa, y uno u otro es esencial. Si utiliza cables apantallados, determinar que impedancia de transferencia es necesaria para el propio cable, y asegúrese de especificar cables de igual o mejor rendimiento. Fundamentalmente, el rendimiento del cable es irrelevante si la pantalla es degradada por una conexión de mala calidad a la interfaz de masa. Si es posible, evitar "Pigtails" y asegúrese de que la pantalla cubre completamente el conector hasta el punto de referencia. Si los "Pigtails" son inevitables, que sean cortos, y no se preocupe de especificar un cable costoso.

Si el interfaz puede ser filtrado, el cable apantallado puede ser innecesario. Todas las líneas en el interfaz deben ser filtradas, incluido las líneas de 0V. Los filtros pueden consistir en condensadores paralelo (preferible 3 terminales) directamente unidos a la interfaz de masa, bobina de modo común en serie o ferrita o una combinación de ambas. La configuración dependerá de la impedancia en modo común de cada lado de la interfaz, para la que existe un consenso expresado en IEC 61000-4-6 donde la impedancia en modo común de un cable es de 150 ohm. La ventaja de las bobinas en serie es que no necesitan conexión a masa y nos pueden ayudar en ciertos tipos de circuitos (y por supuesto son esenciales si el diseño ha omitido el plano de referencia de masa).

Control del ancho de banda de señales analógicas

El filtrado a nivel de circuito: muchos circuitos analógicos no tienen ninguna dificultad con las emisiones ni con la inmunidad, siempre que su ancho de banda de funcionamiento sea controlado adecuadamente. Si las técnicas de diseño, selección y filtrado sólo son parcialmente eficaces, la modulación de RF y los transitorios eléctricos rápidos pueden tener un efecto desastroso en los circuitos analógicos. Las técnicas a nivel de circuito incluyen (Figura 5):

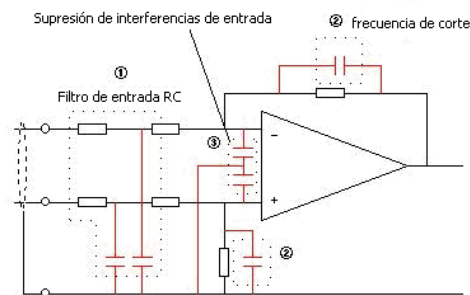


Figura 5: Límite del Ancho de banda

- la adaptación de las redes de realimentación para el ancho de banda mínimo necesario;
- inclusión de filtros RC de paso bajo en las líneas, especialmente en las entradas;
- adición de condensadores de bajo valor (por ejemplo, 47pF) directamente a través de los pines de entrada de los circuitos de alta ganancia como op-amps y comparadores, si esto se puede hacer sin comprometer la estabilidad del circuito; si no, la adición de cuentas de ferrita en serie con las entradas.

1.6 Uso de envolventes conductoras

Colocación de la unidad en una caja apantallada. Para circuitos muy ruidosos o muy sensibles, esto puede ser una parte necesaria de la estrategia global, pero es ineficaz a menos que sean también seguidas todas las otras técnicas de filtrado. Las interfaces forman una brecha en el apantallado y deben ser filtradas o apantalladas como se indica anteriormente. Las aberturas y otras discontinuidades también forman una brecha y deben ser tratadas cuidadosamente para no degradar el efecto de pantalla, pues sólo una moderada (por ejemplo, 20 dB) pérdida de efectividad de apantallado puede ser tolerada. En estos niveles de apantallado el material utilizado para la caja es de poca importancia, y los recubiertos de plástico metalizado pueden realizar perfectamente un adecuado desempeño. Es todavía muy posible que una buena

práctica de diseño de PCB y un adecuado control de interfaz, sirvan para satisfacer las exigencias de las diversas normas sin una caja apantallada totalmente.

Muy a menudo el mayor mérito de una envolvente conductora no es tanto el apantallado, sino una baja impedancia de transferencia a tierra de la estructura. La interfaz de referencia de masa a que se hace referencia más arriba es parte integrante de la estructura de la caja; los cables apantallados se conectan a la misma, como también los filtros de interfaz de condensadores y filtros de red.

La eficacia del blindaje está determinada casi en su totalidad por la relación entre la longitud de onda de la frecuencia más alta de interés y la dimensión de las aberturas en el blindaje, por lo que estas aperturas o costuras deben reducirse al mínimo. Un objetivo razonable para este fin es que cualquier agujero o ranura no deberá ser superior a una décima parte de una longitud de onda (3cm a 1 GHz). Para mejorar el rendimiento del blindaje, las ranuras entre paneles de la caja (puertas) deberían estar provistas de juntas conductoras o conductores metálicos para asegurar un camino conductor a través de la ranura. Los orificios de ventilación son aceptables siempre que se construyan a partir de varios pequeños orificios o ranuras en lugar de uno grande. Las ventanas y cortes del teclado, causan por lo general la mayoría de los problemas, si es posible, éstos deben ser puestos fuera de la zona apantallada.

2. LA ONDA ELECTROMAGNÉTICA

2.1 Longitud de onda y frecuencia

Todas las señales eléctricas viajan en forma de ondas con una velocidad finita. En la figura 1.1 se puede ver la gráfica de una onda en función del tiempo. La longitud de onda λ es la distancia entre cualquiera de dos puntos iguales de una señal eléctrica.

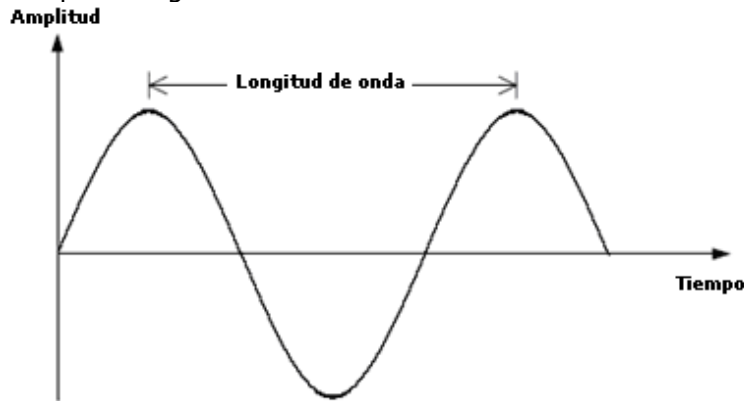


Fig 1.1.- Longitud de onda de una señal eléctrica.

El medio de propagación determina la velocidad con la que viaja la onda. En el espacio, una onda viaja a la velocidad de la luz c ($c= 3 \times 10^8$ m/s). Lógicamente la onda viaja más despacio cuando se desplaza mediante cables o pistas de circuito impreso (aprox. 0,6 veces la velocidad de la luz).

La ecuación 1.1 relaciona la longitud de onda con la frecuencia en el espacio libre o en el aire. En la tabla 1.1 se ve como la longitud de onda es inversamente proporcional a la frecuencia; por lo tanto, si la frecuencia aumenta, la longitud de onda disminuye.

$$\lambda = \frac{300}{f \text{ (MHz)}} \text{ [meters]}$$

(Ecuación 1.1)

Frequency	λ
10 Hz	30,000 km
60 Hz	5,000 km
100 Hz	3,000 km
1 kHz	300 km
50 kHz	6 km
100 kHz	3 km
500 kHz	600 m
1 MHz	300 m
10 MHz	30 m
100 MHz	3 m
1 GHz	30 cm
10 GHz	3 cm

Tabla 1.1

La conformidad con los requisitos de EMC presupone que los equipos instalados en un lugar determinado sean inmunes a los campos producidos por las fuentes de transmisión que se detallan en la tabla 1.2. Además, esos equipos no deben generar emisiones que puedan interferir en los receptores de esas fuentes de transmisión.

Source	Frequency (MHz)	Typical radiated power (kW)
AM (E)	0.15 – 0.285	320
AM (E & J)	0.525 – 1.605	600 & 500
AM (US)	0.53 – 1.71	50
Amateur	1.8 – 29.7	0.16 (mobile)
Citizens band	26.9 – 27.4	0.004
Amateur	28 – 30	0.2 (mobile)
Land mobile	29 – 54	0.1
Amateur	50 – 54	0.2 (mobile)
TV low VHF	54 – 88	100
Land mobile (E)	65 – 85	0.1
FM (J)	76 – 90	44
FM (US & E)	88 – 108	105
Aircraft	108 – 136	1
Land mobile (E)	120 – 160	0.1
Land mobile	132 – 174	18 – 100
Land mobile (J)	142 – 170	
Amateur	144 – 148	0.2 (mobile)
TV high VHF	174 – 216	316
Land mobile	216 – 222	0.2
Amateur	222 – 225	0.1 (mobile)
Land mobile (J)	335 – 384	
Land mobile	406 – 512	0.1
Land mobile (J)	450 – 470	
Amateur	430 – 450	0.1 (mobile)
TV UHF	470 – 806	5000
Land mobile	806 – 947	0.035
Cellular (AMPS)	806 – 947	0.003
Amateur, LM, GPS	1200 – 1600	
Cellular (PCS)	1700 – 2000	0.003
Bluetooth	2300 - 2500	

Tabla 1.2

2.2. Señales Digitales en el Dominio de la Frecuencia

Una forma de onda cuadrada típica se puede ver en la figura 1.2

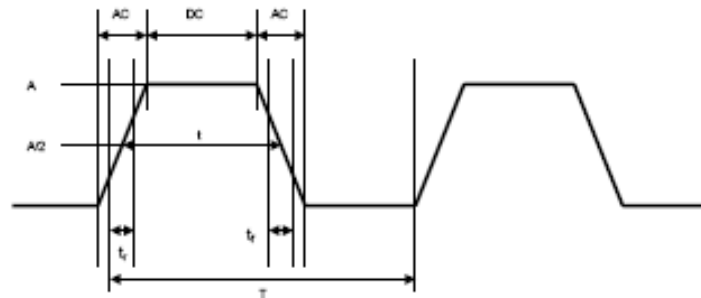


Fig 1.2 Componentes de una señal digital

Una onda cuadrada tiene una componente AC durante los tiempos de transición y una componente continua durante el tiempo de permanencia. Por lo tanto, una onda cuadrada se puede descomponer en múltiples armónicos de componente AC. Además de la frecuencia fundamental, una señal digital también contiene frecuencias armónicas que son múltiplos de la frecuencia fundamental. Por ejemplo, una señal digital con una frecuencia fundamental de 10Mhz, tiene armónicos de frecuencia en 20, 30, 40...Mhz. Por lo tanto, la corriente de esa señal digital fluye a la tensión DC y a 10, 20, 30, 40..Mhz.

El espectro de una señal es una curva donde aparece la frecuencia fundamental y sus componentes armónicas. En la figura 1.3 se aprecia el espectro de señal de una onda cuadrada con relación a su amplitud.

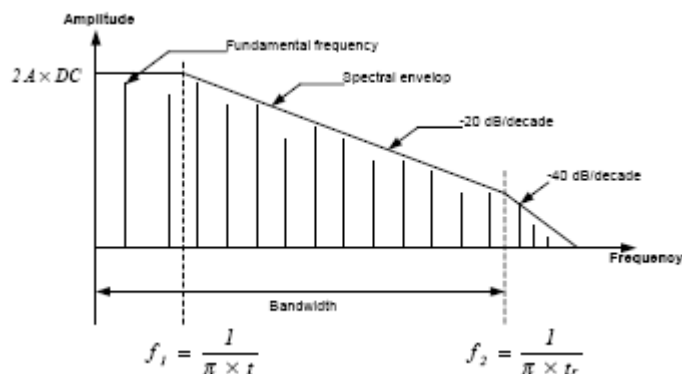


Fig 1.3 Espectro de una señal digital

La máxima amplitud del espectro de la señal es igual a $2A \times DC$, donde A es el valor de pico de la onda cuadrada y DC es el "duty cycle" normalmente denotado por δ , entonces:

$$\delta = \frac{t}{T}$$

Donde t es el tiempo que permanece una onda cuadrada por encima de la mitad de su amplitud máxima. El espectro cae a una velocidad de 20dB por década a frecuencias superiores a $f_1 = 1/\pi t$

El tiempo de subida de una señal (t_r) es el tiempo en que una señal sube del 10% al 90% de su valor. La ecuación 1.1 establece que el tiempo de subida determina el ancho de banda (BW) de la señal (también se puede utilizar el tiempo de bajada (t_f) si es más rápido que el de subida, que habitualmente lo es. El espectro cae a una velocidad de 40db por década a frecuencias superiores a $f_2 = 1/\pi t_r$.

$$BW = \frac{1}{\pi \times t_r}$$

(ecuación 1.1)

A efectos prácticos, es conveniente suponer que el espectro de frecuencia de los elementos parásitos de una señal digital cuadrada es $f_{\max}=500/t_{ns}$ MHz (-6.8dB) o $f_{\max}=350/t_{ns}$ MHz (-3dB); siendo t_{ns} el tiempo de subida/bajada en nanosegundos.

En la figura 1.3, el ancho de banda contiene el 99% de la energía de la señal.

El espectro de una onda cuadrada se puede desarrollar en su serie de Fourier. Cualquier señal periódica $x(t)$, por compleja que sea, se puede descomponer en suma de señales sinusoidales (componentes armónicas) cuya frecuencia (frecuencia armónica) es múltiplo de la fundamental. La ecuación 1.2 nos da la amplitud de la corriente fundamental y sus armónicos en la serie de Fourier de una onda cuadrada.

$$|I_n| = 2I_{\max}\delta \frac{\sin(n\pi\delta)}{n\pi\delta} \times \frac{\sin\left(n\pi\frac{t_r}{T}\right)}{n\pi\left(\frac{t_r}{T}\right)} \quad [\text{Amperes}]$$

(ecuación 1.2)

Donde $1 \leq n \leq \infty$, I_{\max} es la corriente máxima.

Se asume que los tiempos de subida y bajada son iguales. Una onda cuadrada con $\delta = 0,5$ solo tiene armónicos de orden impar, siendo el primer armónico de corriente $I_1 = 0,641 I_{\max}$.

2.3. Predicción de las emisiones radiadas

Para transmisores intencionados (por ejemplo antenas de TV, radio, etc.), el campo electromagnético cercano a las antenas es muy complejo. Este campo es llamado **Campo Cercano**. Sin embargo, el campo se convierte en una onda plana uniforme a cierta distancia de la antena. Este campo se llama **Campo lejano**. La transición entre el campo cercano y el campo lejano (ecuación inferior) se produce en aproximadamente un sexto de la longitud de onda de la antena transmisora.

Transición entre campo cercano y campo lejano: $\approx \frac{\lambda}{2\pi}$ [meters]

La siguiente ecuación, ecuación 1.4, representa como se calculan las emisiones radiadas de campo lejano desde cualquier transmisor:

$$E = \frac{\sqrt{30 \times P_t}}{r} \quad [\text{Volts/meter}]$$

(P en watios, r en metros)

Ecuación 1.4.- Emisión radiada en campo lejano.

Por ejemplo, el campo lejano de un transmisor FM de 100Mhz ocurre alrededor de 0,5 metros. El campo eléctrico a 100 metros (r) de distancia del transmisor ($P_t = 250$ KW) equivale a 27,4 V/m.

Para fuentes de ruido no intencionadas se deben considerar los bucles de corriente. La ecuación 1.5 nos da la máxima emisión radiada en $\mu\text{V/m}$ en modo diferencial de un bucle pequeño (dimensión $< \lambda/4$). La corriente en modo diferencial (DM), I_D , es la corriente que circula en el bucle.

$$E_{\max} = 132 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{f^2 \cdot A \cdot I_D}{d}$$

E = Campo eléctrico ($\mu\text{V/m}$)
d = Distancia (m)
f = Frecuencia (Mhz)
 I_D = Intensidad (mA)
A = Area de la espira (cm^2)

Ecuación 1.5.- Emisión radiada de modo diferencial.

Donde, **A** es el area del bucle

f es la frecuencia de la señal

I_D es la corriente de la señal

d es la distancia desde el pequeño bucle a la antena de medida o la distancia entre el bucle generador de emisión y el circuito receptor.

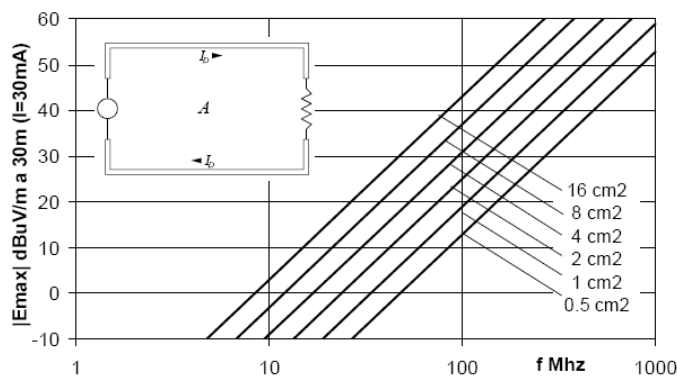


Figura 1.4

La figura 1.4 representa las emisiones radiadas a 30 metros de distancia de un circuito PCB con un bucle de área indicada.

La principal contribución a las emisiones radiadas se debe al llamado modo común (CM) que circula en los cables de un dispositivo electrónico, y actuando como eficaces antenas en la gama de frecuencias que se considera (hasta 2,5 GHz). La corriente en modo común no es más que la corriente en el cable. Idealmente, esta corriente debe desaparecer, porque cada corriente que entra en el dispositivo electrónico a través del cable, sale también a través del cable. Debido a los efectos parásitos, este equilibrio se altera y resulta un ruido en modo común. Esta corriente en modo común determina la cantidad de radiación, debido a que en el caso equilibrado, el campo radiado de cada uno de los diferentes hilos en el cable casi se anulan mutuamente.

Puesto que sólo la corriente en el cable es importante, el cable puede ser considerado como un único hilo que transporta este CM. En los dispositivos electrónicos de automoción varios cientos de diferentes señales contribuyen a la corriente en CM general asociada a los cables. Con el fin de estimar la contribución de los diferentes mazos, el principio básico de la generación de la corriente en modo común tiene que ser entendido como dos generadores; uno de tensión y otro de corriente.

El generador de corriente se debe a la inductancia parcial de las corrientes de retorno en el plano de masa, que produce una caída de tensión en todo el plano, e inyecta corriente en modo común en los cables adyacentes.

El generador de tensión es debido a que la señal de tensión conduce directamente la corriente en modo común a través de las capacidades parásitas.

La Figura 1.5 muestra la configuración para la medición de las corrientes en modo común de un dispositivo electrónico. El mazo de cables (harness) conecta el dispositivo electrónico a una carga que contiene todos los circuitos de entrada y salida del dispositivo. El dispositivo electrónico, cable, y la carga se coloca sobre un plano de masa.

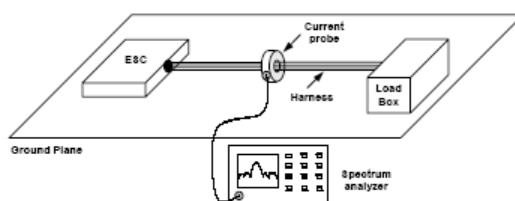


Fig 1.5

Una sonda de corriente de RF mide la corriente que circula a través del cable. La ecuación 1.6 nos da el cálculo de la corriente en modo común:

$$I_{CM} = \frac{V_{SA}}{Z_t} \quad [\text{Amperes}] \quad (\text{ecuación 1.6})$$

Donde, V_{SA} es la tensión que mide el analizador de espectro
 Z_t es la impedancia de transferencia de la sonda en ohms

La ecuación 1.7 nos da el campo eléctrico en $\mu\text{V}/\text{m}$ de un conductor corto (relativo a la longitud de onda) en el espacio libre debido a la amplitud de la corriente I_c . Se usa esta ecuación para estimar las emisiones de campo eléctrico debidas a la corriente en modo común.

$$E_{\max} = 3,125 \cdot \frac{f \cdot L \cdot I_c}{d}$$

E_{\max} = Campo eléctrico ($\mu\text{V}/\text{m}$)
 d = Distancia (m)
 f = Frecuencia (Mhz)
 I_c = Intensidad (mA)
 L = Longitud del cable o pista (cm)

Nota: Aproximación para conductores cortos
(ecuación 1.7)

Donde, I_c es la corriente de la señal
 L es la longitud del cable
 f es la frecuencia de la señal
 d es la distancia desde el conductor a la antenna de medida o la distancia entre el generador y el circuito receptor.

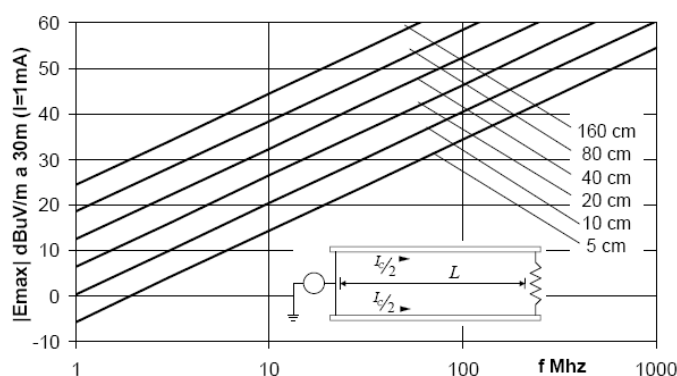


Figura 1.6

La figura 1.6 representa las emisiones radiadas a 30 metros de distancia de dos conductores o pistas en un circuito PCB.

Resolviendo la ecuación 1.7 para la corriente, nos da la ecuación 1.8:

$$I_n = \frac{0.4 \times E}{f_n} \quad [\mu\text{Amperes}]$$

(ecuación 1.8)

Donde, E es en $\mu\text{V}/\text{m}$

f_n es en MHz

El factor aplicado en esta ecuación está dado para un cable de 2m de longitud y una distancia antena-cable de 1m.

2.4 Diafonía

Los sistemas electrónicos contienen muchos conductores, tales como hilos, hojas de metal, pistas de PCB, y planos de masa en PCB. Los cables pueden convertirse en un factor dominante ya que pueden acoplar energía electromagnética a otros cables del mismo mazo, y, por tanto, en un dispositivo electrónico (módulo). Diafonía es el acoplamiento de señales entre los conductores. La Diafonía puede producirse a través de los siguientes mecanismos:

- Acoplamiento por impedancia común
- Acoplamiento capacitivo
- Acoplamiento inductivo

2.4.1. Acoplamiento por Impedancia Común

W/h or D/W	Z_c						
	Parallel Strips	Strips Over Ground Plane	Strips Side by Side	2.5	67	67	87
0.5	377	377	N/A	3.0	56	56	96
0.6	281	281	N/A	3.5	48	48	107
0.7	241	241	N/A	4.0	42	42	114
0.8	211	211	N/A	5.0	34	34	127
0.9	187	187	N/A	6.0	28	28	137
1.0	169	169	0	7.0	24	24	146
1.1	153	153	25	8.0	21	21	153
1.2	140	140	34	9.0	19	19	160
1.5	112	112	53	10.0	17	17	166
1.7	99	99	62	12.0	14	14	178
2.0	84	84	73	15.0	11.2	11.2	188
				20.0	8.4	8.4	204
				25.0	6.7	6.7	217
				30.0	5.6	5.6	227
				40.0	4.2	4.2	243
				50.0	3.4	3.4	255

Tenemos control sobre L, C y Z_c hasta frecuencias del orden de Ghz. Si queremos Z_c bajas (150 a 50 ohm), deberemos trabajar con relaciones W/H entre 0,7 y 2, o D/W entre 7 y 2.

El Acoplamiento por Impedancia común existe cuando dos o más circuitos comparten un conductor común como la fuente o sumidero. La impedancia común es una forma de comunicación entre los dos circuitos. La corriente que pasa por la impedancia común desarrolla una tensión, que aparece directamente en el circuito receptor. Esta impedancia compartida puede ocurrir en la alimentación de baterías, las distribuciones de tierra y las señales compartidas de tensión de alimentación y de retorno. La Impedancia de acoplamiento común puede causar muchos problemas en el PCB y los circuitos integrados.

La Figura 2.1 muestra la impedancia común en el lado positivo y negativo de un circuito de distribución de dos dispositivos, A y B. La corriente que circula por el circuito A afecta al potencial de masa del circuito B. Así mismo la corriente que circula desde el circuito B tiene el mismo efecto sobre el circuito A. La caída de tensión causada por la circulación de corriente de un circuito cambia el potencial de tierra del otro (receptor) circuito. Esta es una forma de comunicación entre los dispositivos A y B, que puede causar un problema, dependiendo de la sensibilidad de los demás circuitos. El mismo mecanismo de impedancia común se produce en el lado positivo de la batería.

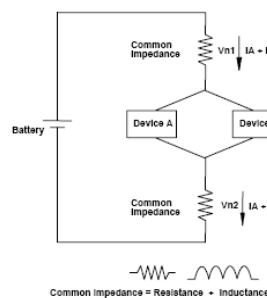


Fig 2.1

2.4.2. Acoplamiento capacitivo e inductivo

La figure 2.2 representa el acoplamiento capacitivo e inductivo entre dos circuitos.

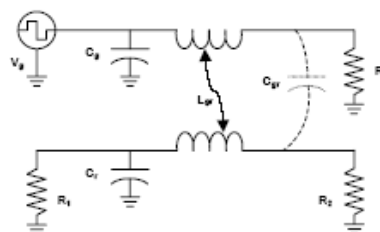


Fig 2.2

Donde, V_g es la tensión del generador
 C_g es la capacidad del generador
 R_g es el circuito de carga del generador
 R_1 y R_2 son las resistencias de terminación del circuito receptor
 C_r es la capacidad del circuito receptor
 C_{gr} es la capacidad mutua entre el generador y receptor
 L_{gr} es la inductancia mutua entre el generador y el receptor

$$V = \frac{6,28 \cdot 10^{-3} \cdot f \cdot I \cdot A_p \cdot A_v}{D^3}$$

V = Tensión en circuito abierto (mV)
 A = Areas de las espiras (cm²)
 I = Intensidad (mA)
 f = Frecuencia (Mhz)
 D = Distancia media entre espiras (cm)

Nota: Válido para espiras pequeñas

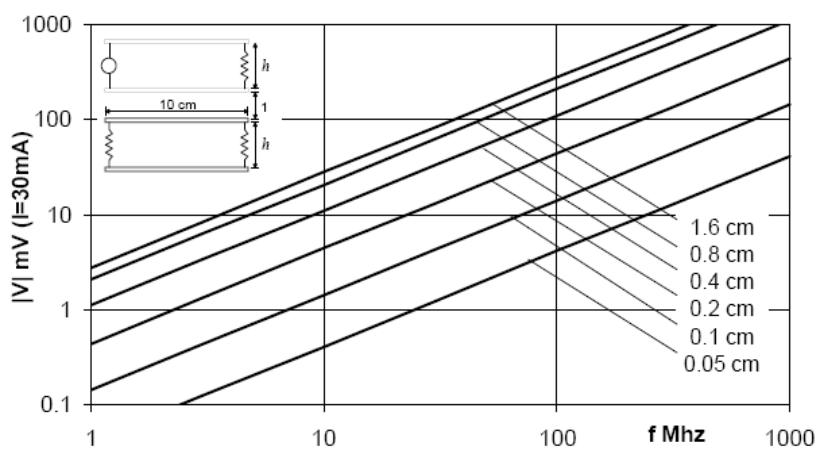


Figura 2.3.- Acoplamiento entre circuitos

2.4.3. Acoplamiento capacitivo

Una señal de tensión crea un campo eléctrico de los cables y las pistas de PCB. Resulta un acoplamiento Capacitivo por la fluctuación del campo eléctrico en el tiempo entre un circuito generador y otro receptor. La Figura 2.2 pone de manifiesto que el acoplamiento capacitivo es el resultado de una capacidad mutua CGR. La capacitancia mutua proporciona un camino para la corriente de emisión EMI del circuito generador al circuito receptor.

La Figura 2.4 muestra el circuito equivalente para el acoplamiento capacitivo mostrado en la Figura 2.2.

R_r es el equivalente del circuito paralelo de R_1 y R_2 . Cada vez que el generador de señal cambia de estado, se induce una tensión de ruido en el circuito receptor. Observando la Figura 2.4 se puede ver el acoplamiento capacitivo que es esencialmente un circuito derivador. La presencia de la CGR deriva la onda cuadrada para producir ruido de tensión en el receptor.

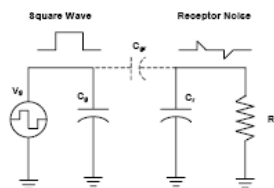


Fig 2.4

La cantidad de ruido de tensión que el circuito generador induce en el circuito receptor depende de la frecuencia del generador y de CGR, que es en gran medida una función de:

- Longitud en paralelo de los dos circuitos, y
- Separación entre los dos circuitos

La ecuación 2.1 nos da la capacidad mutua en picofaradios por pulgada entre dos conductores:

$$\frac{C}{l} = \frac{0.7\epsilon_{r(\text{eff})}}{\ln\left[\frac{d}{r} + \sqrt{1 - \left(\frac{2r}{d}\right)^2}\right]} \quad [\text{pF/in}] \quad (\text{ecuación 2.1})$$

Donde, **d** es la distancia entre centros de los conductores

r es el radio del conductor

εr es la permitividad del material del conductor.

La **permitividad efectiva, εr(eff)** depende de la distancia de separación. Varía desde

$1 < \epsilon_{r(\text{eff})} < 3.2$

La ecuación 2.2 nos da la capacidad en picofaradios por pulgada entre dos conductores sobre un plano de masa.

$$\frac{C}{l} = \frac{0.7\epsilon_{r(\text{eff})} \ln\left[1 + \left(\frac{2h}{d}\right)^2\right]}{\left[\ln\left(\frac{2h}{r}\right)\right]^2} \quad [\text{pF/in}], \text{ for } \frac{2h}{r} \gg 1 \quad (\text{ecuación 2.2})$$

Donde, **d** es la distancia entre centros de los conductores

r es el radio del conductor

h es la distancia entre los centros de los conductores y el plano de masa.

Para reducir el acoplamiento capacitivo:

- Decrementar la frecuencia del generador.
- Decrementar la longitud en paralelo entre los circuitos.
- Incrementar la separación entre los circuitos.
- Orientar el circuito receptor a 90° del circuito generador.
- Incrementar **Cr**.
- Decrementar **Rr**.
- Apantallar el generador y/o el receptor.
- Colocar los conductores sobre un plano de masa.

2.4.4. Acoplamiento inductivo

El acoplamiento inductivo resulta de la interacción de la variación en el tiempo de un campo magnético entre un circuito generador y otro receptor. El acoplamiento inductivo puede ocurrir a bajas o altas frecuencias. La diafonía por acoplamiento inductivo es más frecuente cuando transitorios de corriente de alto nivel y flancos rápidos son conmutados en circuitos de baja impedancia.

La corriente de la señal crea un campo magnético alrededor del conductor. La figura 2.2 ilustra que el acoplamiento se realiza a través de la inductancia mutua **Lgr**. La inductancia mutua provee un camino para el flujo magnético que se acopla desde el circuito generador al circuito receptor.

La Figura 2.5 muestra que el acoplamiento magnético es esencialmente un simple transformador magnético. El circuito generador es el primario y el circuito receptor el secundario del transformador. La figura también ilustra que cuando **Vg** es una señal senoidal entonces **Vnoise** es una señal senoidal pero con la amplitud reducida. Cuando **Vg** es una onda cuadrada entonces **Vnoise** aparece con impulsos de ruido en las transiciones de la onda cuadrada.

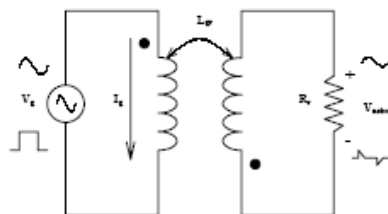


Fig 2.5

La cantidad de ruido de tensión que el circuito generador induce en el circuito receptor depende de la frecuencia del generador y **Lgr**, el cual es una función de:

- Área del receptor y del generador
- Longitud en paralelo de los dos circuitos
- Separación entre los dos circuitos

La ecuación 2.3 nos da la inductancia mutua en microhenrios por pulgada entre dos conductores sobre un plano de masa. El plano de masa retorna la corriente de ambos circuitos.

$$\frac{L_{gr}}{l} = 0.00254 \ln \left[1 + \left(\frac{2h}{d} \right)^2 \right] \quad [\mu\text{H}/\text{in}]$$

(ecuación 2.3)

Donde, **h** es la distancia entre centros del conductor y el plano de masa.

d es la distancia entre centros de los conductores.

La inductancia mutua aumenta como el área del circuito generador y receptor aumentan.

Para reducir el acoplamiento inductivo:

- Reducir el área del circuito receptor.
- Aumentar la separación entre el circuito generador y el circuito receptor.
- Reducir la longitud paralela entre el circuito generador y el receptor.
- Twistear los conductores del receptor si la corriente del receptor retorna por un conductor.
- Orientar el circuito receptor a 90° del circuito generador.
- Twistear los conductores del generador si la corriente del generador retorna por un conductor.
- Reducir la frecuencia de funcionamiento del circuito generador.
- Reducir la tasa de cambio de estado de la corriente del generador.
- Reducir el área del circuito generador.
- Apantallar el circuito receptor con unión a masa en ambos extremos.
- Usar un apantallamiento de material magnético.
- Colocar los conductores sobre un plano de masa. El plano de masa debe retornar la corriente de los conductores.

3. SOLUCIONES EMC

3.1. Estructura del PCB y sistemas de masa

3.1.1.- Cuando creas el esquemático, cada componente debe tener una referencia apropiada identificándole como miembro de un grupo funcional específico. Esto asegura una correcta colocación de los componentes durante el trazado del PCB.

Una posible colocación de los grupos funcionales en el PCB se ve en la fig. 3.1.

Todos los componentes deben ser colocados con su apropiado grupo funcional y sus pistas trazadas en su respectiva área de diseño.

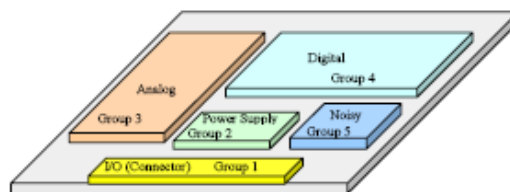


Fig.3.1 Estructura de los grupos funcionales en el PCB.

3.1.2.- Colocar el plano de masa debajo de todos los componentes y sus pistas asociadas (se recomienda un plano de masa continuo sin evitar las áreas de los IC ni de los conectores de E/S). Fig 3.2.

3.1.3.- Maximizar las áreas de cobre para proporcionar baja impedancia entre la alimentación y masa. Fig 3.2.

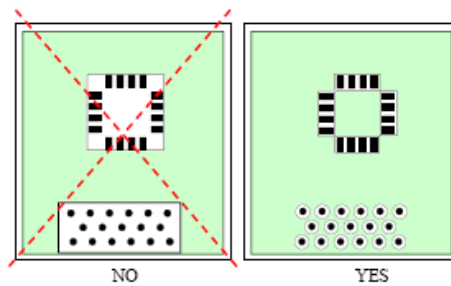


Fig 3.2 Maximizar el cobre en el PCB.

3.1.4.- En los PCB de dos caras, donde no sea posible un plano de masa, deberá utilizarse un sistema de red de masa.

La cara superior y la inferior del PCB deben tener un plano de masa con pistas horizontales en una cara y verticales en la otra. La red de masa deberá ser lo más tupida posible. Una red de masa se logra conectando líneas horizontales y verticales en caras opuestas del PCB mediante pasantes "vías" de cara. Un pasante es un taladro metalizado que interconecta dos o más capas del PCB. Los PCB multicapa deberían utilizar red de masa incluso si tienen uno o más planos de masa. Un adecuado diseño de la red de masa es el mejor sistema de masa. Fig 3.3

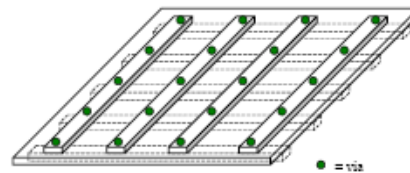


Fig 3.3 Red de masa.

3.1.5.- Colocar vías de masa alrededor del perímetro del PCB cada 1,27cm o menos como se aprecia en la figura 3.4. Unir estas vías con pistas de una anchura mínima de 0,4mm en todas las capas.

Esto ayudará a contener frecuencias hasta 5 Ghz dentro del PCB por la construcción de una "caja de Faraday". Trazar pistas fuera de estas vías no está permitido, excepto para las conexiones de I/O.

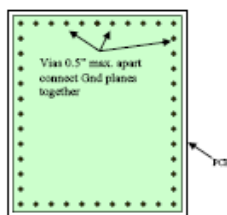


Fig.3.4

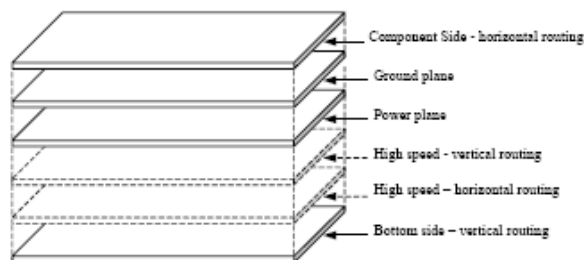


Fig. 3.5

3.1.6.- Para PCB multicapa la secuencia de capas recomendada se aprecia en la figura 3.5.

3.1.7.- En tarjetas sin plano de masa, por ejemplo tarjetas de dos caras, las pistas de masa y alimentación se trazarán adyacentes o una encima de otra en diferentes capas para reducir el área del bucle que forman.

3.1.8.- Colocar una isla de masa rellena bajo todos los IC de alta velocidad en la cara de componentes.

3.1.9.- Cuando sea posible, poner una vía a masa junto a todos los pines de los IC como se ve en la figura 3.6.

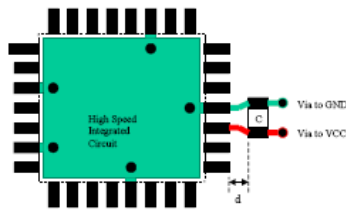


Fig. 3.6

3.1.10.- Todos los planos de masa pertenecientes a la misma red, se conectarán juntos con conexiones de baja impedancia a cada pin de masa del componente.

3.1.11.- Frecuencia e impedancia.

En la tabla aparece la impedancia relacionada con la frecuencia para un plano de masa de forma cuadrada y grosor de pista de cobre de 0,035mm., así como para una pista de cobre de 0,035mm de grosor, 1mm de anchura y 10mm de longitud.

Frequency	Ground plane impedance	Track impedance
100 Hz	574 $\mu\Omega$	5.74 m Ω
1 kHz	574 $\mu\Omega$	5.74 m Ω
10kHz	574 $\mu\Omega$	5.76 m Ω
20 kHz	574 $\mu\Omega$	5.81 m Ω
50 kHz	574 $\mu\Omega$	6.14 m Ω
100 kHz	574 $\mu\Omega$	7.21 m Ω
500 kHz	576 $\mu\Omega$	22.5 m Ω
1 MHz	582 $\mu\Omega$	44 m Ω
2 MHz	604 $\mu\Omega$	87.5 m Ω
5 MHz	736 $\mu\Omega$	218 m Ω
10 MHz	1.04 m Ω	437 m Ω
20 MHz	1.61 m Ω	874 m Ω
50 MHz	2.62 m Ω	2.18 Ω
100 MHz	3.69 m Ω	4.37 Ω
200 MHz	5.22 m Ω	8.74 Ω
500 MHz	8.26 m Ω	21.8 Ω
1 GHz	11.6 m Ω	43.7 Ω

3.1.12.- Los retornos de masa de los circuitos digitales de alta frecuencia y de los circuitos analógicos de bajo nivel nunca se deben mezclar. Asegurarse que los caminos de retorno de masa de las señales digitales, analógicas o de potencia, no se interfieran unos a otros.

3.1.13.- Mantener los conductores de masa tan cortos como 1/20 de la longitud de onda puede prevenir de emisiones radiadas excesivas; así como ayuda a mantener baja impedancia a altas frecuencias.

3.1.14.- Conexiones de masa de un solo punto solamente deben ser utilizadas en circuitos de bajo nivel y baja frecuencia (<1Mhz).

3.1.15.- Conexiones de masa multipunto se utilizarán en circuitos de alta frecuencia (>1Mhz) para mantener la masa con baja impedancia.

3.1.16.- No debe haber ninguna isla de cobre flotante en el PCB. Todos los segmentos de pista con relación longitud-anchura mayor que 10:1 deberán tener, por lo menos, un pasante conectado a GND en los dos extremos de la isla. (fig. 3.7)

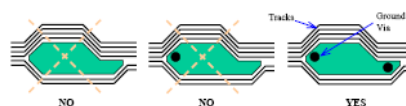


Fig. 3.7

3.1.17.- En los PCB que no tienen plano de masa, al menos una pista de retorno deberá ser trazada junto al bus de direcciones y de datos para minimizar el área del bucle.

Mantener las líneas tan cortas como sea posible. Para las líneas de direcciones trazar el

retorno de masa próximo al bit menos significativo (LSB), puesto que esta línea es la más activa.

3.1.18.- Evitar los bucles de masa. Pueden ser la fuente de emisiones radiadas. Un plano de masa o una red de masa ayudan a evitar que se formen bucles.

3.1.19.- Ampliar los planos de masa en la medida de lo posible más allá de las zonas de los componentes y sus pistas y planos de alimentación. El plano de masa debería poder extenderse más allá del plano de alimentación y cualquier pista por lo menos 20 veces el espacio entre capas. (fig. 3.8).

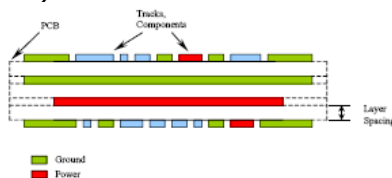


Fig. 3.8

3.2.- Sistema de alimentación

3.2.1.- La fuente de alimentación debe estar colocada próxima al punto de entrada de alimentación del PCB y lo más cerca posible a los circuitos de energía. Trazar las pistas muy próximas entre ellas (para reducir al mínimo la zona comprendida entre ellas, y por tanto la inductancia).

3.2.2.- La entrada de alimentación siempre debe ser desacoplada en el punto de entrada al PCB.

3.2.3.- Los condensadores electrolíticos siempre deben colocarse con uno o más condensadores de alta frecuencia y baja ESL. Colocar un condensador de desacoplo de bajo valor junto al dispositivo a desacoplar.

3.2.4.- La distribución del sistema de alimentación deberá ser en forma de estrella, red o plano de alimentación; pero nunca en conexión punto a punto (Daisy-chain). Utilizar el punto de conexión positivo del condensador electrolítico de salida del regulador de tensión como el punto de referencia de distribución en estrella. (fig. 3.8).

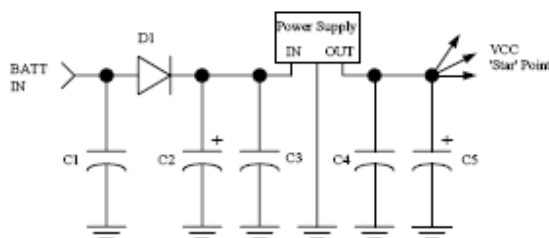


Fig. 3.8

3.2.5.- El valor del condensador electrolítico debe ser 10 veces más grande que la suma de todos los condensadores de desacoplo.

3.2.6.- Deben ser utilizados condensadores cerámicos de alta frecuencia y baja inductancia para desacoplar cada circuito integrado IC (0,1uF hasta 15Mhz y 0,01uF para más de 15Mhz). El condensador de desacoplo debe ser colocado lo más cerca posible de los pines de alimentación del circuito integrado.

La distribución del sistema de alimentación debe proveer la suficiente corriente, en un determinado instante de tiempo, para que funcione correctamente el dispositivo. Esto incluye requerimientos de fuertes picos de corriente durante las transiciones en la salida. Los condensadores de desacoplo, cuando están colocados cerca del dispositivo y unidos

al pin de alimentación y masa con conexiones de baja inductancia, entregan la corriente que el dispositivo necesita en ese instante de tiempo.

3.2.7.- Las pistas que transportan señales pulsadas de alta corriente y con flancos de subida y bajada muy bruscos (5-10ns) deben mantenerse al menos a 3mm de separación de otras pistas de señal trazadas en paralelo a éstas, y/o deberá trazarse una pista de masa entre ellas.

3.2.8.- Las pistas de alimentación y masa deben ser trazadas siempre en paralelo (en la misma cara) o una encima de otra (en capas adyacentes) para minimizar el área del bucle y su impedancia. (fig. 3.9)

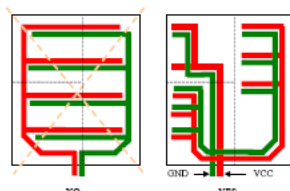


Fig. 3.9

3.2.9.- Utilizar la familia lógica más lenta que satisfaga los requisitos de funcionalidad del diseño.

3.2.10.- Las pistas de masa y alimentación deberán ser lo más cortas y anchas posible.

3.2.11.- La colocación de cuentas de ferrita en la alimentación puede proporcionar la atenuación de señales no deseadas por encima de 1Mhz. Seleccionando un adecuado tamaño, estas cuentas pueden ser muy eficaces para amortiguar la reflexión provocada por los transitorios de alta frecuencia de conmutación, sin causar pérdidas en DC. Precaución: la utilización de ferritas puede impedir la circulación de corriente en AC.

3.2.12.- Los sensores de tensión o corriente deben colocarse cerca del punto de entrada en la PCB (junto al conector de E/S).

3.2.13.- Los dispositivos limitadores de sobretensión, como ZENER, MOV o Transzorb deben ser colocados junto al punto de entrada de alimentación en el PCB. Asegurar una buena conexión de baja impedancia a masa.

3.2.14.- Proporcionar suficiente corriente de almacenamiento (condensador) sobre la entrada de la batería en el diseño de fuentes de alimentación conmutadas y/o en otros circuitos de funcionamiento discontinuo de la batería, a fin de que estas corrientes no aparezcan en el mazo, donde puede ser radiada o acoplada a otros circuitos.

3.2.15.- Todas las pistas de una fuente de alimentación conmutada deben ser trazadas en una misma cara del PCB, con el plano de referencia colocado directamente en la capa adyacente para reducir al mínimo el área del bucle que forman.

3.2.16.- El disipador del transistor de conmutación debe estar conectado al mismo potencial que el encapsulado, bien sea a masa o VCC. A veces, el encapsulado del transistor de potencia no está conectado directamente al disipador, sino que está aislado por una arandela de material aislante. Esto produce una capacidad parásita entre el transistor de potencia y el disipador de calor. Conectar el disipador de calor a un plano de referencia distinto a masa o VCC puede proporcionar un camino para las corrientes en modo común.

3.2.17.- El área del bucle del circuito de snubber debe ser físicamente lo más pequeña posible.

3.2.18.- La zona primaria del circuito de una fuente conmutada con transformador debe ser

minimizada en la medida de lo posible (fig 3.10). La zona incluye, el conductor positivo del condensador electrolítico, el primario del transformador, el colector o drenador del transistor de conmutación, la resistencia de sense de corriente y su conductor a masa, el conductor de masa del condensador electrolítico.

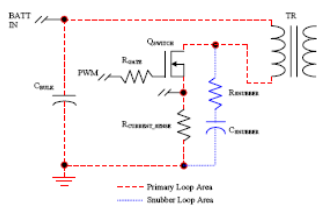


Fig 3.10

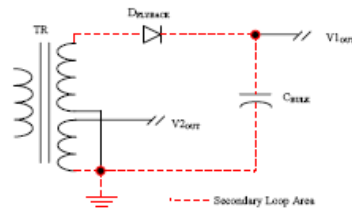


Fig 3.11

3.2.19.- La zona secundaria de una fuente conmutada con transformador también debe ser minimizada como sea posible (fig 3.11). La zona incluye, la pista positiva del secundario del transformador, el diodo serie, el condensador electrolítico, el terminal de masa del condensador electrolítico y el terminal de masa del secundario del transformador.

3.3 Circuitos digitales

3.3.1.- Las conexiones de las señales de reloj serán las primeras pistas en trazarse y se trazarán sobre una misma cara y junto a un plano de masa.

3.3.2.- Todas las conexiones del bus de direcciones/datos/clock serán tan cortas y directas como sea posible con pistas o planos de masa adyacentes (fig 3.12). Evitar el uso de cables en las señales de reloj.

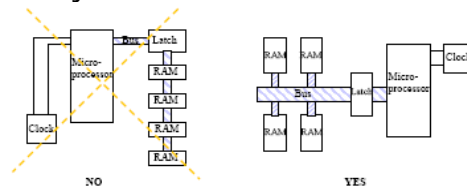


Fig 3.12

3.3.3.- Las señales digitales de alta velocidad como los datos, direcciones y líneas de control de los microprocesadores deberán agruparse y colocarse lo más alejadas posible de los conectores de E/S.

3.3.4.- Trazar siempre la pista de señal y su retorno lo más cerca posible una de otra, con el fin de minimizar el área encerrado por la circulación de corriente (fig 3.13).

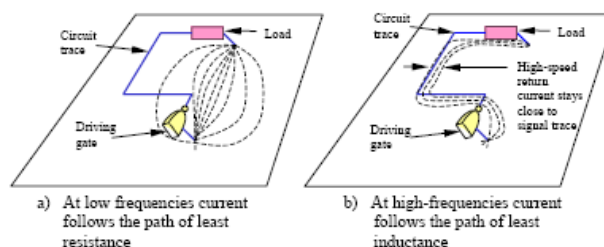


Fig 3.13

3.3.5.- Evitar trazar cualquier otra pista que no sea masa cerca de los cristales o cualquier otra fuente de ruido.

3.3.6.- Colocar los osciladores/cristales siempre lejos de los conectores E/S y próximos al IC al que sirven.

3.3.7.- Elegir siempre la frecuencia de reloj más baja y los tiempos de subida y bajada más

lentos que requiera la aplicación.

- 3.3.8.- Todas las pistas críticas, como clocks, data strobes, etc.. deberán trazarse manualmente y adyacentes a pistas o planos de masa.
- 3.3.9.- Colocar los osciladores y cristales físicamente tan cerca como sea posible del dispositivo al que dan servicio e idealmente en la misma cara de PCB. Minimizar la longitud de las pistas entre el oscilador y el IC (fig 3.14).

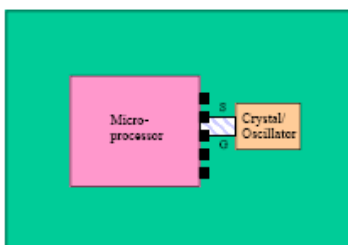


Fig 3.14

- 3.3.10.- El uso de terminadores en las señales rápidas puede impedir reflexiones en los extremos de la línea de transmisión.
- 3.3.11.- En buses largos, mantener las líneas de alta velocidad separadas de las de baja velocidad añadiendo espacio extra entre las señales de alta y baja velocidad, llevando las señales de alta frecuencia junto a una pista de masa.
- 3.3.12.- Todas las líneas de señal diferencial deben ser trazadas una junto a la otra para aprovechar la máxima cancelación del campo magnético. Poner anillos de guarda a ambos lados de la longitud total del par diferencial.
- 3.3.13.- Trazar las pistas perpendiculares (90°) en una capa con respecto a la otra en un PCB ayudan a mejorar la diafonía.
- 3.3.14.- El control del tiempo de subida y bajada, el duty cycle y la frecuencia fundamental de señales conmutadas ayuda a minimizar la generación de armónicos.
- 3.3.15.- Todas las entradas de IC no utilizadas deben ser referenciadas para evitar que se produzcan conmutaciones y ruido no deseado.
- 3.3.16.- Mantener las pistas de alta frecuencia alejadas del borde del PCB.
- 3.3.17.- Proveer buen retorno de masa a las líneas largas y de alta frecuencia.

3.4. Circuitos analógicos

- 3.4.1.- Los circuitos analógicos y periféricos deben colocarse lo más cerca posible de los conectores de E/S y mantenerse alejados de los circuitos digitales de alta velocidad, alta corriente, fuentes conmutadas, etc...
- 3.4.2.- El trazado de una señal analógica de bajo nivel debe estar confinado solamente en la zona analógica del PCB.
- 3.4.3.- Utilizar siempre filtros paso bajo en todas las entradas analógicas.
- 3.4.4.- Las pistas de PCB que terminan en un conector E/S deberán ser desacopladas en el conector.
- 3.4.5.- Se deben trazar siempre anillos o pistas de masa de guarda junto a las señales

analógicas. Poner pasantes en los dos extremos.

- 3.4.6.- Si se utilizan dispositivos supresores/limitadores en las bobinas de relé y/o solenoides, deberán colocarse lo más cercano posible a los terminales de la bobina.
- 3.4.7.- Si se utiliza una señal PWM para gobernar un solenoide, se puede colocar una resistencia supresora. Sirve para prevenir cambios bruscos de corriente di/dt que pueden causar excesiva radiación de campos magnéticos.
- 3.4.8.- La colocación de la resistencia de base próxima físicamente a la base del transistor, previene del acoplamiento de RF en los cambios de estado del transistor.
- 3.4.9.- Los condensadores de base y emisor deben ser colocados muy próximos al transistor (fig 3.15). Se deberán conectar a masa con conexiones de baja impedancia para minimizar la inductancia y el área del bucle.

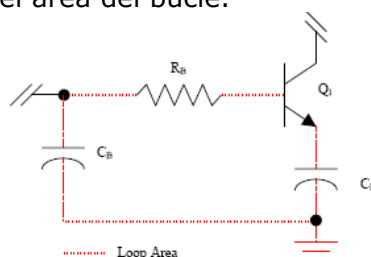


Fig 3.15

- 3.4.10.- Durante el trazado, tratar todas las pistas que llevan señales sensibles (sobre todo con alta impedancia de entrada; es decir superiores a 10Kohm) como antenas receptoras.
- 3.4.11.- En circuitos analógicos que utilizan amplificadores operacionales con alta ganancia, observar las recomendaciones indicadas en el capítulo 4.

3.5. Varios

- 3.5.1.- Los cables que transporten señales de frecuencias inferiores a 10Mhz se deben terminar y apantallar a masa solamente en el lado del generador o fuente (fig 3.16).

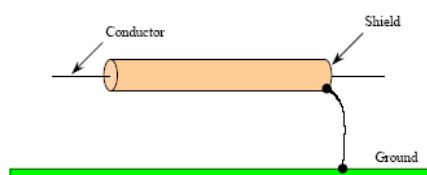


Fig 3.16

- 3.5.2.- Los cables que transporten señales de frecuencias superiores a 10Mhz se deben terminar y apantallar a masa en los dos lados.

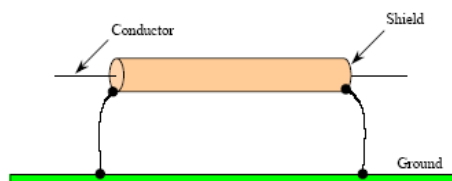


Fig 3.17

- 3.5.3.- Usar pares trenzados en las cargas para evitar la creación de antenas de lazo que puedan radiar campos magnéticos.

- 3.5.4.- Cuando se lleva un mazo de cables a lo largo de una hoja de metal, mantener lejos de cualquier apertura como sea posible. Las aperturas actúan como antenas.
- 3.5.5.- Mantener los mazos de cables por lo menos a 10 cm de cualquier fuente de campo eléctrico y magnético.
- 3.5.6.- La zona expuesta de un cable apantallado en un conector o terminal no debe exceder de 10mm de longitud.
- 3.5.7.- Intentar siempre minimizar la longitud de los mazos de cables para reducir el acoplamiento.
- 3.5.8.- Utilizar pares trenzados para señales sensibles de baja frecuencia (inferior a 1 Mhz) y en circuitos con impedancia menor de 1 Kohm.
- 3.5.9.- Se debe utilizar cable coaxial para transmitir señales de RF (superiores a 10Mhz) y donde mantener la impedancia igual durante un amplio rango de frecuencias sea importante (como en aplicaciones de video).
- 3.5.10.- Los circuitos generadores de tensión y variaciones bruscas de corriente deben tener un conductor separado de retorno a masa para reducir el acoplamiento de los transitorios en otros circuitos.
- 3.5.11.- Todos los puertos de los IC no utilizados se deben configurar como salidas para prevenir estados aleatorios que generen conmutaciones y ruido.
- 3.5.12.- Deshabilitar por software todas las salidas de reloj de un IC no utilizadas.
- 3.5.13.- Todos los drivers de salida se deben proteger frente a los transitorios de retorno provocados por cargas inductivas.
- 3.5.14.- Todos los dispositivos sensibles a las descargas ESD nunca se deben colocar cerca de los conectores E/S y ninguna apertura accesible donde pueda ser dañado por la descarga.
- 3.5.15.- Mantener los cables planos siempre lejos de los IC y circuitos de oscilador. Llevarlos sobre o junto a los IC debe ser evitado a toda costa. Fig 3.18

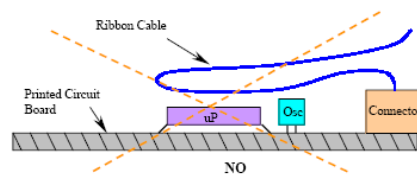


Fig 3.18

- 3.5.16.- Cuando unes los cables planos al PCB proveer siempre de múltiples retornos de masa para minimizar el área de bucle. Fig 3.19

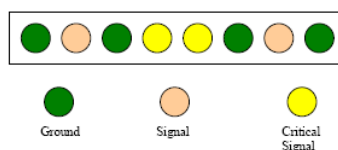


Fig 3.19

- 3.5.17.- Las señales críticas siempre deben colocarse entre dos conductores de retorno.

3.6. DIRECTRICES DE DISEÑO PCB

Directrices para el diseño y layout de los circuitos digitales de alta velocidad.

- Dar mucha importancia a la colocación y orientación de los componentes.
- Evitar la superposición de armónicos de reloj. Hacer una tabla armónica de cada reloj.
- El área de la señal de reloj debe ser lo más pequeña posible.
- Utilizar PCB de varias capas con planos de alimentación siempre que sea posible.
- Todo el trazado de las señales de alta frecuencia debe estar en las capas adyacentes a un plano de alimentación.
- Mantener las capas de señal tan cerca de la capa del plano adyacente como sea posible (<10 mils ó 0,25mm).
- Por encima de 25 MHz, el PCB debe tener dos (o más) planos de alimentación.
- Cuando los planos de alimentación están en capas adyacentes, el plano de VCC debe ser minimizado desde el borde del plano de GND una distancia igual a 20 veces la distancia entre planos.
- Introducir las señales de reloj entre el plano de alimentación y GND siempre que sea posible.
- Evitar las ranuras en el plano de GND. También se aplica al plano de alimentación.
- Si es necesario hacer un plano ranurado, las señales no deben trazarse fuera de las ranuras.
- Filtrar (terminaciones serie) los conductores de salida de reloj para suavizar sus tiempos de subida/bajada y para reducir la señal (normalmente 33 a 70 ohmios).
- Colocar los relojes y circuitos de alta velocidad tan lejos de la zona de E/S como sea posible.
- Utilizar un mínimo de dos condensadores de igual valor en los formatos DIP, cuatro en los formatos QFP. En los circuitos integrados de alta frecuencia/alta potencia/alto ruido pueden ser necesarios muchos más condensadores.
- Considerar el uso de estructuras de PCB con capacidades incorporadas para el desacoplo en tarjetas de HF (> 50 MHz).
- Utilizar técnicas de trazado de PCB de impedancia controlada (con terminaciones) cuando sea necesario.
- En los PCB de impedancia controlada, no hacer la transición de la señal de una capa a otra a no ser que ambas capas estén referidas al mismo plano.
- En los PCB que no son de impedancia controlada, cuando una señal de reloj necesita pasar de una capa a otra y las capas están referidas a diferentes planos, añadir un condensador entre los planos.
- Todas las pistas cuya longitud (en pulgadas) sea igual o superior al tiempo de subida/bajada de la señal (en nanosegundos), debe tener dispuesta en serie una resistencia de terminación (por lo general, 33 ohmios).
- Simular todas las pistas, cuya longitud (en pulgadas) sea igual o superior al tiempo de subida/bajada de la señal (en ns).
- Conectar la masa lógica al chasis (con una conexión de muy baja Z) en la zona de E/S. Esto es crucial!
- Proveer de una conexión adicional de masa a chasis en la zona del reloj/oscilador.
- Otras conexiones de chasis a masa también pueden ser necesarias.
- Las placas hijas (con HF, dispositivos ruidosos y/o cables externos) deben estar correctamente conectadas a masa a la placa base y/o al chasis (no utilizar los pines de masa del conector para proporcionar esta masa).
- Proporcionar filtros de modo común en todas las líneas de E/S. Agrupar todas las líneas de E/S juntas en la zona de E/S de la PCB.
- Los condensadores shunt utilizados en los filtros de las E/S deberán tener una muy baja impedancia de la conexión a chasis.
- Utilizar un filtro de entrada RFI en la línea de alimentación de CC (tanto CM & DM).
- La mayoría de los productos en cajas de plástico deben estar provistos de un plano de referencia de metal.
- Considerar el uso de blindajes en el PCB a nivel de componente, cuando corresponda.

- Puesta a tierra de todos los radiadores de calor.

Nota: Reloj=> cualquier señal periódica de HF (por ejemplo, CLK, RW, CAS, ALE, etc).

4. AMPLIFICACION Y ANALISIS DE DERIVAS

La amplificación de señales tales como las originadas por termistores (PTC y NTC) no suele ocasionar problemas, pero si la linealización. Por el contrario, los termopares son muy lineales y sus problemas son de amplificación; en este apartado nos referimos casi exclusivamente a este último caso.

Uno de los errores más importantes en un amplificador operacional es el "offset" o desviación de cero, al que se puede definir como la tensión que es necesario suministrar a la entrada para obtener cero voltios a la salida; su origen radica en las pequeñas diferencias constructivas base-emisor de los transistores de entrada. La compensación de este error es sencilla a una temperatura determinada, y la mayoría de los amplificadores tienen dos salidas para la corrección mediante potenciómetro exterior multivuelta. Sin embargo, las tensiones base-emisor de dichos transistores varían con la temperatura, variando en consecuencia su diferencia u offset, con lo que se observa que éste permanecerá estable si lo es la temperatura; esta variación recibe el nombre de "deriva del offset" y se mide en uV por grado, pudiendo ser tanto positivo como negativo.

Con respecto a este parámetro, en general se pueden distinguir dos clases de amplificadores: con coeficiente de temperatura definido (deriva) y no definido. Entre los primeros se pueden citar el LM208 (15uV/°C), CA308 (30uV/°C), OP02 (10uV/°C); entre los segundos los populares uA741 y uA709.

Conclusiones:

1º En un intervalo dado de temperatura la deriva en temperatura será considerablemente inferior a la declarada por el fabricante y se calcularía por la fórmula Tensión de error = \pm deriva máx (uV/°C) x ganancia, en lazo cerrado (nº de veces) x incremento de temperatura (°C) desde el ajuste.

$$V \text{ error offset} = \pm (uV/^{\circ}C) \text{ máx.} \times A \times \Delta t$$

Ejemplo: Calcular la tensión de error máxima teórica con un amplificador montado con ganancia 1000, teniendo en cuenta que trabajará desde 10°C a 55°C siendo su deriva máxima de 15uV/°C y teniendo en cuenta que se ajuste a una temperatura de 20°C.

$$V \text{ error a } 10^{\circ}C = \pm 15uV/^{\circ}C \times 1000 \times 10^{\circ}C = \pm 150000 \text{ uV} = \pm 150 \text{ mV}$$

$$V \text{ error a } 55^{\circ}C = \pm 15uV/^{\circ}C \times 1000 \times (55-20) = \pm 15000 \times 35 = \pm 525 \text{ mV}$$

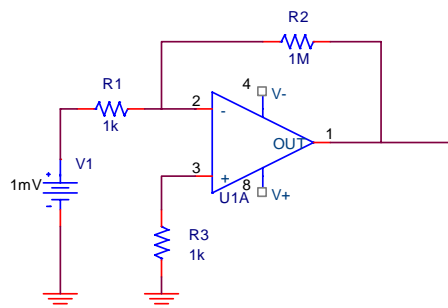
2º Cuando se deseen grandes amplificaciones (100 es ya considerablemente grande) lo más correcto es fraccionar la amplificación en dos o más etapas, ya que sus derivas tienden a compensarse hasta cierto punto. En el ejemplo anterior podría obtenerse la misma ganancia con tres amplificadores de ganancia 10 o bien con dos de ganancia 31,622 (31,622 x 31,622 = 999,95).

Estos errores son de considerable importancia con amplificadores grandes ya que implican que la señal a amplificar es baja, y consecuentemente la relación señal/deriva debe mantenerse lo más alta posible para obtener una buena repetibilidad y estabilidad en las medidas.

Otro punto destacable es el tipo de resistencias a utilizar; es un error común en las personas no introducidas en este campo intentar abaratar costos colocando resistencias de carbón, ajustando la ganancia del conjunto con un potenciómetro; si se analizan los data sheet del fabricante se comprobarán las notables diferencias entre un tipo y otro de resistencia, pudiéndose afirmar que en general las metálicas tienen mejores características al menos en un orden de magnitud.

Aquí al igual que el offset, interesa la diferencia de derivas térmicas, y suponiendo que la diferencia de derivas sea sólo un 25% de la máxima (1200 ppm y 100 ppm), que sean ambas del mismo signo y un incremento de temperatura de 20°C tendremos los resultados de la figura

4.1. El error en ambos casos es positivo, pero podría ser negativo con solo que fuera la resistencia de 1 K la que tuviera mayor deriva. Es usual que estos errores se pasen por alto puesto que son falsamente atribuidos al offset. Sin embargo estos y otros factores deben analizarse por separado ya que el error final será la suma de todos los errores parciales. Para conseguir que éste sea mínimo deberá actuarse sobre cada uno de los factores individualmente.



CARBON	1 Mohm	1200 ppm
	1 Kohm	900 ppm
METALICA	1 Mohm	100 ppm
	1 Kohm	75 ppm

CARBON

	Deriva por °C	Deriva en 20°C	R. Final
1 Mohm	1200 ohm / °C	24000 ohm	1024000 ohm
1 Kohm	0,9 ohm / °C	18 ohm	1018 ohm

Ganancia inicial = 1Mohm/1Kohm= 1000
Error = 0,6%

Ganancia final = 1024000/1018 = 1005,89

PELICULA METALICA

	Deriva por °C	Deriva en 20°C	R. Final
1 Mohm	100 ohm / °C	2000 ohm	1002000 ohm
1 Kohm	0,075 ohm / °C	1,5 ohm	1001,5 ohm

Ganancia inicial = 1Mohm/1Kohm= 1000
Error = 0,05%

Ganancia final = 1002000/1001,5 = 1000,4992

Figura 4.1. Influencia del coeficiente de temperatura de las resistencias.

4.1 Importancia de las masas de alta calidad

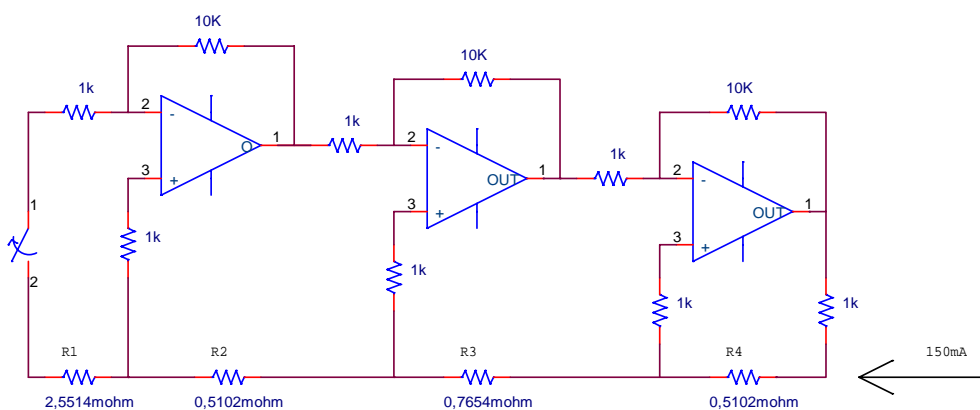


Fig.4.2 Errores introducidos por el potencial de masa

Se analizará en primer lugar el montaje de la figura 4.2 para extraer conclusiones acerca de la importancia de las masas. El mencionado montaje se compone de tres amplificadores iguales de ganancia individual 10 y por tanto de ganancia total 1000. Para ceñirnos al problema se suponen los offsets compensados y que la entrada inversora del primero está conectada a masa, siendo además la temperatura constante; R1, R2, R3 y R4 son las resistencias teóricas de las líneas de masa con longitudes de 10,2, 3 y 2 cm respectivamente, la anchura de la pista es de 2mm y el grueso de 35µm; recordemos que:

Para R1 tenemos:

$$\left\{ \begin{array}{l} R = \rho l/s \\ l = 0,01 \text{ m} \\ \rho(\text{Cu}) = 0,01786 \Omega \text{ mm}^2/\text{m} \\ S = 2 \times 0,035 \text{ (mm}^2\text{)} = 0,07 \text{ mm}^2 \end{array} \right.$$

Sustituyendo:

$$R_1 = 0,01786 \times 0,01/0,070 = 0,0025514 = 2,5514 \text{ m}\Omega$$

Correlativamente:

$$R_2 = 0,5102 \text{ m}\Omega$$

$$R_3 = 0,7654 \text{ m}\Omega$$

$$R_4 = 0,5102 \text{ m}\Omega$$

Si por esta parte de la masa circulan 150 mA, tendremos en los bornes de cada una de las resistencias las siguientes tensiones:

$$V_{R1} = 2,5514 \times 10^{-3} \Omega \times 150 \times 10^{-3} \text{ A} = 382,71 \mu\text{V}$$

$$V_{R2} = 0,5102 \times 10^{-3} \Omega \times 150 \times 10^{-3} \text{ A} = 76,53 \mu\text{V}$$

$$V_{R3} = 0,7654 \times 10^{-3} \Omega \times 150 \times 10^{-3} \text{ A} = 114,81 \mu\text{V}$$

$$V_{R4} = V_{R2} = 76,53 \mu\text{V}$$

$$V = 650,58 \mu\text{V}$$

Puede parecer que una diferencia en el nivel de masas inferior al milivoltio carece de importancia, sin embargo no es así, tal y como se verá a continuación. En efecto, el amplificador A1, a pesar de tener su entrada inversora cortocircuitada a masa, amplificará la caída de tensión en R1, así a su salida tendremos:

$$V_{\text{sal}}(A1) = -(-382,71 \mu\text{V}) 10 = 3,8271 \text{ mV}$$

En el segundo amplificador la entrada verá dos generadores en oposición, la salida del primer amplificador y la caída de potencial en R2, que se restan:

$$V_{\text{sal}}(A2) = -(3,8271 \text{ mV} - 0,07653 \text{ mV}) 10 = -37,5057 \text{ mV}$$

En el tercer amplificador la salida de A2 se sumará a la caída de potencial de R3 (serie suma) con lo cual tenemos:

$$V_{\text{sal}}(A3) = -(-37,5057 \text{ mV} - 0,11481) 10 = 376,205 \text{ mV}$$

Vemos pues que sin señal y al variar la corriente de masa hasta 150 mA (valor no exagerado ya que bastan para ello algunos CI TTL para conseguirla) la salida puede fluctuar hasta los 376,2 mV, pero este error no es fijo pues varía con la carga y por tanto no es posible compensarlo directamente. También puede reducirse a la entrada del primer amplificador, a una tensión de $376,2 \text{ mV}/1000 = 376,2 \mu\text{V}$. Teniendo en cuenta que amplificaciones de esta magnitud se utilizan para señales del orden del mV vemos que el error introducido es sensiblemente igual a la magnitud a amplificar, lo cual es inadmisibile.

Podría pensarse que lo más obvio sería disminuir las resistencias de masa, y para ello aumentar el ancho de pistas. Si se aumentara el ancho de pista hasta 1 cm (la sección quedaría multiplicada por 5) la resistencia disminuiría proporcionalmente, pero a pesar de ello tendríamos 75,24 mV a la salida, lo cual continúa siendo inadmisibile pues representa errores de aproximadamente el 10%, a pesar de los 10mm de pista, que es un ancho exagerado para 150 mA.

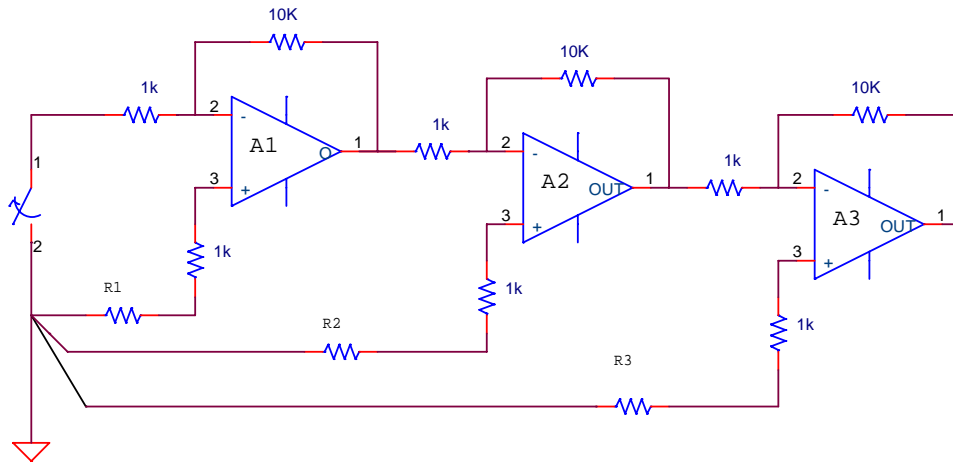


Figura 4.3. Montaje de amplificadores con masas de alta calidad.

En la figura 4.3 vemos el mismo montaje que en la figura 4.2 pero con masas de alta calidad. Para conseguirlos es preciso que no circule por ellas ninguna corriente común, sino que todas ellas se encuentren en un punto y éste es el de alta calidad.

En la figura 4.3 vemos que R1, R2, R3 son despreciables con respecto a su respectivas resistencias de 1K (aunque el ancho de pista sea muy inferior), desapareciendo el fenómeno analizado ya que no hay interferencias posibles de corriente de masa exteriores.

Debe tenerse presente que desde este punto de vista no tiene excesiva importancia la resistencia de la masa desde el punto de alta calidad hasta lo que podríamos considerar masa verdadera, punto desde el cual el regulador mide la tensión de salida (figura 4.4). En efecto, aunque el retorno tuviera un valor óhmico elevadísimo, por ejemplo 1 ohm, y circulara por él 1 A (caída de tensión 1 V) no nos afectaría puesto que los operacionales son amplificadores diferenciales. Todo ello es válido siempre y cuando el transductor o la fuente de señal a amplificar estuviera referido al punto de masa de alta calidad.

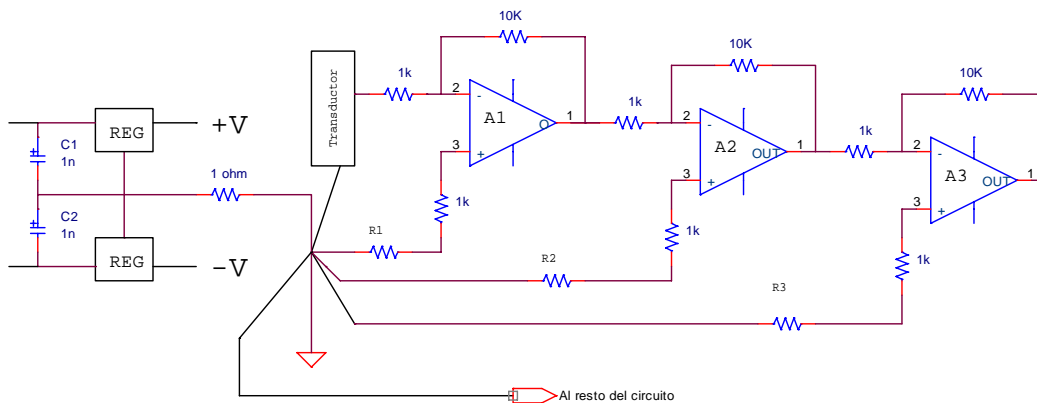


Figura 4.4. Influencia nula de la R de masa si existen puntos de alta calidad

Suponiendo que A1, A2 y A3 debieran ir conectados a un punto de masa de alta calidad distante especialmente en el circuito impreso, por tenerlo como referencia otros bloques analógicos, es sumamente engorroso llevar tres pistas si la distancia es considerable y existe una fuerte densidad de componentes. El montaje de la figura 4.5 solventa esta dificultad; el amplificador actúa como seguidor de tensión de ganancia unidad y su salida tiene una impedancia bajísima (recuérdese que $S_{al} = 2 Z_{saln} / \text{ganancia}$ en lazo abierto) con lo cual tenemos nuevamente que no existe interacción entre los distintos pasos amplificadores; así pues es posible hacer llegar un punto de masa de alta calidad a muchos otros sin excesivas complicaciones de pistas.

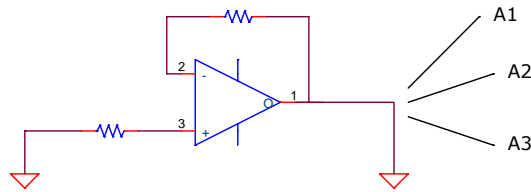


Figura 4.5. Montaje para el traslado de masas de alta calidad

4.2 Medición en ambientes ruidosos

Por lo general el transductor suele estar a una cierta distancia del equipo electrónico de medida y control, con lo cual el circuito formado por masa-cable de conexión-transductor-cable de conexión-resistencia de entrada-masa virtual (Zent) masa (fig.4.6) forma una espira de considerables dimensiones (en la figura está indicada en trazo más grueso). Esta espira es ideal para que en ella se introduzcan toda suerte de parásitos provenientes de conmutaciones de resistencias, motores, ruido de RF, etc.... Es dificultoso el apantallamiento de los cables de conexión de forma especial en los termopares, ya que éstos son de compensación, siendo asimismo difícil el simple trenzado de los mismos, que sería de gran utilidad.

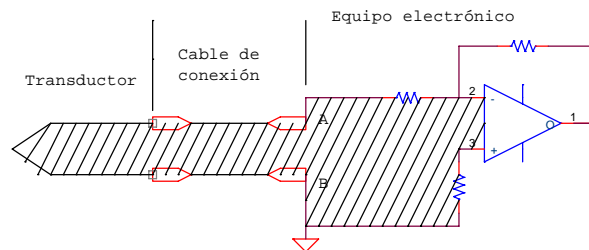


Figura 4.6. Bucle de entrada

No debe extrañar pues que en pruebas de laboratorio con ruido simulado (artificial y buscándose los peores casos) se visualicen en el osciloscopio sobretensiones entre los puntos A y B de hasta 60 V pico a pico; estos parásitos son más de 1000 veces superiores a la señal útil que llega a valer algunos mV según la temperatura. Se observa pues que el problema no debe tratarse a la ligera ya que es grave tanto como error en la medida como de seguridad del propio amplificador.

En primer lugar debe tenerse presente que el tiempo de respuesta requerido en un equipo por grande que éste sea, será usualmente despreciable frente a la inercia térmica de la utilización (hornos, calderas, etc.) lo cual favorece la protección frente a los parásitos. En efecto, en la figura 4.7, el condensador C disminuye la banda pasante. Para tener una idea de magnitud supongamos $R_1 = 10K$, $R_2 = 100K$ y $C = 15\mu F$ (tantalio); la frecuencia de corte será:

$$F_1 = 1/2\pi R_2 C = 1/2\pi 10^5 \Omega 15 \times 10^{-6} F = 1/2\pi 1,5 = 0,106 \text{ Hz}$$

Es decir, a esta frecuencia aún podemos considerar que la ganancia vale $-R_2/R_1 = -10$ (el signo menos corresponde a la inversión de polaridad). La frecuencia f_2 es la correspondiente a la ganancia unidad y valdrá:

$$F_2 = 1/2\pi R_1 C = 1/2\pi 10^4 \Omega 15 \times 10^{-6} F = 1/2\pi 0,15 = 1,061 \text{ Hz}$$

A partir de esta frecuencia la ganancia será inferior a la unidad, lo cual nos es extremadamente favorable ya que la señal útil es de muy baja frecuencia y los parásitos son de una frecuencia mucho más elevada, no pudiendo fijarse valores a éstos últimos ya que dependen de la fuente que los produce; además su forma de onda (la de los reproducidos en laboratorio) es más semejante a impulsos que a ondas senoidales. Ya que la respuesta de un condensador

electrolítico no es buena a altas frecuencias, para compensarla es adecuado colocar condensadores de poliéster, cerámicos o similares, en paralelo con el electrolítico.

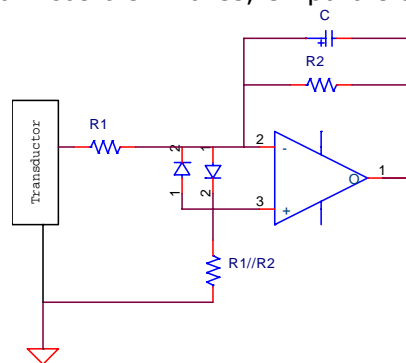


Figura 4.7. El montaje seudointegrador limita la banda pasante y con ello amortigua los parásitos.

La explicación física del fenómeno de reducción de frecuencia se basa en que para frecuencias altas, el condensador C ofrece una impedancia ($X_c = 1/2\pi fC$) muy inferior a R2, actuando pues como si la cortocircuitara. Entonces $-Z2/R$, siendo $Z2/R$ la impedancia capacitiva que resulta del paralelo entre R2 y C, tiene un valor inferior a la unidad.

La función de los diodos en antiparalelo, conectados entre las entradas consiste en limitar las tensiones aplicadas al valor de conducción de los mismos y proteger así al amplificador de la destrucción. Téngase presente que aunque el punto medio de R1, R2 es una masa virtual, a altas frecuencias puede dejar de serlo debido a la baja velocidad de respuesta del amplificador, que como se sabe depende de la ganancia (relación ganancia-banda pasante).

Otra solución, complementaria se representa en la figura 4.8, y consiste en fraccionar R1 en dos partes y colocar un condensador en el punto medio, como si se tratase de un típico filtro en T.

Si R2 es grande (figura 4.8), para el cálculo de la amplificación deberá tenerse en cuenta el valor de la resistencia de realimentación, asimismo deberá analizarse su comportamiento con la temperatura (el aumento de las fugas provoca disminución de la R de fugas).

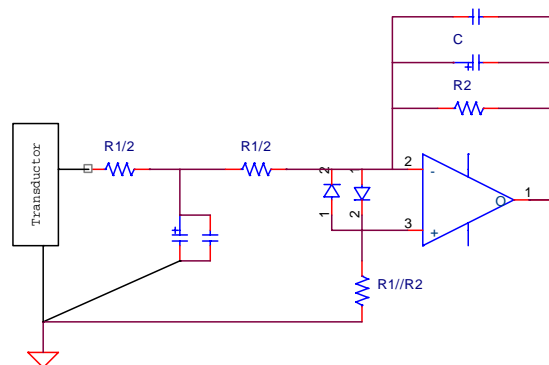


Figura 4.8. Circuito de entrada mejorado para termopar.

(PT100 => R0=100 ohm a 0°C. Precisión 0,01°C. $R_t = R_0 (1 + \alpha t)$; donde $\alpha = 0,00392$)

5. NORMATIVA Y MERCADO CE

Desde hace algunos pocos años observamos que la mayoría de productos que podemos comprar en la Comunidad Europea llevan una marca adicional; un logotipo normalizado que identificamos con las siglas CE.



“Marca CE”

Según las directivas de la Comunidad Europea todo producto que se fabrique, almacene o comercialice en la Unión Europea deberá llevar el marcado CE.

El marcado CE simboliza la conformidad del producto con todos los requisitos comunitarios impuestos al fabricante.

Para el consumidor esto implica que el producto que adquiere cumple con una serie de requisitos legales, y que por lo tanto cumple una serie de normas técnicas que revierten en una seguridad y una calidad, mínimas.

La importancia de esto se pone en evidencia en todos aquellos productos en que por sus condiciones de funcionamiento y utilización puedan representar un peligro para nuestra seguridad.

Todo esto está regulado a través de una serie de directivas de obligado cumplimiento por los fabricantes y representantes legales en la Comunidad Europea.

Las directivas Europeas son disposiciones legales dictadas por los Estados miembros.

Los estados miembros adoptan estas directivas y las publican (en España en el Boletín Oficial del Estado BOE).

5.1 Las Directivas

La creación de un Mercado Único para el 31 de diciembre de 1992 no habría sido posible sin una nueva técnica reglamentaria que estableciese los requisitos generales esenciales, redujese el control de las autoridades públicas antes de la comercialización de un producto, integrara la garantía de la calidad y otras técnicas modernas de evaluación de la conformidad. Además, el procedimiento de toma de decisiones debía adaptarse a fin de facilitar la adopción de directivas de armonización técnica por mayoría cualificada en el Consejo.

La Resolución del Consejo de 1985, relativa a un nuevo enfoque de la armonización y normalización técnica, establece una nueva técnica y estrategia de reglamentación sobre la base de los siguientes principios:

- La armonización legislativa se limita a los requisitos esenciales que deben cumplir los productos comercializados en el mercado comunitario para poder circular libremente dentro de la Comunidad;
- Las especificaciones técnicas de los productos que cumplen los requisitos esenciales establecidos en las directivas se fijarán en normas armonizadas;
- La aplicación de normas armonizadas y de otro tipo seguirá siendo voluntaria y el fabricante siempre podrá aplicar otras especificaciones técnicas para cumplir los requisitos;

- Los productos fabricados en cumplimiento de las normas armonizadas gozan de la presunción de conformidad con los requisitos esenciales correspondientes.
- Los fabricantes pueden elegir entre los diversos procedimientos de evaluación de la conformidad contemplados en la Directiva aplicable.

5.2 La compatibilidad electromagnética y la seguridad eléctrica

En el caso de equipos o dispositivos eléctricos y/o electrónicos, estas directivas, de obligado cumplimiento se establecen para evitar que las radiaciones o perturbaciones electromagnéticas influyan de forma perjudicial en el funcionamiento de los diferentes equipos y aparatos eléctricos y/o electrónicos. Además determinan los niveles de inmunidad que deben de soportar para tener un comportamiento adecuado ante las interferencias.

La directiva de compatibilidad electromagnética tiene por objetivo garantizar la libre circulación de aparatos, en un entorno electromagnético adecuado dentro del Espacio Económico Europeo. Esta directiva se aplica a todos los aparatos, eléctricos o electrónicos, equipos sistemas e instalaciones que tengan componentes capaces de causar o verse afectados por perturbaciones electromagnéticas.

Estas directivas se publican en el Diario oficial de las Comunidades Europeas.

Los objetivos de la directiva de EMC son los siguientes: Garantizar que el funcionamiento de los equipos, dispositivos, sistemas y servicios de radio comunicación estén adecuadamente protegidos frente a las perturbaciones electromagnéticas. Dar protección a las redes de distribución de energía frente a las perturbaciones electromagnéticas producidas por los aparatos máquinas y sistemas conectados a ellas. Asegurar la suficiente protección de las redes de telecomunicación incluyendo los equipos y sistemas que están conectados a ellas.

Además hay otras directivas para regular los aspectos de la seguridad eléctrica de todos aquellos aparatos y/o dispositivos que vayan conectados de una forma u otra a la red eléctrica.

Estas directivas son:

Para compatibilidad electromagnética: 2004/108/EC,
Para seguridad: (2006/95/EC)

Para asegurar el cumplimiento de estas directivas se establece así mismo un procedimiento para poder realizar el marcado CE de los aparatos y/o productos, y poder comercializarlos en la Unión Europea.

Todas estas directivas revierten en unas normas y en unos procedimientos.

5.2.1 La evolución histórica de las directivas

En el año 1973 concretamente el 26-3-1973 el DOCEE (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 73/23/CEE, Que hace referencia a la aproximación de las legislaciones de los estados miembros sobre los materiales eléctricos que se destinen para la utilización con determinados niveles de tensión.

El 14-1-1988 en España el BOE publica un Real decreto el 7/1988, que determina las exigencias de seguridad del material eléctrico que se destina para trabajar con determinados niveles de tensión. Con esta publicación España empieza a adaptarse y aplicar la Directiva Europea 73/23/CEE.

El 23-5-1989 (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 89/336/CEE, sobre la aproximación de los Estados miembros de la Comunidad Europea relativas a la Compatibilidad Electromagnética. El principal objetivo de esta Directiva es el de la armonización técnica de las normas existentes sobre Compatibilidad Electromagnética.

El 21-6-1989 en España el BOE publica la Orden de 6 de Junio de 1989 por la que se desarrolla con mas detenimiento y complementa el Real Decreto 7/1988.

El 29-4-1991 (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 91/263/CEE que hace referencia a las legislaciones de los Estados miembros de la Comunidad Europea sobre equipos terminales de telecomunicación, incluyendo el reconocimiento mutuo de conformidad.

El 12-5-92 (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 92/31/CEE, por la que se modifica la Directiva 89/336/CEE. Se retrasa la entrada en vigor de la Directiva, hasta el 1 de Enero de 1996.

El 30-8-1993 el DOCEE (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 93/68/CEE que determina el marcado CE de conformidad, y determina la fecha máxima de entrada en vigor: el 1-1-1997. Además se modifican entre otras las siguientes directivas:

89/336/CEE (Compatibilidad Electromagnética)
89/392/CEE (Máquinas)
91/263/CEE (Equipos terminales de Telecomunicación)
73/23/CEE (Material eléctrico)

El 9-2-1994 El BOE publica el Real Decreto 444/1994, por el que se restablecen los diferentes procedimientos de evaluación de conformidad y los requisitos de protección relativos a la compatibilidad electromagnética de los equipos, sistemas e instalaciones. Se adaptan y aplican las Directivas 89/336/CEE y 92/31/CEE.

El 28-12-1995 El BOE publica el Real Decreto 1959/1995, por el que se modifica el Real Decreto 444/1994. Esto se realiza para actualizarse según la Directiva 93/68/CEE.

El 15-12-2004 (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 2004/108/EC, que sustituye a la directiva 89/336/CEE a partir de 20-1-2007.

El 12-12-2006 (El Diario Oficial de las Comunidades Europeas), publica la Directiva 2006/95/EC, que sustituye a la directiva 73/23/CEE a partir de 1-1-2007.

El 17-1-2007 el BOE publica el Real Decreto 1580/2006, por el que se traspone a la legislación nacional la directiva 2004/108/EC.

5.2.2 Directiva equipos terminales de telecomunicación y/o equipos radioeléctricos

Es de aplicación a las empresas fabricantes y/o distribuidores de equipos Terminales de Telecomunicación y/o Equipos Radioeléctricos.

De aplicación a partir del 8 de abril de 2000. Esta directiva supone un nuevo enfoque y cambios importantes, que se pueden resumir en simplificación de los procedimientos para el mercado CE.

Directiva: 1999/5/EC

5.2.3 Directiva compatibilidad electromagnética

Esta directiva, de obligado cumplimiento se establece para evitar que las perturbaciones electromagnéticas influyan de forma perjudicial en el funcionamiento de los diferentes equipos y aparatos eléctricos y/o electrónicos. Además determinan los niveles de inmunidad que deben de soportar para tener un comportamiento adecuado ante las interferencias.

La directiva de compatibilidad electromagnética tiene por objetivo garantizar la libre circulación de aparatos, en un entorno electromagnético adecuado dentro del Espacio Económico Europeo. Esta directiva se aplica a todos los aparatos, eléctricos o electrónicos, equipos sistemas e instalaciones que tengan componentes capaces de causar o verse afectados por perturbaciones electromagnéticas.

Directiva: 2004/108/EC

Quedan expresamente excluidas de esta directiva las siguientes familias de productos:

- Equipos de radio y telecomunicaciones cubiertos por la directiva 1999/5/EC.
- Productos aeronáuticos, partes y aplicaciones referidos en la regulación 1592/2002.
- Equipos de radio usados por radioaficionados; pero no comercializados.
- Vehículos a motor (72/245/EEC y 2004/104/EC)
- Dispositivos de implantes médicos (90/385/EEC)
- Dispositivos médicos (93/42/EEC)
- Dispositivos médicos de diagnóstico In Vitro (98/79/EC)
- Equipamiento marítimo cubierto por 96/08/EC
- Tractores agrícolas (75/322/EEC)

Así mismo, alguna familia de productos queda excluida de requisitos de inmunidad; porque ya quedan reflejados en la directiva que los regula, como son:

- Instrumentos de medida (2004/22/EC)
- Instrumentos de pesaje de funcionamiento no automático (90/384/EEC)

Además, ciertos productos están exentos de cumplir con esta directiva; pues son inherentemente benignos a la compatibilidad electromagnética, como son:

- Cables
- Cargas resistivas sin dispositivos de control de potencia
- Baterías y acumuladores (sin circuitos electrónicos)
- Altavoces
- Lámparas sin circuitos electrónicos
- Transformadores e inductores de alta tensión
- Condensadores
- Motores de Inducción
- Relojes de cuarzo
- Antenas

Estas directivas se publican en el Diario oficial de las Comunidades Europeas.

5.2.4 Directiva seguridad eléctrica

Es de aplicación a las máquinas, aparatos con riesgo eléctrico, destinados a utilizarse con una tensión nominal comprendida entre: 50 y 1000 V en corriente alterna, y entre 75 y 1500 V en corriente continua.

Es de obligatorio cumplimiento desde 1-1-1997.

Directiva: 2006/95/EC

5.2.5 Normas

Definición de norma:

Una norma es un documento que contiene una serie de especificaciones técnicas, reglas y características optimizadas, que se ha elaborado por consenso y aprobado por un organismo reconocido.

Tipos de normas:

Las normas se clasifican en tres grandes grupos: normas básicas, normas genéricas, normas de familia de producto, y normas de producto.

5.1.6 Sectores más significativos

- Automoción
- Compatibilidad Electromagnética
- Equipos Radio comunicación
- Seguridad

NORMAS MAS SIGNIFICATIVAS SOBRE AUTOMOCIÓN

- CISPR 25 EMI, Interferencias electromagnéticas
- ISO TR 1065 Automoción, descargas electrostáticas.
- ISO 11452-4 Automoción (BCI) Bulck Current Injection.
- SAE J 1812 Automoción
- Específicas de cada fabricante

NORMAS MAS SIGNIFICATIVAS SOBRE COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNÉTICA

PERTURBACIONES RADIOELÉCTRICAS (EMI)

NORMAS BÁSICAS:

EN 61000-3-2 Armónicos en la red de alimentación de c. a.

EN 61000-3-3 Fluctuaciones de tensión y Flicker en la red de alimentación de c. a.

NORMAS GENÉRICAS:

EN 61000-6-3 Residencial, comercial e industria ligera.

EN 61000-6-4 Ambiente industrial

EN 55011 Equipos industriales científicos y médicos.

EN 55013 Receptores de radiodifusión y equipos asociados.

EN 55014 Aparatos electrodomésticos, herramientas portátiles y similares.

EN 55015 Equipos de iluminación y similares.

EN 55022 Equipos de tecnología de la información.

INMUNIDAD O SUSCEPTIBILIDAD

NORMAS BÁSICAS

EN 61000-4-1 Visión general ensayos inmunidad

EN 61000-4-2 Descargas electrostáticas. (ESD)

EN 61000-4-3 Campos electromagnéticos de alta frecuencia radiados.

EN 61000-4-4 Transitorios eléctricos rápidos en ráfagas. (Burst) (EFT)

EN 61000-4-5 Impulsos de alta energía o ondas de choque. (Surges)

EN 61000-4-6 Campos electromagnéticos de alta frecuencia conducidos.

EN 61000-4-7 Armónicos e íter armónicos.

EN 61000-4-8 Campos magnéticos a frecuencia de red.

EN 61000-4-9 Campos magnéticos pulsados.

EN 61000-4-10 Campos magnéticos amortiguados.

EN 61000-4-11 Fallos, fluctuaciones, cortes y micro cortes en la alimentación. c.a

EN 61000-4-12 Ondas amortiguadas en la alimentación.

NORMAS GENÉRICAS

EN 61000-6-1 Residencial, comercial e industria ligera.

EN 61000-6-2 Ambiente industrial.

EN 50141 Campos electromagnéticos de alta frecuencia conducidos.

EN 55024 Inmunidad en equipos de Tecnología de la Información.

NORMAS DE FAMILIA DE PRODUCTO

CISPR 25 EMI, Automoción

EN 50121 Aplicaciones ferroviarias.

EN 50130-4 Sistemas de detección de incendios, intrusión y alarma social.

EN 50147 Cámaras anecoicas

EN 50199 Equipos de soldadura por arco

EN 50270 Material eléctrico para la detección y medición de gases combustibles, gases tóxicos u oxígeno.

EN 55105 Terminales de telecomunicación.

EN 60669 Interruptores, Dimmers

EN 60870 Equipos y sistemas Telecontrol

ISO TR 1065 Automoción, descargas electrostáticas.

ISO 11452-4 Automoción (BCI) Bulck, Current Injection.

SAE J 1812 Automoción

NORMAS MAS SIGNIFICATIVAS de EQUIPOS RADIOCOMUNICACIÓN

ETS 300 086 Sistemas y equipos de radio, servicio móvil terrestre.

EN 300 683 EMC - Equipos de radiocomunicación PMR

EN 301 489 (EMC) (ERM) Equipos de radiocomunicación

ETS 300 067 Equipos de radio móvil marítimo MF / HF

ETS 300 086 Equipos de radio servicio móvil terrestre.

ETS 300 113 Equipos de radio servicio móvil terrestre para transmisión de datos.

ETS 300 135 Equipos y sistemas de radio para banda ciudadana, con modulación angular

ETS 300 162 Equipos de radio móvil marítimo VHF.

ETS 300 220 Equipos de radio de corto alcance SRD de 25 a 1000 MHz

ETS 300 225 Equipos de radio portátiles de supervivencia marítimos.

ETS 300 328 Sistemas de transmisión de banda ancha

ETS 300 330 Equipos de radio de corto alcance de 9 KHz a 25 MHz.

ETS 300 338 Sistemas y equipos radio, con llamada selectiva digital.

ETS 300 373 Equipos de radio móvil marítimo MF / HF.

ETS 300 384 Sistemas de radiodifusión sonora de VHF, FM.

ETS 300 433 Equipos y sistemas de radio para banda ciudadana, con modulación DBL o BLU

ETS 300 440 Equipos de radio de corto alcance de 1 a 25 GHz.

NORMAS MAS SIGNIFICATIVAS de SEGURIDAD

EN 50060 Fuentes de alimentación para soldadura manual por arco de servicio limitado

EN 60065 Aparatos electrónicos y equipos relacionados con ellos.

EN 60204 Seguridad de las máquinas, equipo eléctrico de las máquinas.

EN 60215 Seguridad para equipos de emisión radioeléctrica.

EN 60335 Electrodomésticos y análogos.

EN 60601 Equipos electromédicos

EN 60669 Interruptores, Dimmers

EN 60950 Seguridad de los equipos de tratamiento de la información.

EN 60974 Seguridad aparatos de soldadura eléctrica por arco

EN 61010 Equipos eléctricos de medida, control y uso en laboratorio

5.3 Evaluación de la Conformidad

Antes de comercializar un producto en el mercado comunitario, el fabricante debe someter su producto a un procedimiento de evaluación de la conformidad establecido en la directiva aplicable, con vistas a colocar el marcado CE.

La evaluación de la conformidad es comprobar que el producto cumple con los requisitos esenciales establecidos por la directiva aplicable.

La evaluación de la conformidad por terceros corre a cargo de organismos notificados designados por los Estados miembros como organismos que cumplen los requisitos establecidos en la directiva y afincados en su territorio.

Los módulos se refieren al control realizado en las etapas de diseño y producción.

Se encuentran ordenados de menor a mayor en función a la cantidad de inspecciones que requiere cada uno.

Módulo A	Control interno de la fabricación
Módulo B	Examen CE de tipo
Módulo C	Conformidad con el tipo
Módulo D	Aseguramiento de la Calidad de la Producción
Módulo E	Aseguramiento de la Calidad del Producto
Módulo F	Verificación de los productos
Módulo G	Verificación de la unidad
Módulo H	Aseguramiento de la Calidad Total

"Declaración Propia o autocertificación" (CE Marking y Declaración de Conformidad)

- Ver que directivas y normas le son de aplicación al producto que vamos a auto certificar.
- No hay necesidad de contratar a una tercera parte.
- Realizar los ensayos y medidas y verificar su cumplimiento en el Laboratorio, propio o ajeno.
- El producto es evaluado por el mismo fabricante, de acuerdo con normas de la UE armonizadas y directivas.
- Realizar una memoria técnica descriptiva por parte del laboratorio de los ensayos y medidas que se han realizado, así como las normas de referencia indicando niveles y cumplimiento.
- Realizar la declaración CE de conformidad y adjuntarla de forma inseparable en el manual de usuario o de instrucciones del producto.
- Poner la marca CE en el producto.

"Certificación Voluntaria" (Type Mark)

- Tercera parte prueba y certifica el producto.
- Inspecciones periódicas son requeridas por una tercera parte para verificar el producto.
- En caso de una demanda, la información de una tercera parte provee evidencia factual.
- Puede ser una herramienta mercadotécnica.

"Certificación Mandatoria" (EC Type Approval)

- Organismo Competente Certificador debe participar.
- e.g. Ciertos tipos de equipos médicos.
- e.g. Ciertos tipos de maquinaria industrial (Annex IV).
- e.g. Transmisores.
- E.g. Instrumentos de pesaje.

5.4 El mercado CE

Los productos que cumplen todas las disposiciones de las directivas aplicables que regulan el uso del mercado CE deben llevar dicho marcado. Así, el marcado CE es, sobre todo, una indicación de que los productos cumplen los requisitos esenciales de las directivas aplicables y que los productos han sido objeto de un procedimiento de evaluación de la conformidad contemplado en las directivas. Además, los Estados miembros están obligados a adoptar las medidas adecuadas para proteger el mercado CE.

5.4.1 Tipos de equipo

La Directiva EMC se aplica a "todos los equipos eléctricos y electrónicos junto con las instalaciones que contienen componentes eléctricos y/o electrónicos que pueden provocar perturbaciones electromagnéticas o cuyo funcionamiento puede verse afectado por tales perturbaciones". La interpretación de la Directiva EMC para distintas configuraciones puede dividirse en distintos niveles:

Componente: En este contexto la interpretación de componente puede dividirse en dos categorías principales. El componente puede proporcionar una "función directa" o no.

Función directa: Cualquier función del componente que cumple el uso previsto especificado por el fabricante en las instrucciones para el uso por parte de un usuario final.

Componentes con Función directa: Los componentes con una función directa pueden dividirse en dos subgrupos:

1) La función directa **está disponible** sin ningún ajuste adicional o conexiones que no sean simples, que pueden ser llevadas a cabo por cualquier persona que no sea plenamente consciente de las implicaciones propias de la EMC. Este componente es un "aparato" y está sujeto a todas las disposiciones de la Directiva EMC.

2) La función directa **no está disponible** sin ajustes o conexiones adicionales que no sean de tipo simple, que pueden ser llevadas a cabo por cualquier persona que no sea plenamente consciente de las implicaciones propias de la EMC. Este componente no es un aparato. El único requisito para este componente es proporcionar instrucciones para el empleo para un montador profesional o

fabricante del aparato final en el que deba incorporarse el componente. Estas instrucciones deberían ayudar a esta persona a resolver cualquier problema de EMC con su aparato final.

Si un componente desempeña una función directa sin que se requieran ajustes adicionales que no sean los simples, se considera que el componente es equivalente a un aparato (Caso 1). Todas las disposiciones de la Directiva EMC son aplicables (Etiquetaje CE, Declaración de conformidad).

Si un componente desempeña una función directa que no está disponible sin ajustes adicionales que no sean simples, se considera un componente (Caso 2). De conformidad con la Directiva EMC, el requisito para **el proveedor** es facilitar instrucciones para la instalación y el empleo. De conformidad con la Directiva EMC, el fabricante de sistemas o el constructor es el responsable del Etiquetaje CE, la Declaración de conformidad y el Archivo de construcción técnica.

Componentes sin función directa: Los componentes sin función directa no se consideran aparatos dentro del significado de la Directiva EMC, que no puede aplicarse a ellos. Estos componentes incluyen resistencias, cables, bloques de terminales, etc.

Aparatos y sistemas: Un producto acabado que contiene componentes eléctricos y/ o electrónicos y que se comercializará o se pondrá en servicio como una unidad comercial única.

Diversos elementos de un aparato combinados para cumplir un determinado propósito y que saldrán al mercado como una sola unidad funcional.

Instalación: Una combinación de elementos de aparatos, equipo y/o componentes reunidos en un determinado lugar para cumplir un determinado objetivo pero que no se comercializarán como una sola unidad funcional.

Etiquetado CE para EMC: Un componente con una función directa sin más ajustes que los ajustes simples requeridos para llevar el Etiquetaje CE para EMC (Caso 1).

Un componente con una función directa que no está disponible sin más ajustes que los simples no tiene que llevar el Etiquetaje CE para EMC (caso 2) .

Nota: Los productos pueden llevar el Etiquetaje CE para otras directivas que no sean la EMC.

Los aparatos y los sistemas deben llevar el Etiquetaje CE.

Las instalaciones deben satisfacer diversas partes de las Directivas, pero no es necesario que lleven el Etiquetaje CE.

5.4.2 Pasos a seguir para la obtención del mercado CE

5.4.2.1- Determinar y analizar las Directivas aplicables a nuestro producto.

- Verificar el campo de aplicación de la directiva.
- Analizar el procedimiento de evaluación de la conformidad.
- Análisis de los requisitos esenciales.

www.newapproach.org

5.4.2.2.- Preparar la documentación técnica y evaluar la conformidad.

- Expediente técnico, Manual de instrucciones.
- Evaluación de la conformidad. Diferentes casos:

El fabricante evalúa la conformidad por su cuenta.

El fabricante contrata de forma voluntaria a organismos de certificación autorizados.

El fabricante contrata de forma obligatoria a organismos notificados.
(Productos de alto riesgo).

- Solucionar las no conformidades detectadas en el análisis, si las hubiera.

5.4.2.3.- Declarar la conformidad con respecto a las directivas de nuevo enfoque.

- Elaborar y firmar la declaración de conformidad.

5.4.2.4.- Colocación del marcado CE.

- El marcado CE simboliza la conformidad del producto con todos los requisitos comunitarios impuestos al fabricante.



5.5 Documentación técnica

Las directivas de Nuevo Enfoque obligan a los fabricantes a elaborar una documentación técnica que contenga la información necesaria para demostrar la conformidad del producto con los requisitos aplicables.

Esta documentación puede formar parte de la documentación del sistema de calidad si la directiva establece un procedimiento de evaluación de la conformidad basado en un sistema de calidad (los módulos D, E, H y sus variantes). Esta obligación comienza cuando se comercializa el producto independientemente de su origen geográfico.

La documentación técnica debe conservarse como mínimo durante diez años desde la última fecha de fabricación del producto, a menos que la directiva prevea expresamente un plazo distinto. En algunos casos, el importador o la persona que comercializa el producto en la Comunidad Europea deben asumir esta responsabilidad.

De todos los ensayos que se efectúan en el laboratorio se realiza una memoria técnica descriptiva de los mismos, para poder efectuar la auto certificación y el marcado CE del producto.

Esta documentación debería constar de:

DECLARACION DE CONFORMIDAD
DESCRIPCION
INFORME DE ENSAYOS
CERTIFICADOS
MANUALES
FOLLETOS COMERCIALES
LISTA DE COMPONENTES
PLANOS
CONSEJOS DE SEGURIDAD
PROCESOS DE FABRICACION
FOTOGRAFIAS

5.6 La declaración CE de conformidad

Según se establece en las directivas mencionadas todo aparato y/o equipo debe de incluir en el manual de usuario de forma inseparable una declaración CE de conformidad en la que se determina el fabricante, el responsable (persona física y cargo que ocupa en la empresa, la marca, el modelo el lugar de fabricación, la fecha y las normas y directivas que cumple.

MODELO ORIENTATIVO DE DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

El que suscribe:(Nombre de la empresa y razón social).....

Y en su nombre:(Nombre y cargo de la persona responsable).....

DECLARA, bajo su exclusiva responsabilidad, que:

El equipo:.....(Descripción del mismo).....

Fabricado por:.....

En:Estado o zona geográfica).....

Marca, :

Modelo, :

Cumple con las siguientes normas y directivas:

SEGURIDAD:

EN 60065 Aparatos electrónicos y con ellos relacionados de uso doméstico o general análogo.

COMPATIBILIDAD ELECTROMAGNETICA:

EN 61000-6-1 Equipos de medida y control de los procesos industriales. Residencial, comercial e industria ligera.

EN 61000-6-3 Inmunidad. Residencial, comercial e industria ligera.

Conforme a las directivas: 2004/108/EC y 2006/95/EC

.....(Lugar y fecha).....

.....(Firma).....

..(Nombre y cargo del responsable de la empresa)..

5.7 Responsabilidades

5.7.1.- El fabricante:

Es la persona responsable del diseño y la construcción de un aparato que contempla la Directiva y que se destina a una comercialización en el mercado del AEE en su nombre. Cualquier persona que modifique sustancialmente un aparato para convertirlo en un producto nuevo con vistas a comercializarlo en el mercado del AEE también se convierte en el fabricante.

De conformidad con la Directiva EMC (2004/108/EC), artículo 8, el fabricante es el responsable de adjuntar el etiquetaje CE en cada unidad. De conformidad con el artículo 9, el fabricante es el responsable de proporcionar la información necesaria para montar, instalar, mantener o utilizar el aparato.

Es de dominio público que los clientes OEM venden equipo empleando sus propias marcas registradas y marcas comerciales. El cambio de la marca registrada, la marca comercial o el etiquetaje de tipo es un ejemplo de modificación que da como resultado un equipo nuevo.

Tiene la obligación de garantizar:

El Diseño - La Fabricación – Cumplimiento de los requisitos evaluados de acuerdo a lo dispuesto en las directivas de Nuevo Enfoque.

Podrá utilizar productos terminados, piezas o componentes prefabricados o incluso subcontratar estos trabajos.

Sin embargo siempre deberá mantener el control global y tener la competencia necesaria para asumir la responsabilidad del producto.

5.7.2.- El representante:

El fabricante puede designar a cualquier persona física o jurídica para que actúe en su nombre en calidad de representante autorizado.

A efectos de las directivas de Nuevo Enfoque, el representante autorizado debe estar establecido dentro de la Comunidad.

Las autoridades de los Estados miembros pueden dirigirse a él en lugar del fabricante en relación con las obligaciones de éste último con arreglo a la directiva de Nuevo Enfoque pertinente.

5.7.3.- El importador:

Es el responsable de la comercialización de un producto procedente de terceros países en el mercado comunitario.

Debe garantizar que está en condiciones de facilitar a las autoridades la información necesaria sobre el producto, en caso de que el fabricante no esté establecido en la Comunidad y no tenga un representante autorizado en ésta.

5.7.4.- Productos Defectuosos:

La Directiva sobre responsabilidad por productos defectuosos establece un régimen estricto de responsabilidad de los fabricantes e importadores en la Comunidad.

Si no puede identificarse al productor, cada proveedor del producto es responsable, a menos que comunique la identidad del productor o de la persona que le suministró el producto.

Si varias personas son responsables del mismo daño, todas ellas son responsables solidaria y mancomunadamente.

BIBLIOGRAFÍA BÁSICA

- "Introduction on Electromagnetic Compatibility" 2º Ed., Clayton R. Paul, Wiley (2006)
 - "Electromagnetic Compatibility", J. Goedbloed. Prentice Hall (1992)
 - "EMC Control y Limitación de Energía Electromagnética ", Tim Williams, Paraninfo, (1997)
 - "EMC for Product Designers", Tim Williams, (2001)
 - "Engineering Electromagnetic Compatibility" V. Prasad Kodali. Wiley-IEEE Press (2001)
 - "Fundamentos de Compatibilidad Electromagnética" J. L. Sebastián. Addison Wesley (1999)
 - "Introduction to Electromagnetic Compatibility" C.R. Paul. Wiley Inter-Science (1992)
 - "Electrónica y Automática Industriales" Varios autores. Marcombo (1979)
 - "Interferencias Electromagnéticas en Sistemas Electrónicos" J. Balcells, F. Daura, R. Esparza y R. Pallás. Marcombo (1992)
 - "Principles of Electromagnetic Compatibility", Bernhard E. Kaiser, Artech House, (1987)
 - "Principles and Techniques of Electromagnetic Compatibility", Christos Christopoulos, CRC press. Inc., (1995)
 - "Numerical Techniques in Electromagnetics", Matthew & Sadiku, 2ª Edición, CRC Press, Inc., (2001)
- **OTROS**
 - "Handbook of Electromagnetic Compatibility" R. Pérez, Academic Press, (1995)
 - "IEEE Tran. On Electromagnetic Compatibility"
 - "EMC Design Guide for Printed Circuit Boards", Ford Motor Company (2002)