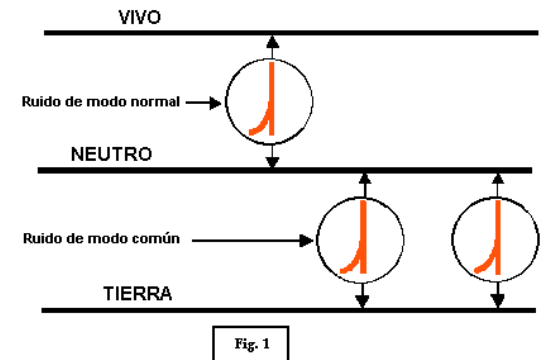
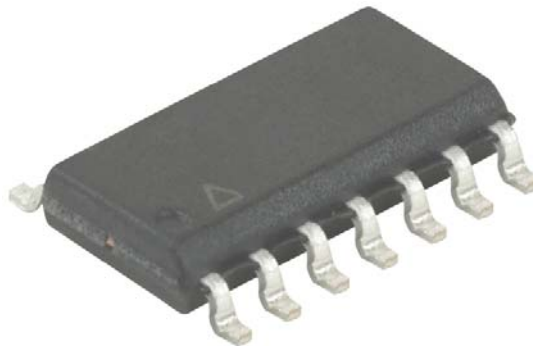
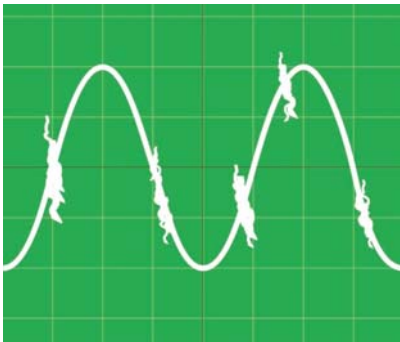


# *Ruidos en los sistemas con MCU's .....*

## *....¿Como Controlarlos?*



# ¿Cuales son las fuentes más comunes de ruidos?

## Ruidos Conducidos:

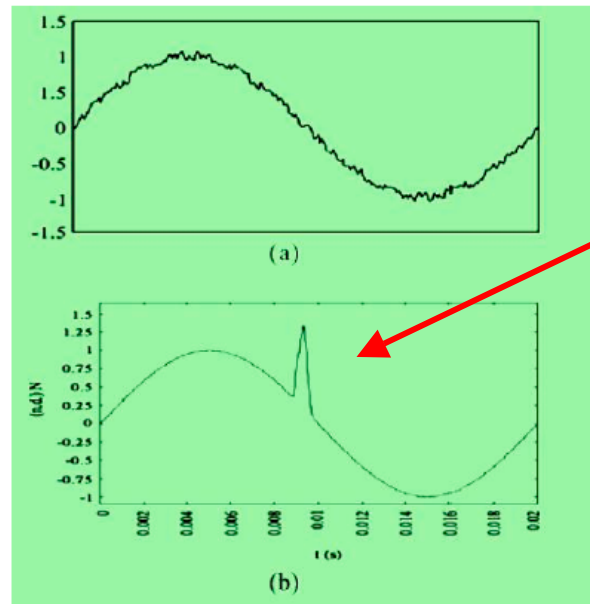
Los ruidos conducidos, son aquellos que **se propagan por conducción galvánica entre la fuente de ruido y el dispositivo interferido**, o sea, conducción de corriente eléctrica entre ambos.

## Ruidos Radiados:

Son los ruidos que **se propagan por medio de ondas electromagnéticas**, o bien por la acción de campos eléctricos inducidos, o sea no existe contacto galvánico alguno entre la fuente de ruido y el sistema interferido. Por lo general, son los menos frecuentes en el mal funcionamiento de los sistemas microcontrolados, pero no por ello son los menos importantes en nuestra lucha contra el ruido.

# Ruido Conducido:

Este tipo de ruido es la causa más común de mal funcionamiento en los sistemas con microcontroladores, e ingresan al mismo principalmente por la alimentación del sistema, por entradas conectadas a sensores remotos, por interfaces de comunicación alámbricas de gran recorrido y por pines no usados en el circuito. **Generadores típicos de este tipo de ruido son cargas inductivas, contactores eléctricos, relays, alternadores de automóviles, sistemas de ignición, solenoides, motores eléctricos de escobillas, etc., etc..**



Los picos de tensión pueden alcanzar valores superiores a los 2kV y de solo unos pocos microsegundos !!

(a) Ruido eléctrico presente en la señal senoidal proporcionada por la red eléctrica,  
(b) Impulso eléctrico sobre la misma señal senoidal.

## ¿Cuales son los efectos más comunes que provocan este tipo de ruidos?

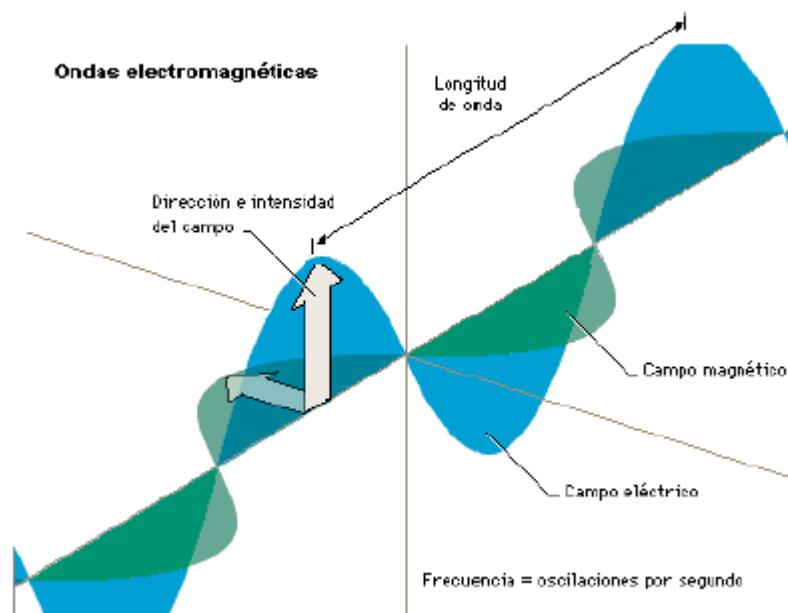
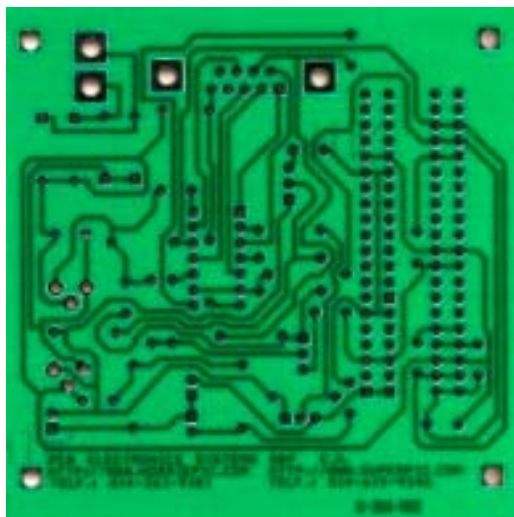
Por lo general, ante tanta energía “impulsiva” disponible en estas verdaderas “agujas eléctricas”, los microcontroladores presentes en los sistemas responden con “colgaduras” varias como resets aleatorios, saltos a posiciones no previstas en los contadores de programa, generación de interrupciones “fantasmas”, etc., etc.

También se puede producir “la muerte” del MCU y que obedece a sucesivas pequeñas rupturas de compuertas CMOS internas al mismo, que son provocadas por la descomunal energía presente en cada uno de estos pulsos y que van generando cortos o semicortos que dan origen a los llamados “**hot spot**” o puntos calientes. Estos puntos calientes son acumulativos y van provocando acciones de mal funcionamiento o de consumo excesivo en módulos o funciones del MCU y por lo general, terminan con la vida útil del dispositivo. Es un proceso lento, pero inevitable si no se lo tiene en cuenta cuando diseñamos nuestro sistema con microcontroladores.

## Ruidos Radiados:

Generadores típicos de este tipo de ruidos son los sistemas de ignición en automóviles, arcos voltaicos en contactores o relays con cargas inductivas, motores a escobillas, etapas de salida de RF, circuitos osciladores del propio MCU.

Estos ruidos presentan menor intensidad energética que los conducidos, **por lo que rara vez provocan la “muerte” de nuestro sufrido amigo microcontrolador**, pero al ser por naturaleza del tipo “inducidos”, **su eliminación o disminución es más complicada.**



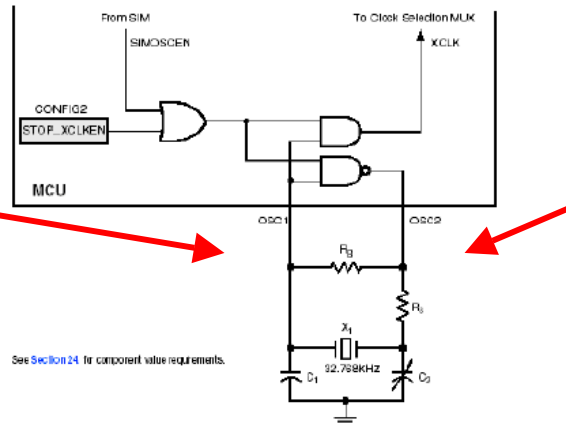
# Circuito Oscilador:

El circuito oscilador, es realmente un punto importante a tener en cuenta a la hora de hacer de nuestro sistema “algo” estable ante ruidos de origen interno y/o externos.

Como se puede observar en la **figura 1**, donde se detalla un circuito oscilador “**pierce**” típico, formado básicamente por una o dos compuertas lógicas, un resistor de polarización de continua “**RB**”, un cristal “**XC**”, dos capacitores cerámicos tipo **NPO**

“**C1 y C2**” y un resistor de atenuación “**RS**” (opcional, solo se usa con cristales de baja frecuencia tipo 32,768Khz), solo se dispone de 2 pines accesibles por parte del usuario que no son otros que los conocidos “**OSC1**” y “**OSC2**”.

El pin **OSC1**, es el pin de **entrada** de nuestro circuito oscilador, teniendo una **alta impedancia** y nivel de señal muy débil en ese punto.

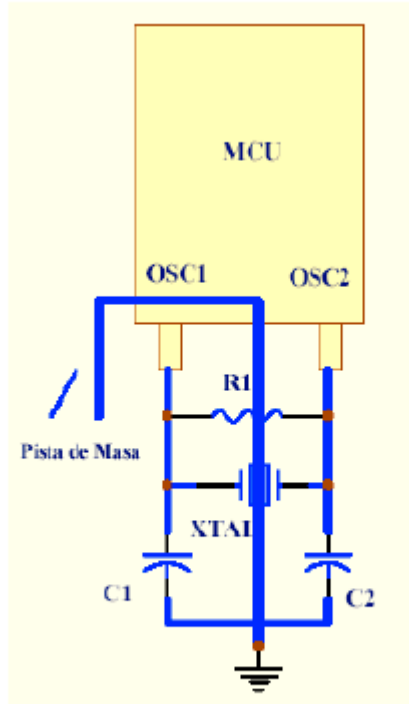


**OSC2**, es el pin de **salida** de nuestro circuito oscilador y presenta una característica de **muy baja impedancia**, con nivel de señal **muy alto** también.

Fig. 1 – Circuito oscilador “típico” de un MCU.

## Circuito Oscilador:

La **mayoría** de las perturbaciones recibidas en el oscilador, ingresan por el pin **OSC1**, ya que al presentar alta impedancia se convierte en una verdadera “**antena**” al ruido de tipo radiado, tanto interno (por ejemplo el propio pin **OSC2**) como externo.



La mejor solución se logra cuando se ubican los componentes involucrados en el oscilador, lo más cercanos unos de otros y **todo el conjunto lo más cerca posible de los pines OSC1 y OSC2**. Es aconsejable incluir una pista de “**masa**” entre los pines OSC1 y OSC2 como se puede observar en la **figura 2**, ya que esto sirve a modo de blindaje del pin OSC1 de las emisiones de R.F. del pin OSC2 que está muy próximo a este y de otras fuentes cercanas de R.F., **se debe tener cuidado con no cerrar esa pista de masa**, de forma tal de crear un anillo o “**loop**” de **masa**, pues ello sería más perjudicial que el no incluir la citada pista.....

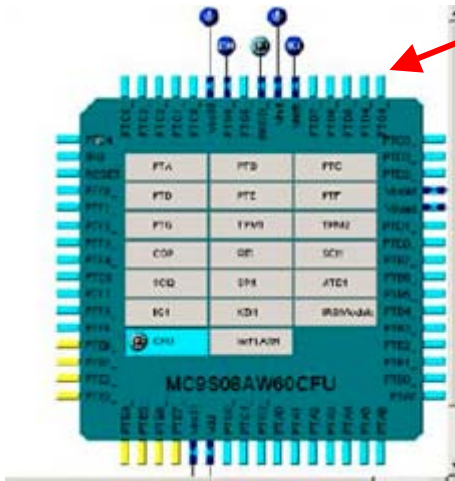
Fig. 2.- Lay Out típico recomendado p/ el circuito Oscilador.

## Puertos I/O no utilizados:

En sistemas donde la exposición a fuentes de ruidos extremas es inevitable, toda precaución es poca. No debemos olvidarnos que los puertos I/O de un MCU son del tipo CMOS por lo que, **si están configurados como entradas, son verdaderos puntos de captación de ruidos**. Acciones como configurarlos como salida, habilitar resistores de Pull-Up o Pull-Down (si los tuviera) o colocarles resistores en forma externa, evitan o disminuyen los riesgos de captación de ruidos

**Lo más efectivo es colocar resistores externos en los puertos I/O no utilizados**

Todo lo comentado para los puertos I/O también es válido para las entradas de interrupciones externas como lo son los pines de **IRQ** o el **pin de Reset del MCU**, que son afectados por las mismas fuentes de ruido que los puertos I/O.

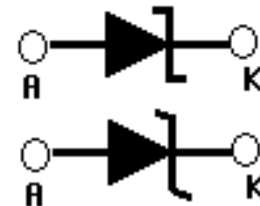


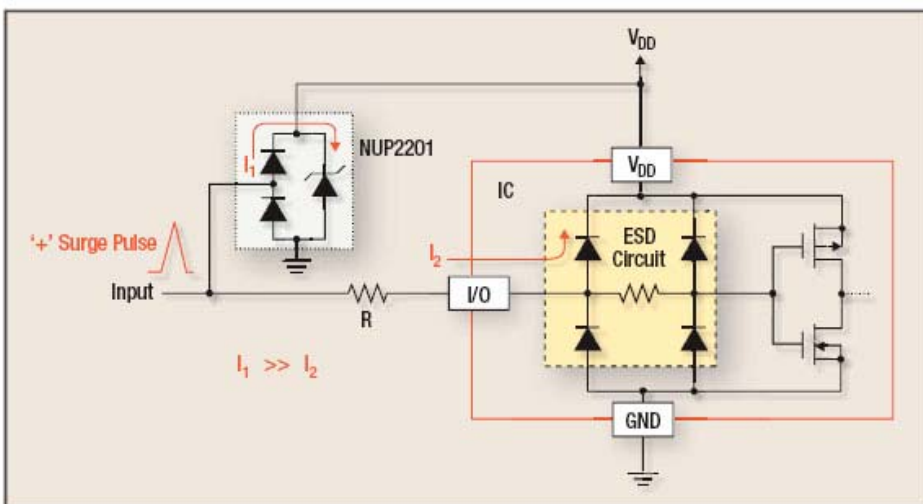


# Puertos I/O utilizados pero con extenso cableado en medio hostil:

Para aquellos puertos de entrada que, si bien están siendo utilizados por el sistema, pero se vinculan con un medio ambiente “hostil” como por ejemplo sensores remotos en un automóvil o ambiente industrial, se deberán tomar además, medidas extras, en lo que respecta a picos de tensión presentes en dichos puertos, que por lo general, pueden alcanzar valores **tan altos como 200V<sub>pap</sub>**, significando verdaderas “agujas” de tensión que deben ser limitados de alguna forma, ya que de no hacerlo tarde o temprano terminarán con la vida útil del puerto o no pocas veces, con todo el MCU.

Para limitar la sobre-excursión de tensión, no bastan los mecanismos internos implementados en el propio MCU (diodos de “**clamping**” internos), además hay que usar supresores de picos como pueden ser **varistores de oxido de silicio**, **TVS**, o simples **diodos zener a masa**, que deben calcularse para disipar rápidamente la energía de los pulsos de ruido sin por ello afectar el funcionamiento normal del puerto.

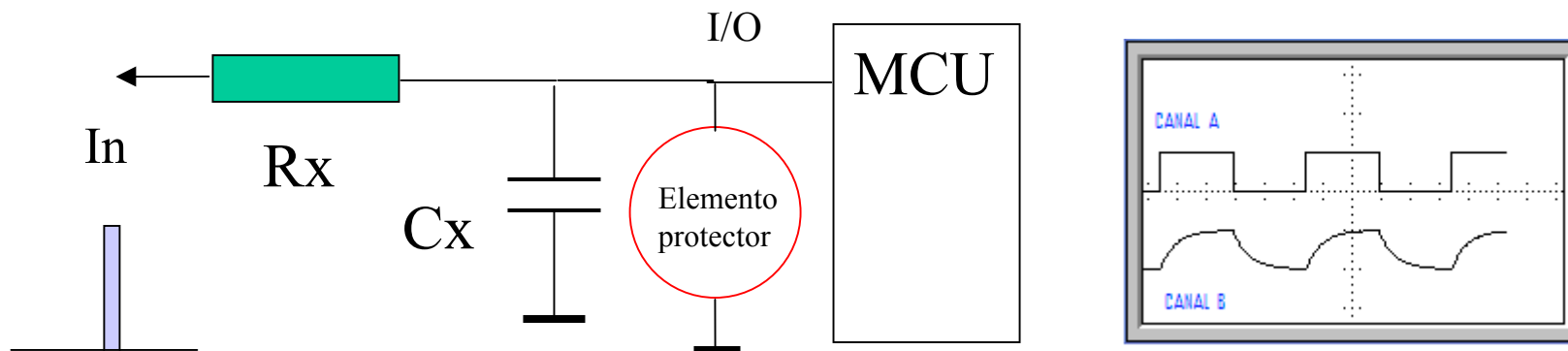




## Protección de un puerto I/O por TVS.

Los varistores de óxido de silicio son recomendados cuando la energía impulsiva de los ruidos es muy grande, ya que estos reaccionan mejor a las grandes cantidades de energía que las otras opciones. Sin embargo, los varistores tienen un tiempo de reacción lento, comparado con los TVS y los Zeners, combinaciones de algunos de ellos en nuestras entradas podrán cubrir eficientemente ruidos de gran magnitud.

El uso de filtros R-C, adicionalmente al de los supresores, aumenta la efectividad de estos últimos, pues la acción del filtro tiende a disminuir el carácter impulsivo de los pulsos de ruido al recortar su espectro en frecuencia y de esta forma mejorar el tiempo de respuesta de los supresores.



Recortando el espectro del impulso de sobretensión (parecido a una “Delta de Dirac”) se consigue una señal de entrada al elemento protector mucho más lenta y facilita la disipación de energía del impulso.....

El valor del filtro “RC” debe ser una solución de compromiso entre su efectividad ante el ruido impulsivo y la no afectación de la señal de entrada al MCU.

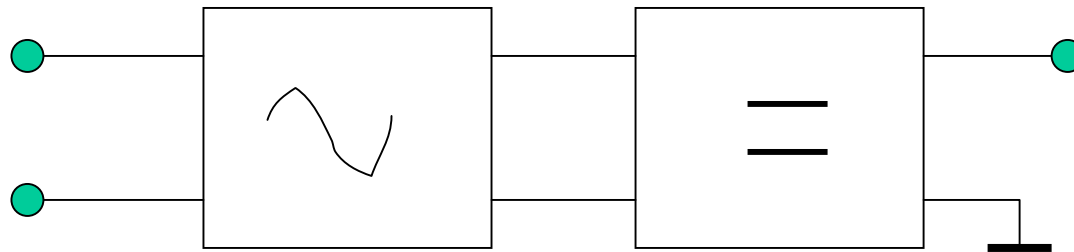
# Alimentación .... La “autopista” del Ruido!!

Todo sistema necesita ser alimentado por alguna fuente de energía y con ello se abre la posibilidad de un nuevo punto de conflicto en cuanto al tema ruido se trata.

**Se descartan de esta problemática los sistemas alimentados en forma exclusiva por baterías sin conexión galvánica alguna con posibles fuentes de ruido.**

Podemos dividir la fuente de energía en dos grandes sectores:

- Sector de Energía Alterna.
- Sector de Energía Continua.



# Sector de Energía Alterna:

Los sistemas que se alimentan desde la red de canalización (**220v / 110v**), pueden ser afectados por los ruidos eléctricos presentes en la misma, producto de la conexión y desconexión de grandes cargas inductivas, descargas atmosféricas, conmutaciones varias, etc.. Estos sobre impulsos de tensión pueden transmitirse a todo el sistema provocando mal funcionamiento o en algunos casos hasta la reducción brusca de la vida útil del microcontrolador.....

**¿Porqué se transmiten los ruidos de la línea eléctrica si en la mayoría de los circuitos de alimentación tenemos presente un transformador?...**

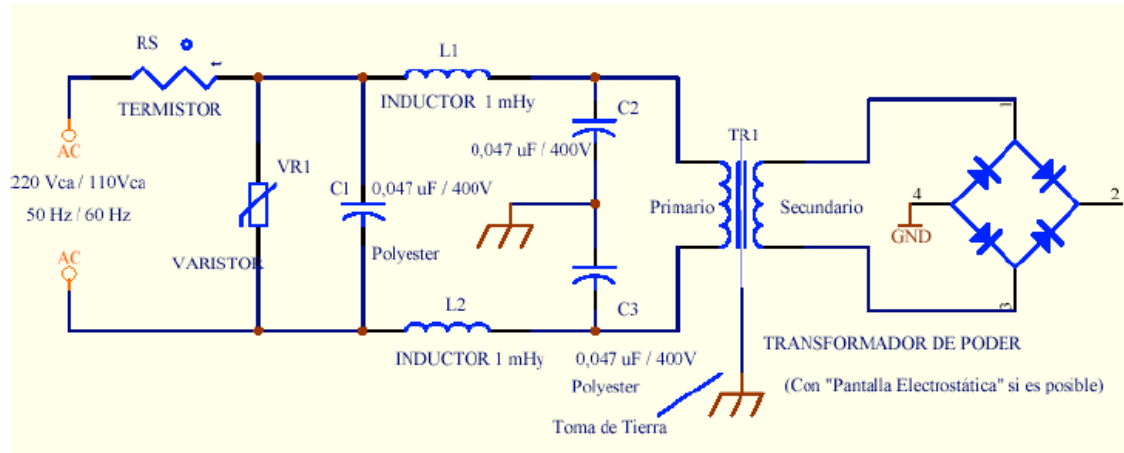
**¿No debería aislar galvánicamente al circuito? ....**

**¿Como pasan los ruidos si la respuesta en frecuencia de un transformador de potencia, en el mejor de los casos, llega a los 400HZ?....**

# Sector de Energía Alterna.....

La explicación es simple, **el transformador de potencia se comporta más como un capacitor (cuyas placas son los bobinados primario y el secundario)** que como un transformador ante las componentes de alta frecuencia del pulso de ruido, por lo que es un camino muy fácil para las perturbaciones. **Como regla general, es importante bloquear el ingreso de pulsos al transformador, ya que luego del mismo se hace muy difícil eliminar o disminuir los ruidos.**

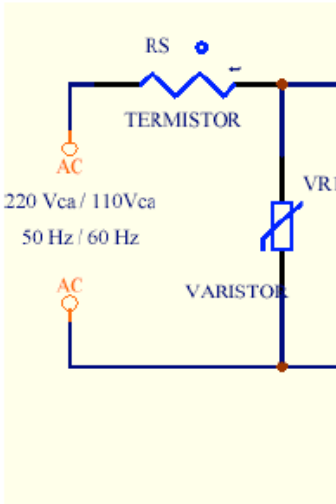
Para atacar los ruidos de línea, generalmente se utilizan en forma conjunta más de una técnica, mejorando de esta manera la eliminación o disminución de la interferencia. En la **figura 3** podemos ver un resumen de todas las técnicas “**anti-ruidos**”.



**Figura 3 –**  
**Circuito combinado de**  
**Disminución de Ruidos**  
**en línea**

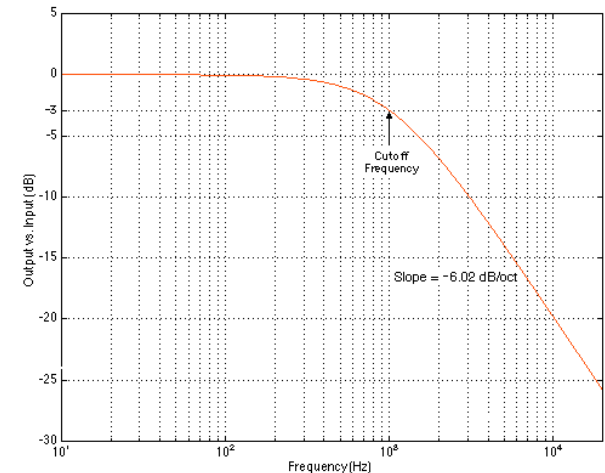
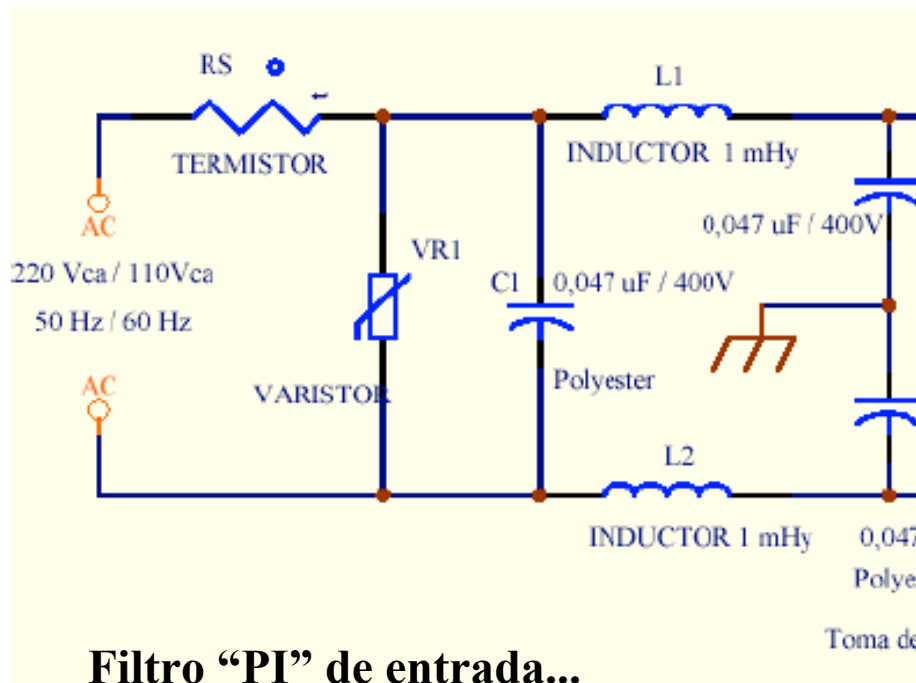
## Analizando el circuito .....

Analizando el circuito de la **figura 3**, nos encontramos después de los terminales de línea con un circuito “**supresor de Transitorios**” formado por el resistor **RS** y el varistor **VR1**. Este circuito supresor permite limitar las excursiones de tensión al primario del transformador a valores seguros. Para el diseño optimo de este circuito, se deben calcular los valores de los componentes de forma que no interfieran con el normal funcionamiento de la fuente de alimentación, pero que limiten al máximo las sobre excursiones de la tensión de entrada. El resistor **RS** puede ser del tipo “**PTC**” o bien un “**polyswitch**” (**fusible auto reseteable**) de unos pocos ohms, de forma tal que limite la corriente máxima a circular por el circuito cuando el varistor recorte las sobre excursiones de tensión.



**Supresor de transitorios y limitador de corriente impulsiva...**

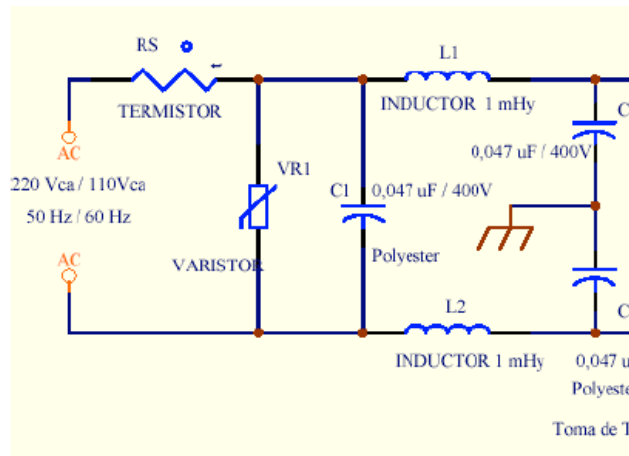
A continuación, en el circuito, se puede observar un típico “**filtro Pi**” en cada rama de la línea. Este filtro Pi, está formado por **C1, L1, L2, C2, C3**, y tiene por misión atenuar bruscamente las componentes de alta frecuencia de los pulsos presentes en la línea.



**Filtro LC pasa bajos.**



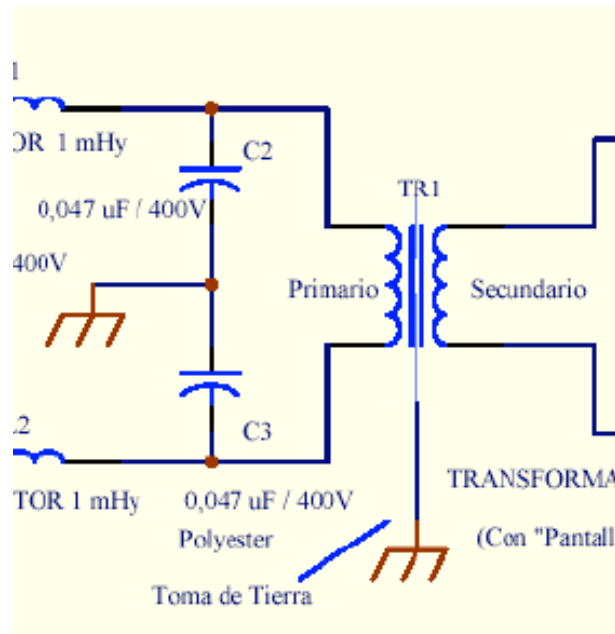
Mientras que **C1** , **L1**, **L2** y el **capacitor equivalente de la serie de C2 / C3**, funcionan como un filtro **“pasa bajos”** para los ruidos de línea en **“modo diferencial”** (ruido en una sola rama de la línea y en la otra no), **L1**, **L2**, **C2**, **C3** funcionan como un filtro pasa bajos pero para los ruidos de línea en **“modo común”** (ruido presente en ambas ramas de la línea). Cabe aclarar que, para que funcione correctamente el filtro en modo común, se debe contar con una toma de **“tierra”** exterior que sirve para derivar las corrientes de alta frecuencia en modo común. Los capacitores utilizados en el “filtro Pi” deben ser del tipo Polyester de alta tensión (400v o superior). L1 y L2 son choques del orden de los milihenrios (mHy), capaces de soportar la corriente de trabajo del sistema. También pueden utilizarse **filtros PI comerciales**, hay una gran variedad de ellos en el mercado, el diseñador deberá consultar con las hojas de datos de los mismos para elegir la mejor opción posible ante el tipo de ruido presente en el entorno donde funcionará la aplicación a diseñar



**El filtro “PI” atenúa ruidos de entrada en modo común y en Modo Diferencial....**

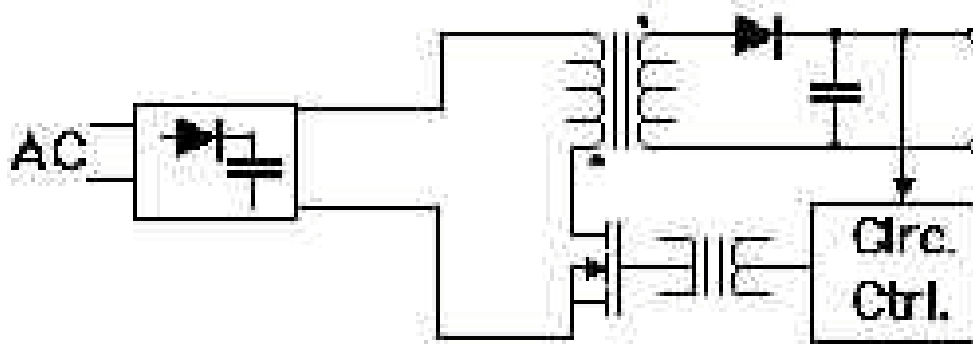
Otra técnica complementaria para disminuir los ruidos en la sección de alterna, es utilizar un **transformador de poder con pantalla electrostática**, la misma funciona como verdadero “blindaje” entre los bobinados primario y secundario, ya que la pantalla al estar conectada a tierra, deriva las corrientes de alta frecuencia a potencial de tierra.

Cuando se habla de “**tierra**” se debe entender el potencial de “0V” absoluto obtenido por medio de una “jabalina” enclavada en tierra, soluciones “similares” pueden no ser todo lo efectiva a una “buena toma de tierra”, sin embargo en estos casos, es preferible “algo” a “nada”.



Uso de la “pantalla electrostática” como “Blindaje” anti - ruido ....

## ¿Y en las fuentes de Switching?



Las fuentes conmutadas del tipo **“Flyback”** pueden ser una importante ayuda para disminuir los ruidos impulsivos del tipo conducido que ingresan por la línea de canalización (220V / 110Vca), debido a la característica de **“almacenamiento de energía”** que presenta el “nucleo” del trafo de este tipo de fuentes....

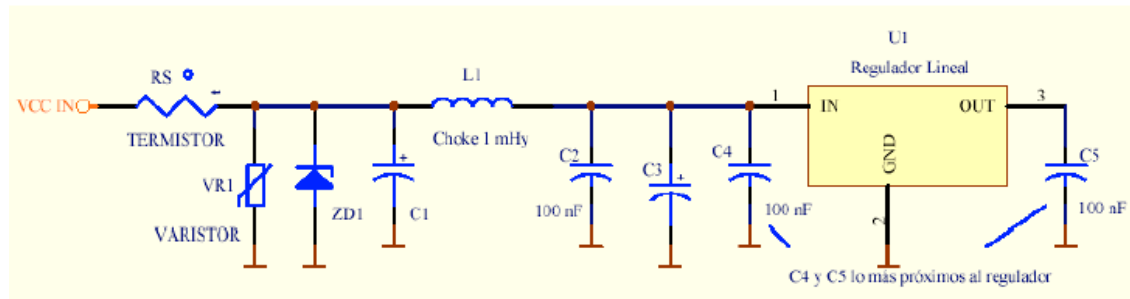
*Pero...*

Toda fuente conmutada genera su propio “ruido” de alta frecuencia (conducido y radiado) debido a su principio de funcionamiento. Teniendo en cuenta ello, el diseñador deberá recurrir a técnicas de filtrado y blindajes para atacar los ruidos “producidos” por este tipo de fuente....

## Sector de Continua:

La sección de continua puede ser parte complementaria conjuntamente con la sección de alterna o bien ser solo la sección de continua ya que el sistema se alimenta con tensión continua, como por ejemplo, una batería que está conectada galvánicamente a una posible fuente de ruido. Si el sistema utiliza solo la sección de continua, debemos aplicar esquemas similares de protección a los enumerados en la sección alterna pero con diferencias particulares debido al uso de la corriente continua.

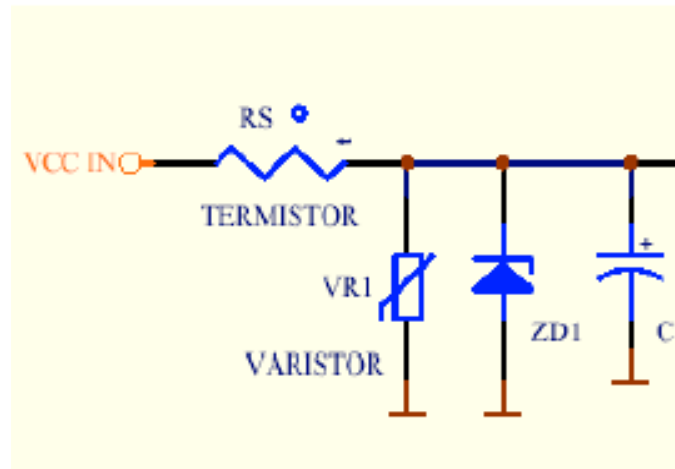
En la **Figura 4** se pueden observar algunas de las técnicas más usadas.



**Figura 4 – Sección de Continua, de un sistema alimentado por C. Continua.**

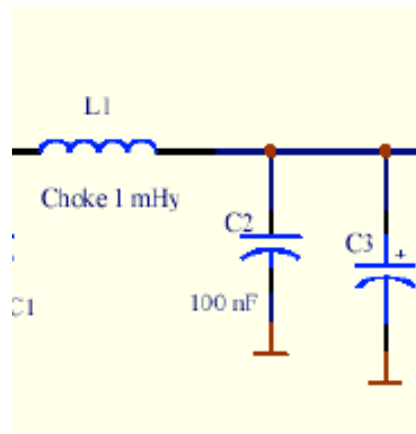
Como primer técnica de reducción de ruido se puede observar el circuito constituido por los componentes **RS**, **VR1**, **ZD1**, **C1**. Este circuito **tiene la misión de limitar la excursión de tensión** por encima de valores normales de funcionamiento. Para su diseño se debe tener en cuenta que es importante que el circuito no interfiera con el normal funcionamiento del resto de la sección, varistor y diodo zener deben calcularse para que solo actúen en los sobre – picos presentes en el generador de continua. El resistor **RS** debe ser de bajo valor y de ser posible del tipo PTC o bien un polyswitch (fusible auto reseteable), ya que será el principal recurso para limitar las corrientes que se producen por las sobre excursiones.

El capacitor **C1**, servirá para “amortiguar” las bruscas variaciones de tensión y además ayudará al regulador lineal en la provisión de energía instantánea.

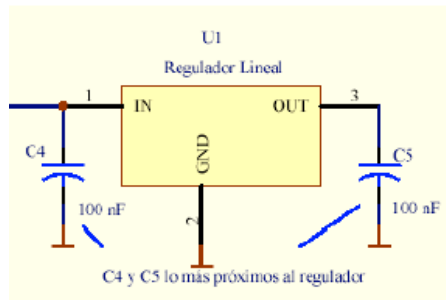


**Limitador de excursión de tensión.**

A continuación, el circuito formado por **L1**, **C2**, funciona como **filtro pasa bajos** limitando la respuesta en frecuencia de los ruidos provenientes de la alimentación, mientras que **C3** funciona como “**reservorio**” de energía instantánea.



Los capacitores **C4** y **C5** ayudarán a limitar un fenómeno bastante frecuente en los **reguladores lineales** que es el de **dejar pasar casi limpiamente los pulsos de ruido**, esto se debe a que los reguladores básicamente son **circuitos realimentados lineales** que presentan **alta ganancia de lazo** y si bien están compensados internamente en frecuencia, **algunos reguladores lineales de marcas poco conocidas** que están presente en nuestro mercado, no poseen las compensaciones o estas no funcionan como debieran. Los capacitores deben ser del tipo “**multicapa**” por su **bajo ESR** (Equivalente Serie de Resistencia) y **ubicados lo más cerca posible de los terminales de entrada y salida del regulador (bien pegados)**. De nada sirve colocar capacitores cerámicos o multicapas a la entrada o salida del Circuito integrado regulador si lo hacemos a unos cuantos centímetros de distancia entre los terminales del regulador y dichos capacitores, la inductancia de las pistas nos jugará en contra a la hora de tener “puntos de baja impedancia” en la zona del regulador.

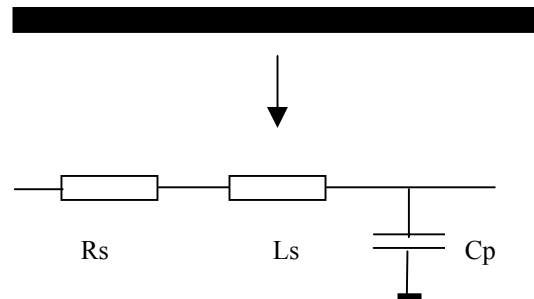


Si la sección de continua, fuera complementaria de la sección de alterna, solo deberíamos implementar el circuito constituido por **C3, C4 , regulador y C5** , ya que la mayoría de la energía impulsiva de los ruidos de alimentación, fueron filtrados por los circuitos de la sección de alterna.

# Distribución de Masas..... todo un tema!!

## ¿Porqué es tan importante la distribución de masas y la ubicación de algunos Componentes?

Cuando pensamos en una pista (ver **Fig. 5**), creemos que la misma es un conductor ideal con resistencia, capacidad, e inductancia nula, pero no nos olvidemos que nada de ello es cierto, que las pistas de nuestra placa tendrán resistencias del orden de los miliohms (**mOhms**), capacidades del orden de las decenas de fentofaradios (**fF**) e inductancias del orden de las decenas de nanoHenry (**nHy**). **¿Pero como influye ello en nuestro circuito microcontrolado, si el mismo se alimenta de tensión continua y las corrientes involucradas son relativamente pequeñas?**



**Fig. 5 – Circuito equivalente de una pista de cobre “Real”.**



**El gran problema no es el consumo promedio** que presentan los dispositivos CMOS sino **el consumo instantáneo** que es el producto del comportamiento de las miles de compuertas internas que poseen los mismos que se asemejan a un capacitor en el momento de transferir carga de un lado a otro. Recordemos que la corriente en un capacitor está regida por la formula:

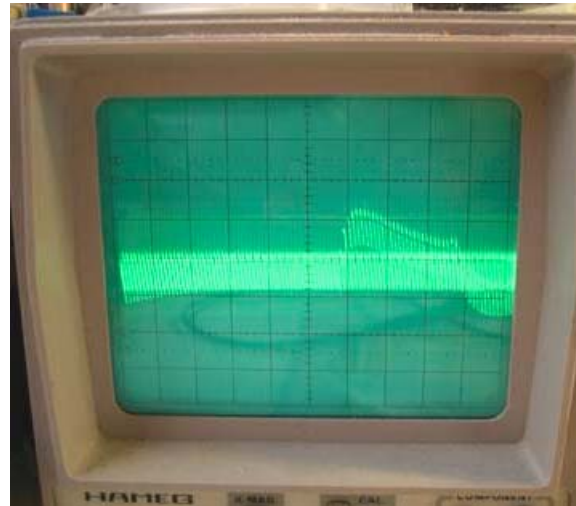
$$I_{cap} = C \cdot (dV / dt)$$

**La suma de las capacidades equivalentes de las compuertas podría tener un valor aproximado a unos cientos de picofarádios (pF)**, que a priori no indicaría un valor alto, pero el **gran problema aquí es la gran velocidad de transición entre un estado y otro en las compuertas internas** que dan como resultado un **valor muy elevado de  $dV / dt$**  (derivada de la tensión con respecto al tiempo). Por ejemplo, si la suma de las capacidades de las compuertas internas equivaldrían a unos **400 pF** y la transición entre 0 a 5V o 5 a 0V se realiza en **5 nS** (5 nanosegundos), la corriente instantánea final sería de unos **400 miliamperes!!** .

**¿Pero como afecta ello a nuestro circuito?**

Ante semejante intensidad de **corriente “instantánea” requerida**, que debe circular por nuestro circuito, las pistas de cobre podrían provocar una caída de tensión entre fuente de alimentación o regulador y el microcontrolador de unos **200 o 300 milivolts**, **solamente por suponer que las pistas presentan solo resistencia eléctrica por las características del material de cobre ( $R_s$ )**, pero además debemos considerar que las mismas presentan cierta **inductancia serie ( $L_s$ )** que, como todo inductor, se opone a los cambios bruscos de corriente, generando de esta forma un nivel muy alto de ruido de alta frecuencia (**con valores cercanos al Volt!!**) presente en lo que debería ser un **rotundo 0 Volt de masa**. Es por esta razón la importancia de una buena distribución en las pistas de masa y también en las pistas de alimentación (+VDD).....

pero .... ¿como hacerlo?

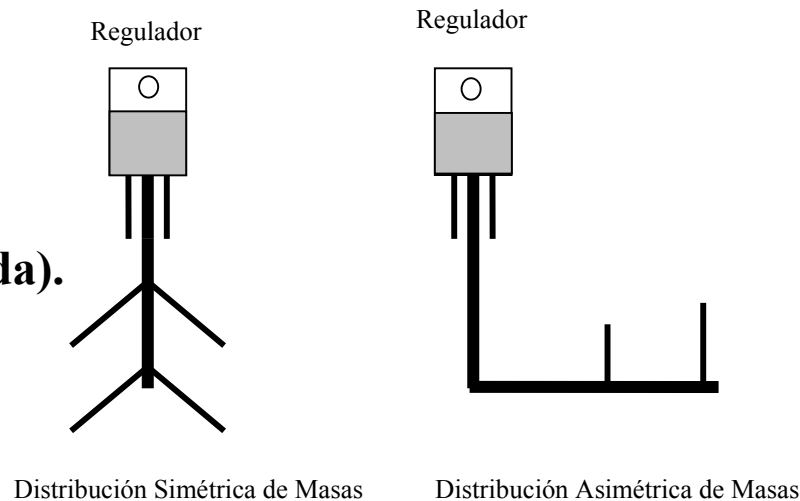


## *Distribución de masas ... Comencemos por el regulador ...*

**Nuestro punto de partida de distribución de masas y de +VDD debe ser el mismísimo regulador**, ya que de allí en adelante deberemos cuidar las distancias recorridas hasta el microcontrolador y a otros puntos importantes de nuestro circuito. El consejo que se impone es, **en la medida de lo posible, ubicar el regulador lo más cerca próximo al microcontrolador**, para de esta forma garantizar pistas cortas de alimentación al mismo.

De allí en más, deberemos diseñar nuestra placa de forma tal que las pistas de masa tengan una **distribución “simétrica” desde la masa de nuestro circuito regulador** (ver figura 6), si ello no es posible, entonces priorizar circuitos como amplificadores operacionales, comparadores y otros C.I. sensibles a los niveles de ruido, dejando para lo último y con la peor ubicación desde el punto de masa, a los circuitos de potencia como transistores, relays, drivers, etc, etc.

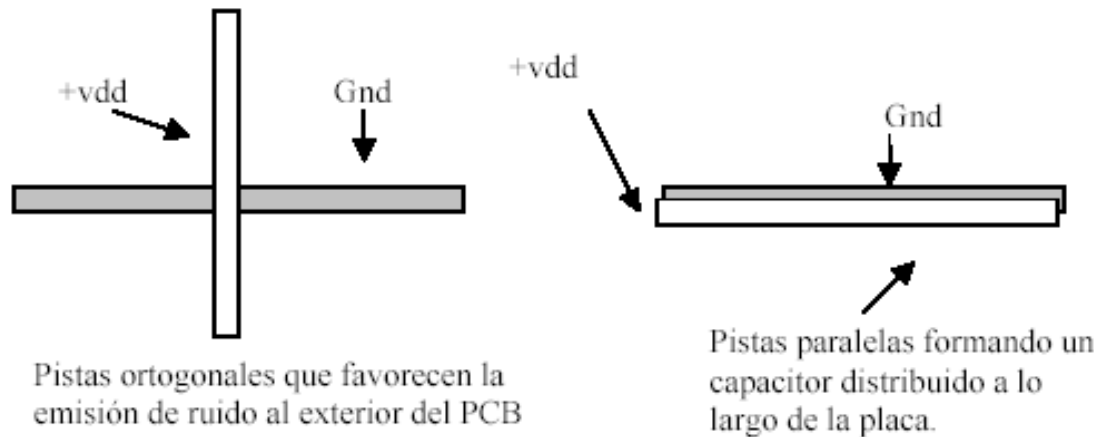
**Fig. 6 – Distribución de Masas, Simétrica (ideal), Asimétrica (poco aconsejada).**



## *Distribución de masas.... Orientación de pistas y uso de PCBs multicapas...*

En la distribución de pistas en nuestra placa, es importante evitar el cruce de pistas de alimentación en PCBs de doble capa, lo ideal es **mantener paralelas** las pistas de **masa** de una cara y las de **+VDD** en la otra cara de la placa, de forma tal de que **ambas caras formen una especie de “capacitor” distribuido a lo largo de las pistas.**

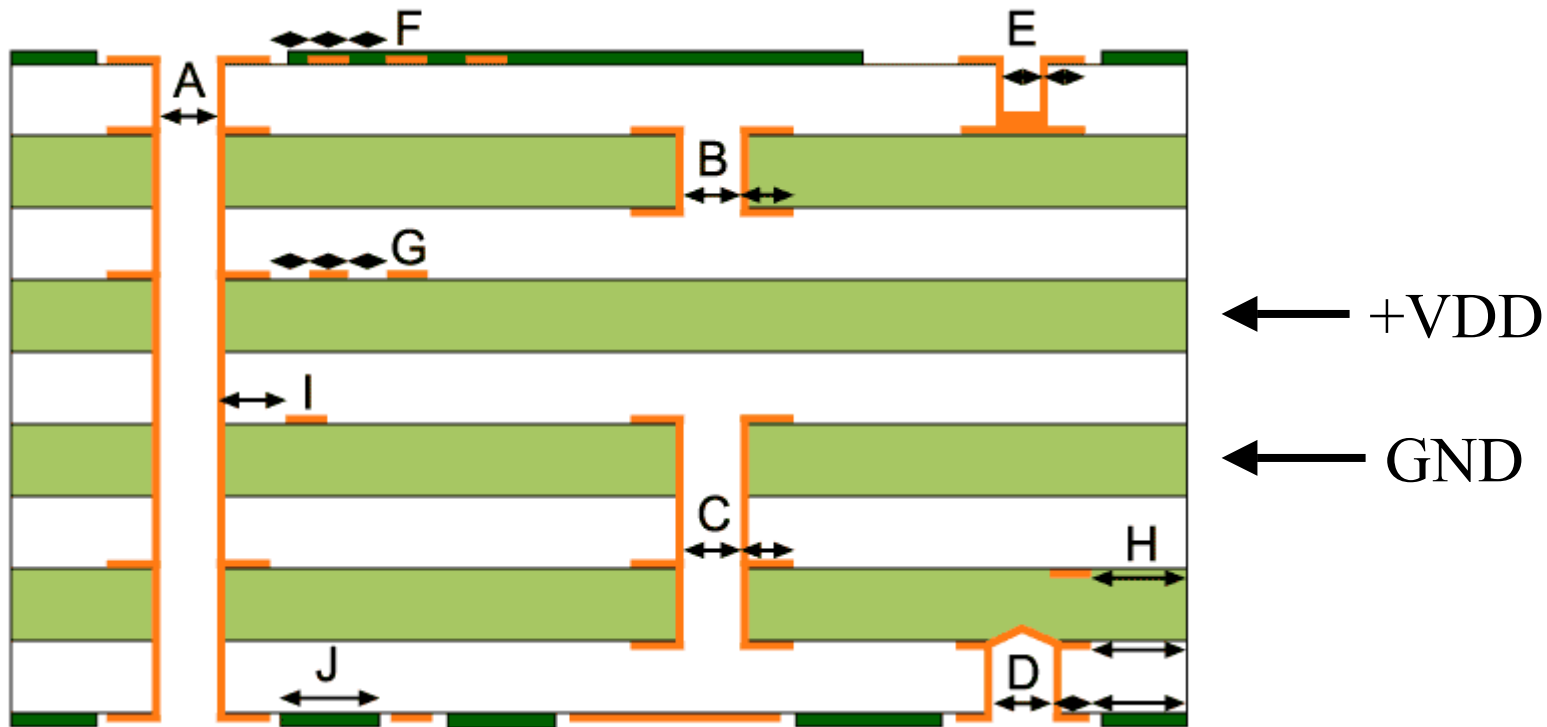
Este capacitor “natural”, tiende a mejorar el comportamiento de la placa ante el ruido y además disminuir las posibles interferencias hacia el exterior de la misma (ver **figura 7**).



**Fig. 7 – Distribución de pistas de alimentación en placas de doble cara.**

## *Distribución de masas.... Orientación de pistas y uso de PCBs multicapas...*

En sistemas de alta complejidad, con requerimientos de altas velocidades de reloj, es aconsejable utilizar **PCBs de más de 2 layers (capas)**, por ejemplo, en uno de 4 capas las **2 capas intermedias podrían destinarse a VSS y +VDD respectivamente**, mientras que las externas podrían ser utilizadas como capas de interconexión de señales.



## *Capacitores de Bypass ....*

**La pregunta fundamental es..... ¿Se necesitan? ¿O son meros adornos decorativos en nuestra placa?**

**Si nuestro circuito utiliza C.I. CMOS o microcontroladores de esta tecnología lo primero que supondremos es que las corrientes consumidas por estos dispositivos serán bajas, y como quedó demostrado, nada más alejado de la realidad, ya que si bien las corrientes medias de los mismos, son bajas, no ocurre lo mismo con las corrientes “pico” que, según lo explicado, pueden alcanzar valores de centenares de miliamperes o del amper.**

Las pistas de nuestra placa presentan resistencias e inductancias distribuidas que, para las corrientes instantáneas involucradas, son un limitante a la entrega de energía a los dispositivos que la necesitan. Y la pregunta que nos asalta en estos momentos es ....**¿Quien entrega dicha energía?** Pues bien, uno pensaría que la misma debería ser provista por la fuente de alimentación o el circuito de regulación de tensión, y si bien ello es cierto en fenómenos de baja frecuencia, no lo es para los de alta frecuencia como lo son los “picos” de corriente presentes en los dispositivos descriptos.

**¿Y entonces? ¿De donde sale o debería salir dicha energía?. Adivinó!!, ... de los capacitores de “bypass” o “desacople”, ... si, de ellos.**

## *Capacitores de Bypass ....*

Es de **vital importancia** el uso de estos capacitores **en cada uno de los dispositivos** como C.I CMOS, **microcontroladores** y hasta amplificadores operacionales y comparadores.

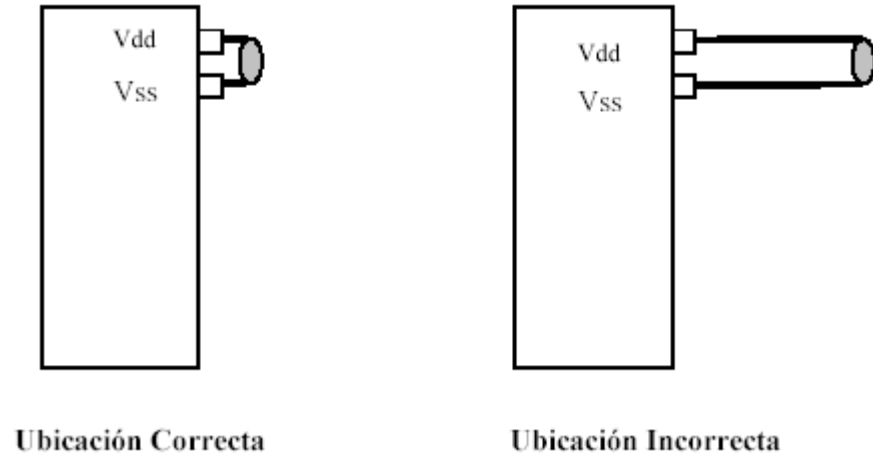
**Si no los utilizamos**, nuestros dispositivos CMOS **no tendrán la energía impulsiva suficiente y el resultado final será la aparición de “glichs” o pulsos negativos** en la tensión de alimentación de ellos, provocando ruidos internos.

*Ahora bien,..... ¿Como utilizarlos?*

### *Ubicación física del capacitor..*

**La ubicación optima, debería ser aquella que presente la menor longitud de pistas entre el capacitor y el dispositivo asociado**, esto es así debido a que de nada sirve colocar capacitores de bypass a varios centímetros de distancia del chip, ya que la resistencia e inductancia serie de las pistas, ahora sumadas al propio ESR de los capacitores, echarían por tierra los beneficios la de provisión de energía en forma instantánea por parte de estos. En la **figura 8**, puede observarse la ubicación correcta y la incorrecta de un capacitor de bypass.

## Capacitores de Bypass ....



**Fig.1 – Ubicación física correcta e incorrecta del capacitor de Bypass.**

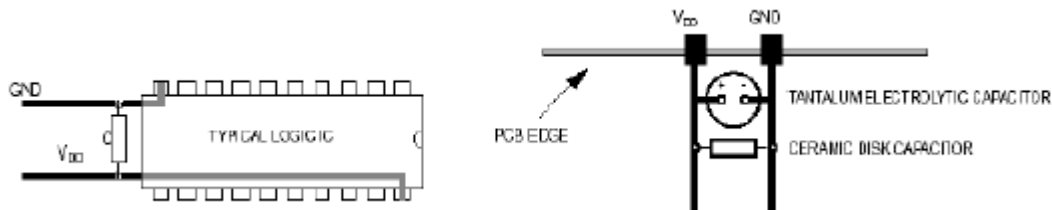
### *¿Que tipo de Capacitor utilizar?*

Por una **práctica errónea**, se suele utilizar en muchas oportunidades **capacitores cerámicos comunes** del tipo disco, que son muy económicos pero **lamentablemente poseen un E.S.R (Equivalente Serie de Resistencia) muy elevado para su uso en alta frecuencia**. Valores elevados de E.S.R darán el mismo resultado que el de pistas “largas” en nuestra placa, ya que, según lo comentado en este y otro artículo, limitan la entrega instantánea de energía del capacitor al dispositivo (chip).



## Capacitores de Bypass ....

Lo aconsejable aquí, es emplear **capacitores cerámicos del tipo “multicapa” (multilayer)**, ya que por su forma constructiva, **poseen valores más bajos de E.S.R que los cerámicos comunes**. También podremos incluir en los terminales de nuestro MCU un capacitor de **tantálio (no de aluminio, por su ESR elevado)** de unos pocos microfarádios (1 a 10 uF) que oficiará de reservorio (bulk) de energía para fenómenos más lentos que en los que podría trabajar el capacitor de Bypass (Ver Fig. 9.).



**Fig. 9 – Otras ubicaciones físicas correctas y el uso de un capacitor de tantálio como “reservorio” (Bulk) de energía.**

# Capacitores de Bypass ....

## ¿Que valor utilizar?

El cálculo del mismo puede transformarse en una misión muy complicada si no se tienen a mano algunos datos, que por lo general así es. Por lo que aquí daremos una solución de compromiso que cumple satisfactoriamente con su cometido.

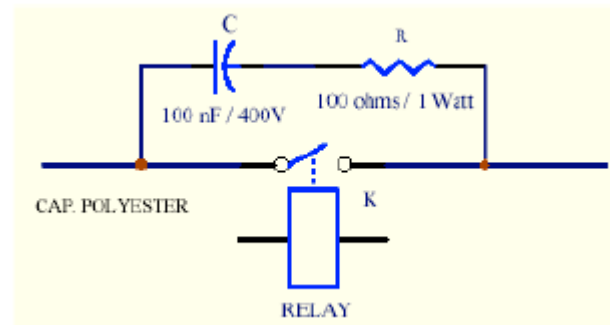
El valor más utilizado en circuitos con **frecuencias de clock (reloj) internas de hasta 2 Mhz, es de 0,1 microfaradios**. Con valores de reloj más altos, ya no es efectivo un capacitor de 0,1 microfaradios, debido fundamentalmente a que los valores de E.S.R del mismo no son tan bajos a **frecuencias cercanas a los 10 Mhz**, por lo que se sugiere utilizar capacitores de **0,01 microfaradios**. Con igual criterio, **para frecuencias de reloj superiores a los 10 Mhz se sugiere utilizar capacitores de 1000 pF (picofaradios)**.

Si nuestra placa posee componentes en **montaje SMD** (montaje superficial), mejoran las posibilidades de reducir los ruidos provocados por los C.I's **debido a que los capacitores involucrados presentan mejores valores de E.S.R que los de montaje común (pasante)**, además al ser los componentes SMD más pequeños, la placa resulta de menores dimensiones y por lo tanto se mejora con las distancias de las pistas de masa, alimentación y por supuesto las pistas involucradas con los capacitores de Bypass.

# Ruidos de Conmutación:

En este ítem enfocaremos principalmente al **ruido producido por el elemento conmutante y no al ruido generado por la propia carga**. Por ejemplo, un dispositivo muy “ruidoso” es el relay, que por sus características constructivas (torsiones mecánicas en los contactos), no posee una conmutación “limpia” **generando arcos voltaicos internos** entre las láminas de contacto, que a su vez provocan una **emisión considerable de ruido electromagnético de gran espectro** que seguramente puede ocasionar más de un problema en nuestro microcontrolador y circuitos asociados.

Para controlar esa generación de ruido, que por otra parte, está comprobado que la mayor generación se produce en la acción de apertura de los contactos del relay, deberemos utilizar el típico y útil circuito “**apagachispas**” de la **Figura 10**.



**Figura 10.- Circuito “Apagachispas” R-C típico para los contactos del Relay.**

# Ruidos de Conmutación.....

El principio de funcionamiento es muy sencillo, cuando los contactos del relay se encuentran cerrados, toda la corriente circulará por ellos y el capacitor “C” se encontrará totalmente descargado, en el **instante posterior a la apertura** de los mismos, **la corriente intentará circular en gran medida por el capacitor “C”** que se encuentra descargado y comienza a cargarse este con una corriente limitada por el valor del resistor “R” en serie con el capacitor, de esta forma, se evita o disminuye la formación del arco voltaico en los contactos del relay, prolongando la vida útil de los contactos y generando menor emisión de EMI (Emisión de Interferencia Electromagnética).

El circuito apagachispas es aplicable tanto en **corriente continua** como en **corriente alterna**, debiéndose tener **especial atención, cuando se trabaja con alterna**, en los valores de C y R ya que puede ser no aceptable **la corriente de “sangría”** que circularía por el R-C serie cuando los contactos del relay se encuentren abiertos y produzcan un efecto de “**no apertura**” del circuito ante una carga determinada. El diseñador deberá buscar los mejores valores RC que cumplan con la misión de “apagar” chispas, sin alterar el funcionamiento del resto del circuito.

# La conmutación en MOSFET y Bipolares....

Los transistores MOSFET o Bipolares, si bien no producen ruidos por su propia conmutación, es importante protegerlos de los sobre – picos de tensión que se producen en ellos cuando los mismos pasan de saturación (o conducción en el MOSFET) a bloqueo.

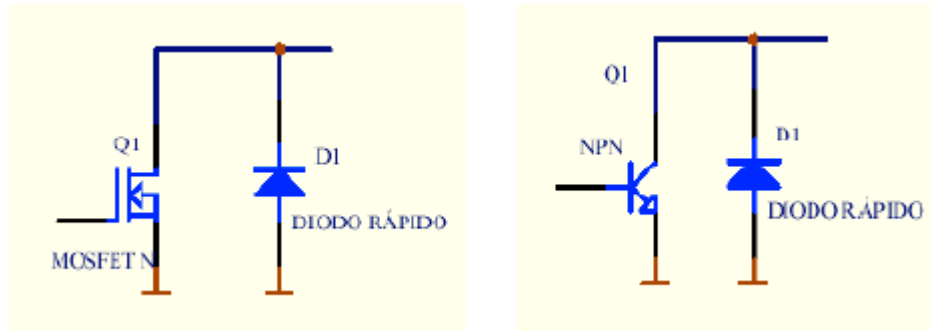
Existen varias técnicas para ello, las más comunes son las del “**diodo de rueda libre**” (**free Wheel diode**) y la de “**remoción rápida**” de cargas de la base o gate del transistor.

En la primera, **el diodo (del tipo rápido con  $t_{rr} = 500 \text{ nS}$  o inferior)** está colocado en polarización inversa con respecto a la alimentación del transistor, y solo entrará en conducción cuando se produzcan picos de tensión inversos entre las junturas Colector – Emisor del Bipolar o Drenaje – Surtidor del MOSFET. Por lo general, este tipo de protección ya viene integrada en los transistores de conmutación de potencia, por lo que no es necesario agregar ello en forma exterior si estos ya la poseen (ver **figura 11**).

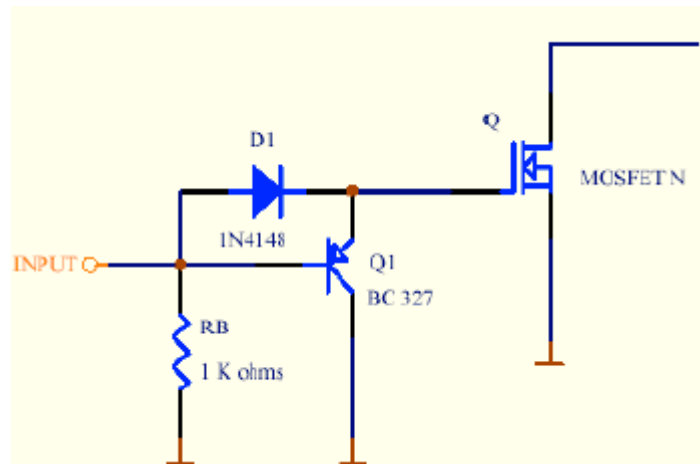
La segunda técnica es más sofisticada y se basa en la remoción rápida de cargas de la juntura Base – Emisor en el transistor bipolar o Gate – Source del MOSFET.

En la **figura 12** se puede observar un circuito típico de remoción de cargas aplicado a un MOSFET de canal N.

# La conmutación en MOSFET y Bipolares....



**Figura 11.- Diodo de “Rueda Libre” en Bipolares y MOSFETs.**



**Figura 12.- Circuito adicional de remoción de cargas en un MOSFET.**

# Ruidos Producidos por las Cargas.

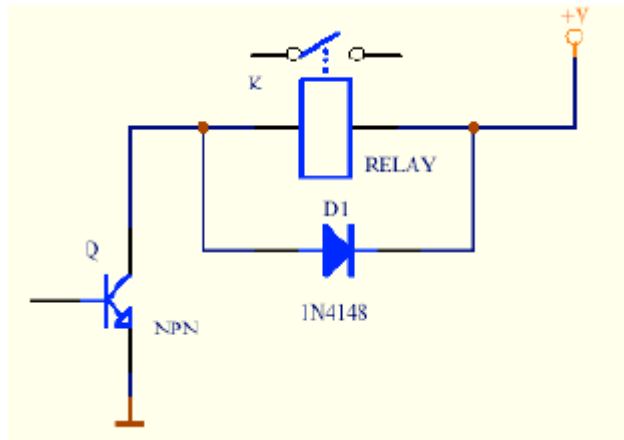
**La forma más práctica, es atacar a las mismas lo más cerca posible de la fuente de ruido, o sea en los bornes mismos de la carga.**

Por ejemplo, si la carga es un solenoide o tragante inductivo, y lo alimentamos con Corriente Continua, deberemos usar un **diodo rápido** ( $trr = 500 \text{ nS}$  o menor) (por favor, no utilizar un **diodo rectificador** del tipo **1N4007!!!!**, ya que son lentos y no fueron diseñados para esta función) con tensión de pico inverso muy superior a la tensión a “recortar” y corriente pico muy superior a la corriente pico circulante en el circuito puesto en polarización inversa a la alimentación del solenoide.

**No está de más insistir que el elemento supresor debe colocarse en los bornes mismos de la carga inductiva para evitar la propagación del ruido electromagnético por el resto del sistema y además disminuir las inductancias y resistencias series que se interpondrían con el elemento supresor.**

La misma técnica deberemos utilizar en las bobinas de nuestros relays, pero allí solo basta utilizar un **diodo de conmutación** muy conocido como el **1N4148** o **1N914** en polarización inversa y bien pegado a las patas de la bobina de nuestro relay (Ver **Figura 13.-**).

# Ruidos Producidos por las Cargas.....



**Figura 13.- Diodo de “Clamping” en bobina del Relay.**

Cuando nos manejamos con **motores de continua, del tipo de escobillas**, es fundamental utilizar un capacitor de unos **0,1uF / 400V** o similar del tipo poliester, en paralelo con la alimentación del mismo y pegado a los bornes de este. Si el motor puede cambiar de polaridad en nuestra aplicación, deberíamos utilizar además un varistor de VRMS algo superior a la de trabajo del motor, colocado, al igual que el capacitor, en bornes del motor.

Si nuestro **motor es de alterna**, deberíamos tomar **idénticas precauciones a los de continua con inversión de polaridad**.



# Ubicación de los elementos de conmutación en nuestro sistema.

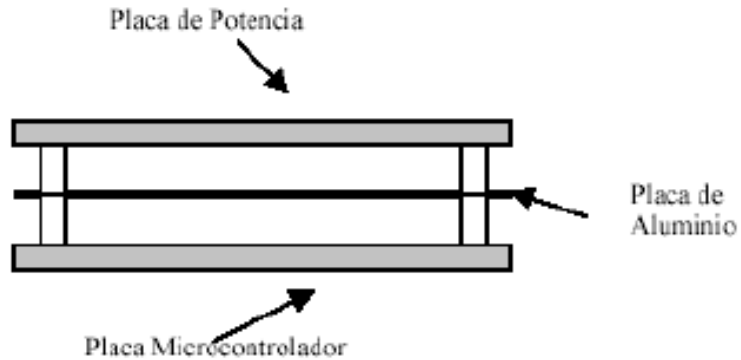
De ser posible, para lograr un buen diseño de la placa en lo que respecta a su comportamiento al ruido, deberemos priorizar su diseño en función de minimizar las interferencias entre los elementos que manejan gran cantidad de energía y aquellos que, por el contrario, manejan señales débiles.

Con este concepto en mente, cae de maduro que nuestro sistema debe tener la mayor distancia posible entre las secciones de control (microcontroladores, amplificadores operacionales, comparadores) y las secciones de potencia (relays, triacs, transistores de conmutación, etc.), entonces lo aconsejable, dentro de lo posible, sería que nuestro sistema contara con placas independientes, tanto para la sección de control, como para la sección de potencia y lo más separadas posibles entre sí.

Si el espacio horizontal es escaso, podremos utilizar el **truco del “sandwich” de placas**, esto es una placa arriba de la otra, teniendo en cuenta de agregar entre ambas placas una de aluminio a modo de “blindaje”, si la misma se conecta a tierra (jabalina) mucho mejor, ya que estaremos derivando corrientes parásitas a tierra.

Si no se pudiera separar las placas y solo tendríamos la opción de una mono placa entonces, siguiendo el razonamiento anterior, deberíamos ubicar en los extremos diagonalmente opuestos los circuitos de control (MCU, Amp. Operacionales, etc.) de los de potencia (relays, triacs, etc.).

# Ubicación de los elementos de conmutación en nuestro sistema.



**Figura 14.- Disposición de placas Separadas en forma de “Sandwich”**



**Figura 15.- Disposición “mono” placa, áreas separadas en diagonal.**

## *Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....*

- Los campos (eléctricos / magnéticos) almacenan energía en el espacio...
- La energía no se almacena en o sobre un conductor o pista.....
- ¿Porqué la energía “fluye” por una pista o conductor?
  - Por que el campo busca el camino que almacena la menor energía posible.
  - Es más fácil para el campo seguir las pistas que ir por el espacio libre.
- Para que ello sea cierto, las pistas deben asemejarse a “líneas de transmisión”...
- Un par de conductores (pista - pista o pista - plano conductivo) pueden ser una línea de transmisión....
- Un campo “amigable” es aquel que está “contenido” .....

## *Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....*

- Un campo “amigable” contenido en:
  - En una espera conductora.
  - En un cable coaxial.
  - En un par de pistas muy cercanas (línea de transmisión)
  - En un par de planos conductores separados muy cercanos en el PCB.

### **¿Que puntos tendremos en cuenta en el diseño de un PCB?**

- Ubicación Conector / es con el medio exterior.
- Distribución de componentes críticos.
- Líneas de energía (power) de nuestro PCB.
- Líneas de señal y líneas digitales de nuestro PCB.

# *Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....*

## **Ubicación Conector / es con el medio exterior.**

- Si es posible, ubicarlo de forma tal que los recorridos de pistas sean los más simples y cortos posibles.
- Clasificar a las señales según su estado “crítico” ante el ruido.

- **A** ---- Señal muy crítica.
- **B** ---- Señal crítica.
- **C** ---- Señal poco crítica.
- **D** ---- Señal no crítica.

### **Distribución “ideal” de señales en un conector**

**P G S G S G S G S G P**  
**G S G S G S G S G S G**

### **Distribución “optima” de señales en un conector**

**S S S G S S S G S S P**  
**S G S S S G S S S G P**

## Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....

¿Como distribuir las señales según lo crítico de c/u de ellas?



BAAGAAAGAAP  
AGAAAGAAAGP

Cuando las señales son muy críticas ante el ruido, siempre hay que poner una pista de “ground” (masa) cerca de ellas.

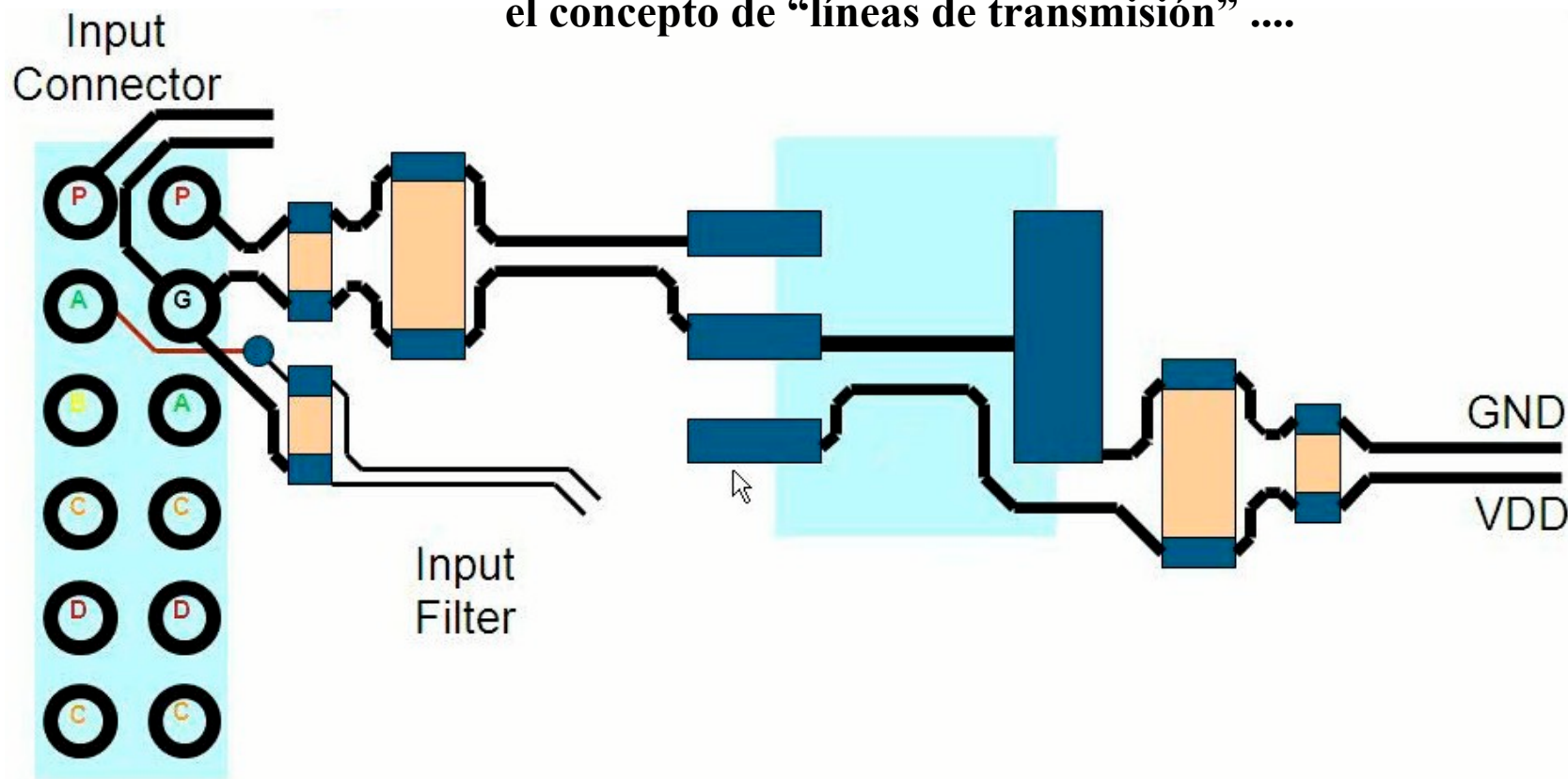


DCAGACDCBAP  
DCBABCDCAAGP

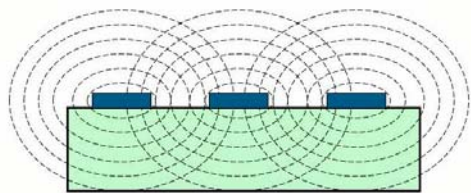
Cuando las señales tienen distintos grados de sensibilidad, entonces se pueden emplear menos pistas de masa con la distribución que se ve en la figura....

## Algunos “Tips” para mejorar los PCBs...

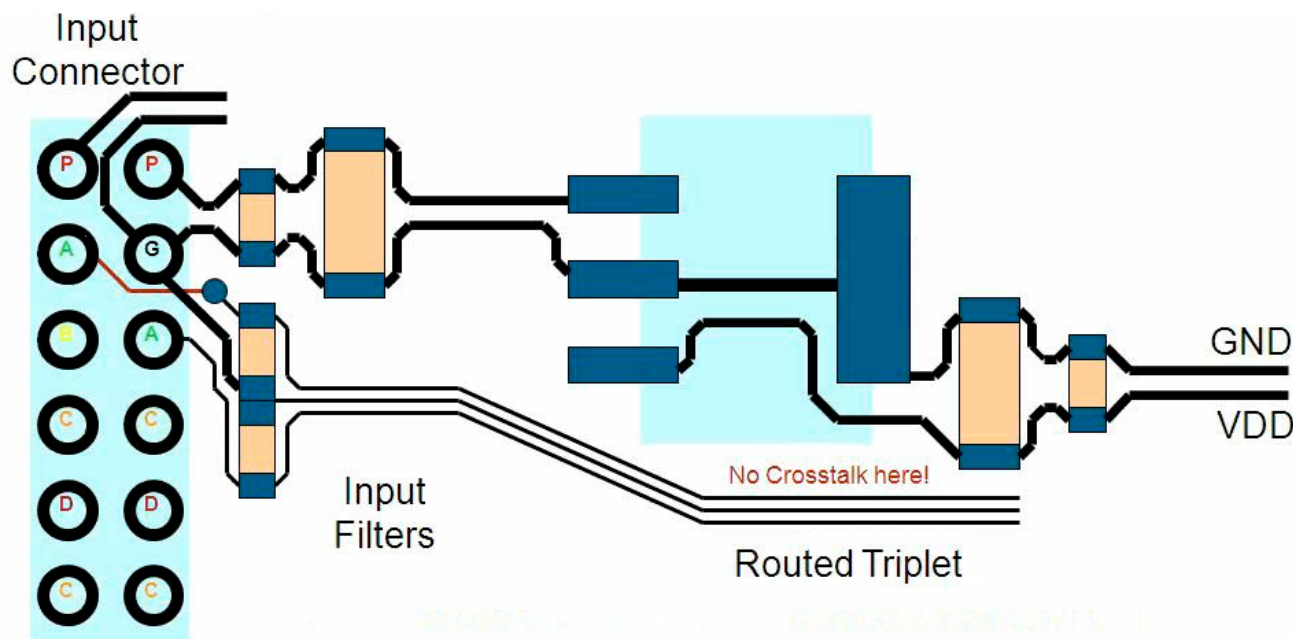
Ubicación de filtros y distribución de pistas siguiendo el concepto de “líneas de transmisión” ....



## Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....



Cuando hay varias pistas de señales, se produce una inducción entre ellas, conocida como “Crosstalk” que es mayor cuanto más alta es la frecuencia de trabajo y las impedancias en juego de cada una de las fuentes o receptores de las señales....

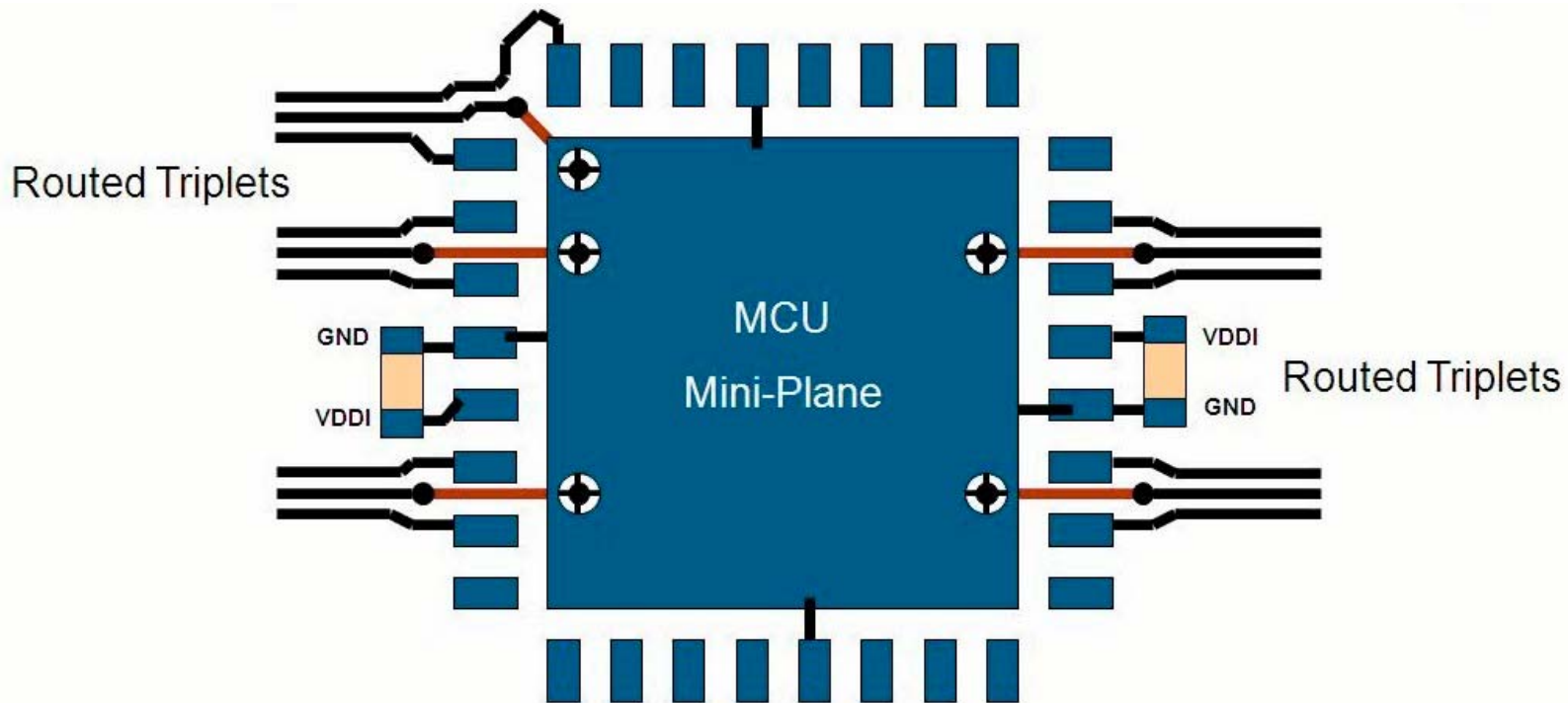


Intercalando una pista de masa entre las señales, logramos el efecto “línea de transmisión” y se disminuye el “crosstalk”



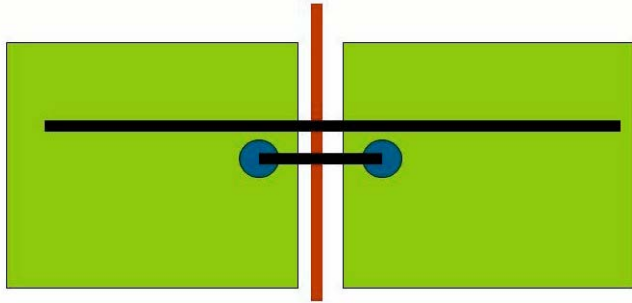
## Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....

El “plano de tierra” (masa) debajo del MCU y el uso de “Triplets” mejora la EMI y la susceptibilidad electromagnética del circuito con MCU...

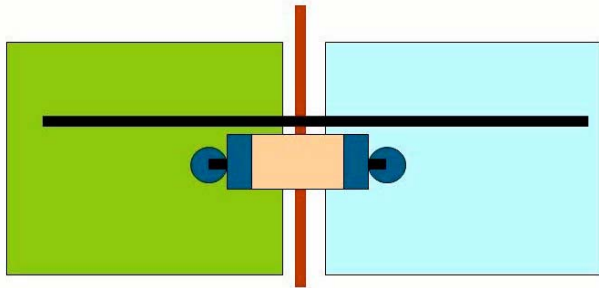


# *Algunos “Tips” para mejorar los PCBs....*

*Distintos planos de “masa” o “VDD”.... Si es posible.... EVITARLOS!!*



**Sino, unirlos con un “puente” de alambre lo más corto posible.....**



**Cuando no tienen el mismo potencial, unirlos con un capacitor multicapa ....**

**Pero nunca dejarlos sin conexión entre ellos !!!**

# FIN !!

## Gracias por su presencia !!!

**EduDevices** - [www.edudevices.com.ar](http://www.edudevices.com.ar)

e-mail: [info@edudevices.com.ar](mailto:info@edudevices.com.ar)

e-mail: [soporte@edudevices.com.ar](mailto:soporte@edudevices.com.ar)

e-mail: [ventas@edudevices.com.ar](mailto:ventas@edudevices.com.ar)

e-mail: [educacion@edudevices.com.ar](mailto:educacion@edudevices.com.ar)



[www.edudevices.com.ar](http://www.edudevices.com.ar)