



**SEP**  
SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA



---

# Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez

## Reporte técnico de residencia

### Nombre del proyecto:

Prevención de fallas en módulos de medición de absorción específica de radiofrecuencia en cuerpos humanos

### Presenta:

**Noel Tello De león**

Asesores:

Interno: Álvaro Hernández sol

Externo: Sergio Martín Gutiérrez Hernández

Tuxtla Gutiérrez, Chiapas; 20 de diciembre de 2019.



## **Resumen**

Este trabajo existe para proponer una solución a los problemas de medición y evaluación de la placa conocida como Tales (transmit antenna level sensor) como parte de una máquina de resonancia magnética y la prevención de fallas del mismo. Primero se conoce un poco de la historia de cómo surgió la máquina de resonancia y de los instrumentos de medición de SAR actuales, después, se analizan conceptos básicos que se deben tener en cuenta para saber cómo funciona, en seguida, se analiza uno de estos módulos para conocer su estructura física y los elementos que intervienen en su funcionamiento. Una vez que se conoce como funciona se procede a construir un sistema de medición, estableciendo puntos importantes del módulo y que sean determinantes para su correcto desempeño, se lleva a cabo la implementación del mismo y por último se realiza un análisis de los resultados obtenidos, es decir, de cómo está operando el modulo y que fallas puede llegar a presentar según el nivel y estado de sus componentes y señales.

## **Introducción**

La IRM (imagen por resonancia magnética) es una tecnología de imágenes no invasiva que produce imágenes anatómicas tridimensionales detalladas, mediante el uso de la radiación electromagnética. Se usa frecuentemente para la detección de enfermedades, diagnóstico y monitoreo de tratamientos. Se basa en una tecnología sofisticada que estimula y detecta el cambio en la dirección del eje de rotación de protones que se encuentran en el agua que compone los tejidos vivos. La IRM emplea imanes poderosos que producen un potente campo magnético que obliga a los protones en el cuerpo a alinearse con ese campo. Cuando se pulsa una corriente de radiofrecuencia a través de un paciente, los protones son estimulados y giran fuera de equilibrio, luchando contra la fuerza del campo magnético. Cuando se apaga el campo de radiofrecuencia, los sensores de IRM son capaces de detectar la energía liberada mientras los protones se realinean con el campo magnético. El tiempo que tardan los protones para realinearse con el campo magnético, así como la cantidad de energía liberada, cambian dependiendo del entorno y la naturaleza química de las moléculas. Los médicos son capaces de identificar la diferencia entre los varios tipos de tejidos basándose en estas propiedades magnéticas.

Para obtener una imagen por IRM, se coloca a un paciente dentro de un imán muy grande y debe permanecer inmóvil durante el proceso para que la imagen no salga borrosa. Mientras más rápido se realineen los protones, más brillante será la imagen.

Debido a que se libera radio frecuencia a través del cuerpo del paciente, esta tiende a quedarse en los tejidos blandos en forma de calor y la cantidad de radio frecuencia absorbida por el tejido se define como SAR por sus siglas en inglés: specific absorption rate (tasa de absorción específica). La utilización de equipos de medición

apropiados permite cuantificar el nivel de exposición y valorarlo por comparación con los valores límite.

La evaluación del riesgo exige conocer magnitudes como campo magnético (H), campo eléctrico (E) y densidad de potencia (S), de los campos electromagnéticos. Como regla general se debe disponer de información previa sobre las fuentes emisoras, para conocer las frecuencias de emisión del campo. El SAR es la energía de radiofrecuencia absorbida por unidad de tiempo y masa, en un tejido y se expresa en W/kg, como se muestra en la siguiente ecuación, donde E es el valor RMS del campo eléctrico en el organismo en el punto de interés expresado en V/m,  $\sigma$  es la conductividad efectiva del tejido en Siemens/m y  $\rho$  es la densidad de la masa local en Kg./m<sup>3</sup>. Debido a que el tejido vivo del cuerpo humano no es homogéneo y tampoco es uniforme.

$$SAR = \frac{E^2 \sigma}{\rho}$$

Las máquinas de resonancia electromagnética que para este caso es un modelo avanto de la marca siemens, posee un módulo dedicado especialmente a la medición del SAR y lleva por nombre TALEs (transmit antenna level sensor).

El sensor de nivel de antena de transmisión (TALES) es un voltímetro RMS de RF de precisión para medir los niveles de RF hacia adelante (transmitidos) y reflejados en el transmitir de las bobinas (Body Coil o TX-local coil) para usar en los cálculos de SAR.

## INDICE

CONTENIDO	PAGINA
Resumen.....	1
Introducción.....	1
Índice.....	3
<b>CAPITULO I</b>	
I.1 Estado del arte.....	6
I.2 Historia .....	7
I.3 Planteamiento del problema .....	9
I.4 Objetivos .....	9
I.5 Justificación .....	9
<b>CAPITULO II</b>	
Marco teórico-conceptual.....	11
II.1 Cables coaxiales, características y perdidas.....	11
II.1.1 Tipos de cables coaxiales.....	11
II.1.2 Diferencia entre cable coaxial y guía de onda.....	11
II.1.3 Pérdidas en el conductor.....	11
II.1.4 Pérdida por calentamiento del dieléctrico.....	12
II.1.5 Pérdida por radiación.....	12
II.1.6 Pérdida por acoplamiento.....	13
II.1.7 Efecto corona (o efecto de arco voltaico).....	13
II.1.8 Tipos de conectores coaxiales que hay y cual usar en diferentes cables.....	13
II.1.9 Conector N.....	13
II.1.10 Conector SMA.....	13
II.1.11 RP-SMA.....	14
II.1.12 Conector BNC.....	14
II.1.13 Conector TNC.....	14
II.1.14 Conector UHF.....	15
II.1.15 Conector QLA.....	15
II.1.15 Extra.....	15
II.2 Oxidación en cables.....	16
II.3 Corrosión electroquímica o corrosión en líquidos.....	17
II.4 Impedancia.....	19
II.4.1 Concepto de impedancia.....	19
II.4.2 Impedancia en cables de Rf.....	19
II.4.3 Diferencias entre impedancias de 50Ω y 75Ω.....	20

II.5	Ruido y atenuación.....	20
II.5.1	Ruido.....	20
II.5.2	Atenuación.....	21
II.6	Refracción.....	22
II.7	Reflexión.....	24
II.8	Difracción.....	24
II.9	Reflexión → factor de potencia reflejada.....	25
II.10	Verificación de calibración de reflexión.....	27
II.11	Polaridad de antena.....	28
II.12	Multiplexor.....	29
II.13	Demultiplexor.....	30
II.14	Filtros activos.....	30
II.14.1	Filtro pasa bajas.....	31
II.14.2	Filtro pasa altas.....	31
II.14.3	Filtro pasa bandas.....	31
II.14.3	Filtro rechaza banda .....	32
II.15	Filtros pasivos.....	33
II.15.1	Filtro pasa bajas.....	33
II.15.2	Filtro pasa altas.....	34
II.15.3	Filtro pasa bandas.....	35
II.16	Diferencia entre los filtros pasivos y los filtros activos.....	36
II.17	Comportamiento de elementos activos y pasivos a altas frecuencias.....	36
II.18	Componentes pasivos.....	36
II.18.1	Inductancia.....	36
II.18.2	Resistencia.....	38
II.18.3	Capacitores.....	40
II.19	Componentes activos.....	41
II.20	Rectificadores de voltaje.....	42
II.21	Ruido en fuentes.....	43
II.22	Tierra física y tierra digital.....	45
II.23	Sistema de tierras.....	46
II.24	Desviación pico – pico (fase //frecuencia// amplitud).....	47
II.25	Acople (transmisión máxima).....	50
II.26	Potencia y disipación de superficies.....	50
II.27	Soldadura (plata, estaño y temperaturas).....	52
II.28	SAR (specific absorption rate), tasa de absorción específica.....	53

<b>CAPITULO III</b>	
III.1 Estudio y mapeo de tarjeta (modulo TALES).....	57
III.2 Elaboración de un sistema de medición.....	70
III.3 Implementación del sistema de medición .....	76
<b>CAPITULO IV</b>	
IV.1 Parametrización de resultados.....	85
IV.2 Evaluación de resultados.....	85
IV.3 Mapeo de fallas.....	86
IV.4 Análisis de fallas y propuestas para resolución.....	86
IV.5 Métodos de prevención.....	87
IV.6 Análisis de viabilidad .....	87
<b>CAPITULO V</b>	
V.1 Conclusiones .....	89
V.2 Referencias .....	90
V.3 Anexos .....	92

## CAPITULO I

### Estado del arte

Actualmente se cuenta con pocos artículos acerca de la medición del SAR en teléfonos móviles, pero ninguno con respecto a la medición del SAR en máquinas de resonancia magnética y como reparar uno de estos, esto, debido a la exclusividad de la empresa fabricante de las máquinas y por tanto de los módulos para medirlo. Es importante mencionar que la medición de este parámetro producido por la radiación electromagnética se da de manera similar en telefonía y en resonancia magnética, por lo tanto, en la telefonía se ha llegado a construir instrumentos capaces de medirlo, por ende, se puede usar como un antecedente que precede este trabajo.

El protocolo de pruebas para evaluar el SAR producido por terminales móviles se basa en las normas internacionales (ICNIRP, FCC OET Bulletin 65, EN 50360, IEC 62209-1) puede ser implementado dentro del proceso de homologación del servicio móvil avanzado. Para realizar o recibir una llamada el utilizar el teléfono en la posición correcta (posición tilt - ángulo de 15° entre el oído y el teléfono) reduce la absorción de la radiación emitida por el móvil. Se determinó que el estándar de los Estados Unidos con límite de 1,6 W/kg en una masa de 1g es más restringido, adecuado para realizar la verificación de SAR a los teléfonos móviles en el Ecuador. La tasa de absorción específica es un valor importante en los terminales móviles, las personas suponen erróneamente que al usar un teléfono celular con un menor valor de SAR la exposición a la radiación es menor que al usar un teléfono con un mayor valor de SAR. Debido que de todas las pruebas que se realizan se toma el valor más alto de SAR y ese valor se informa en el teléfono móvil.

Múltiples estudios en el mundo tratan de probar la peligrosidad de las actuales emisiones electromagnéticas producidas por los celulares. De igual manera, organismos estatales han tratado de acoger las diferentes reglamentaciones internacionales para hacer mediciones de las radiaciones producidas por las radio-bases. Sin embargo, no son muchos los estudios acerca de los efectos ocasionados por las antenas de los teléfonos celulares o antenas de alta radiofrecuencia. La principal complejidad de realizar mediciones válidas, es encontrar el método o protocolo más preciso para efectuar las mediciones. En primera instancia será necesario implementar los algoritmos propuestos por las normas K.52 e ICNIRP para evaluar su eficiencia.

Es natural que exista relación entre tejidos humanos y las ondas electromagnéticas de distinta naturaleza. Cuando un tejido se encuentra sometido a un campo eléctrico puede desplazar los iones y orientar las moléculas polares que forman el tejido biológico y una parte de la energía electromagnética se transforma en calor (se expulsa como calor), que inicialmente produce un aumento de la temperatura de la zona o área afectada. (Menéndez, 2005).

Numerosos experimentos alrededor del mundo, han confirmado que las ondas de radio producen un efecto térmico que pueden causar aumento de la temperatura corporal, alteraciones en el desarrollo embrionario e incluso abortos. Estos experimentos han servido para establecer algunos límites. Sin embargo, aún existe preocupación por posibles efectos no térmicos. Además, si se tiene en cuenta que junto con el desarrollo tecnológico ha crecido considerablemente la exposición a la contaminación electromagnética - acentuada por la creciente expansión de la telefonía móvil - y por otra parte, las continuas demandas en relación a la manipulación de los resultados de las investigaciones, por cuenta de las empresas de telecomunicaciones; se crea un ambiente de incertidumbre, que solo a partir de alguna normatividad existente, se podría brindar algún tipo de seguridad a los ciudadanos

### **Historia**

Hace aproximadamente 50 años que la humanidad empezó a descubrir los efectos que producen algunas radiaciones electromagnéticas. En esa época, el ingeniero Percy Spencer, quien trabajaba en un proyecto relacionado con el radar, notó que la barra de chocolate que guardaba en su bolsillo, estaba totalmente derretida. Este fenómeno casi accidental y experimentos posteriores con maíz y huevos, permitieron confirmar un gran hallazgo: el horno microondas.

Sin embargo, esta caja sellada con una estación de radio adentro, no fue suficiente para predecir lo que 40 años después, sería una de las más grandes polémicas del mundo tecnológico: los efectos que produce en el cuerpo humano, la exposición a la radiación electromagnética. Si se invierte el concepto del horno microondas, las cosas cambian y en este sentido una estación de radio sería como un gran microondas cubriendo a las ciudades.

En 1971, el doctor Raymond Damadian demostró que la resonancia magnética podía ser usada para detectar enfermedades porque distintos tipos de tejidos emiten señales que varían en su duración, en respuesta al campo magnético.

Damadian creó el primer equipo de resonancia magnética en 1972. Pocos meses más tarde aplicó a una patente para su invento con el título "Aparato y método para detectar tejidos cancerígenos". La patente fue otorgada el 1974 en Estados Unidos, y fue la primera que se dio en el campo de la resonancia magnética.

Reconociendo la importancia del descubrimiento de Damadian, el investigador Paul Lauterbur desarrolló la técnica para generar las primeras imágenes en resonancia magnética en 2 y 3 dimensiones utilizando gradientes, y publicó la primera en 1973. Peter Mansfield, un físico de la Universidad de Nottingham en Inglaterra, extendió el uso de los gradientes mediante un modelo matemático que permitía acelerar muchísimo el tiempo de captura de imágenes, de horas a tan sólo segundos, y producirlas con mejor definición.



Mansfield y Lauterbur recibieron en 2003 el premio Nobel de Medicina por sus descubrimientos en el campo de las imágenes de resonancia magnética. Damadian, que fue dejado de lado por la academia sueca, protestó con una solicitada en el diario New York Times.

Más allá de esta controversia en cuanto a la contribución de cada uno al invento, lo que no cabe duda es que en los 40 años que pasaron desde su descubrimiento la resonancia magnética cambió la historia de la medicina.

Los hallazgos de Mansfield y Lauterbur y del mismo Damadian aceleraron el desarrollo de la técnica. En 1977, W. Hinshaw et al. publicaron imágenes de RM de la muñeca, R. Damadian logró reconstruir la imagen del tórax y P. Mansfield desarrolló las secuencias EPI. R. C. Hawkes y Moore et al en 1980 obtuvieron las primeras imágenes de la cabeza y en 1981 se instaló el primer prototipo de tomógrafo por RM en el Hospital Hammersmith de Londres, dando inicio a los estudios pioneros de Graeme M. Vides, Ian R. Young en el departamento dirigido por el profesor Robert E Steiner. Sin embargo, en este período también hay que destacar un avance extraordinariamente relevante, que es base de la tecnología actual: Anil Kumar, Dieter Welti y R. Ernst, publicaron el artículo "NMR Fourier Zeugmatography" en donde sustituyen el algoritmo de retroproyección basado en la transformada de Radon-Fourier, por el uso de gradientes magnéticos codificadores y transformadas dobles de Fourier para reconstituir la imagen, lo que es la base de la formación actual de imágenes.

La RM de hoy se nutre de los descubrimientos logrados por todos estos grandes investigadores: matemáticos, físicos, químicos, ingenieros y médicos, y probablemente lo seguirá haciendo, incorporando estos avances en las nuevas técnicas que se están desarrollando. Resulta extraordinariamente interesante notar en la historia de la RM la intrincada red de personajes que participaron y que, descubrimientos sin aparente relación en diferentes campos y, sobre todo, sin una utilidad inmediata para la época, se articulan hoy produciendo una revolución en el estudio y diagnóstico de los pacientes. La RM médica está demostrando una potencialidad insospechada de nuevos avances como la capacidad de realizar estudios funcionales, difusión, perfusión, tractografías, espectroresonancia, e incluso es posible el desarrollo de estudios de resonancia de otros núcleos como  $^{13}\text{C}$ ,  $^{19}\text{F}$ ,  $^{31}\text{P}$  y  $^{27}\text{Na}$ , por lo que probablemente se encuentra hoy en los inicios de una historia que continuará revolucionando la medicina y en particular la Imagenología.

### **Planteamiento del problema.**

Dado que el tiempo de creación y perfeccionamiento de la máquina de resonancia magnética es relativamente corto no hay muchas empresas que se dediquen a realizar los procesos de fabricación, instalación y mantenimiento de dichas máquinas y se desconoce una buena parte del proceso de mantenimiento exclusivo que ofrecen, en el caso de la empresa siemens los procedimientos de mantenimientos en placas y equipos se realizan en Alemania y tienen un alto costo, ya sea por envíos o reposición de piezas, de esto, surge la necesidad de hacer dichos procedimientos (mantenimiento preventivo y correctivo específicamente del módulo TALES) dentro del territorio mexicano.

### **Objetivos**

#### **General**

- Ofrecer diagnóstico y soluciones a los problemas y posibles fallas del módulo TALES dentro del territorio mexicano.

#### **Específicos**

- Conocer el funcionamiento del módulo TALES y su operación conjunta para su correcto funcionamiento
- Establecer puntos de medición específicos y trascendentes para realizar una evaluación de comportamiento
- Crear un sistema de medición para los puntos descritos anteriormente
- Implementar el sistema de medición
- Determinar, analizar y diagnosticar si la placa evaluada funciona correctamente y proponer métodos de solución
- Crear método de prevención para la solución de problemas
- Analizar la viabilidad del proyecto de acuerdo al costo-beneficio que genera

### **Justificación**

A lo largo del tiempo, la estadística y logística ha permitido identificar piezas o partes problemáticas en los sistemas como el módulo de medición de SAR (módulo TALES) que por norma del fabricante tiene que cambiarse en un periodo no mayor a dos años debido a los problemas que las señales de radiofrecuencia inducen en este, garantizando de este modo mediciones exactas que no expongan a los pacientes que requieren estudios en las máquinas de resonancia magnética.

Por supuesto la reducción de costos es la parte primordial de este proyecto ya que al idear un sistema para la evaluación de la tarjeta en sitio o en planta (dentro de

México) ahorra los costos de reemplazo de dicho módulo, tiempo de operación e índice de satisfacción al cliente.

## **CAPITULO II**

### **Marco Teórico-conceptual**

#### **Tipos de cables coaxiales**

El cable coaxial está disponible en muchos diámetros, que se refieren como los tamaños. El cable con un diámetro grande lleva las señales más allá que el cable con un diámetro pequeño. Los cables coaxiales de menor diámetro son comúnmente llamados "cables de acometida". Ellos incluyen los cables RG-59 y RG-6, y son los cables de alta pérdida de detrás de un aparato de televisión. Los típicos tamaños de cables de líneas de salida de transmisión son 1/2 pulgada (1,27 cm), 3/4 pulgada (1,91 cm) y 1 pulgada (2,54 cm). Estos cables también se definen por su flexibilidad o radio de curvatura. Los cables más flexibles tienen mayores características de pérdida que los cables más rígidos. Todos estos cables coaxiales pueden ser fabricados para interior, aire limpio, aire libre o bajo tierra.

#### **Diferencia entre cable coaxial y guía de onda**

El cable coaxial y la guía de ondas son líneas de transmisión de radio frecuencia (RF). La frecuencia de la señal de RF transmitida, o transportada, es la principal consideración al elegir el cable coaxial o la guía de ondas para una línea de transmisión. El cable coaxial está diseñado para llevar una banda de señales de RF, y la guía de ondas está diseñada para llevar una banda superior de las señales de RF. Además de la frecuencia de RF, la distancia que las señales deben ser transportadas y el entorno dentro o fuera de las ubicaciones de líneas de transmisión han dado lugar a muchos tipos de cables coaxiales y guías de onda. Las señales de RF, distancia y factores ambientales pueden ayudar a determinar qué línea de transmisión utilizar.

Las señales de RF están determinadas por su frecuencia. Las frecuencias de 3 MHz a 300 GHz son señales de radiofrecuencia, y esta banda se denomina espectro de radio. Los cables coaxiales están diseñados típicamente para transportar señales de 50 MHz a 1 GHz, que es el centro de la banda de RF. La guía de ondas está diseñada para manejar frecuencias más altas, de 100 MHz a 300 GHz. La superposición de frecuencias compartidas existe donde el cable coaxial llega a sus límites más altos y comienzan los límites más bajos de la guía de ondas.

#### **Pérdidas en el conductor**

Como la corriente pasa por una línea de transmisión, y ésta tiene una resistencia finita, hay una pérdida inherente e inevitable de potencia. A veces a esto se le llama pérdida en el conductor o pérdida por calentamiento del conductor, y es tan sólo una pérdida de la forma  $I^2R$ . Como la resistencia está distribuida en una línea de transmisión, la pérdida en el conductor es directamente proporcional a la longitud de la línea. También, ya que la disipación de potencia es directamente proporcional

al cuadrado de la corriente, la pérdida en el conductor es inversamente proporcional a la impedancia característica. Para reducir las pérdidas en el conductor no hay más que acortar la línea de transmisión o usar un alambre de mayor diámetro (téngase en cuenta que al cambiar el diámetro del alambre también cambia la impedancia característica y, en consecuencia, la corriente). La pérdida en el conductor depende algo de la frecuencia, debido a una acción llamada efecto de superficie. Cuando pasa la corriente por un alambre redondo aislado, el flujo magnético asociado con ella tiene la forma de círculos concéntricos. Se puede demostrar que la densidad de flujo cerca del centro del conductor es mayor que cerca de la superficie. Entonces, las líneas de flujo cercanas al centro del conductor encierran la corriente y reducen la movilidad de los electrones encerrados. Es una forma de autoinductancia, y hace que la inductancia cercana al centro del conductor sea mayor que en la superficie. Así, en las radiofrecuencias, la mayor parte de la corriente pasa por la superficie y no cerca del centro del conductor. Esto equivale a reducir el área transversal del conductor, y a aumentar la oposición al flujo de corriente (es decir, a aumentar la resistencia). La oposición adicional tiene ángulo de fase igual a  $0^\circ$ , y en consecuencia es una resistencia, y no una reactancia. Así, la resistencia en ca del conductor es proporcional a la raíz cuadrada de la frecuencia. La relación de la resistencia en ca entre la resistencia en cd de un conductor se llama relación de resistencias. Arriba de más o menos 100 MHz, se puede eliminar por completo el centro de un conductor, sin tener absolutamente efecto alguno sobre la pérdida en el conductor o la propagación de la onda electromagnética.

Las pérdidas en el conductor, en las líneas de transmisión, varía desde una fracción de decibel por 100 m en los cables coaxiales rígidos con dieléctrico de aire, hasta 200 dB por 100 m en una línea flexible de dieléctrico rígido. Tanto las pérdidas  $I^2R$  como las del dieléctrico son proporcionales a la longitud, con frecuencia se agrupan y se expresan en decibeles de pérdida por unidad de longitud, es decir, dB/m.

### **Pérdida por calentamiento del dieléctrico**

Una diferencia de potencial entre los dos conductores de una línea de transmisión causa el calentamiento del dieléctrico. El calor es una forma de energía que se debe tener en cuenta cuando se propaga energía por la línea. Para las líneas con dieléctrico de aire, la pérdida por calentamiento es despreciable. Sin embargo, con las líneas rígidas el calentamiento del dieléctrico aumenta con la frecuencia.

### **Pérdida por radiación**

Si la separación entre los conductores de una línea de transmisión es una fracción apreciable de una longitud de onda, los campos electrostático y electromagnético que rodean al conductor hacen que la línea funcione como si fuera una antena, y transfiera energía a cualquier material conductor cercano. La cantidad de energía irradiada depende del material dieléctrico, la distancia entre conductores y la longitud de la línea. Las pérdidas por radiación se reducen blindando el cable en

forma adecuada. Así, los cables coaxiales tienen menores pérdidas por radiación que las líneas de dos alambres paralelos. La pérdida por radiación también es proporcional a la frecuencia.

### **Pérdida por acoplamiento**

La pérdida por acoplamiento se presenta siempre que se hace una conexión con o de una línea de transmisión, o cuando se conectan dos tramos separados de línea de transmisión. Las conexiones mecánicas son discontinuidades, es decir, lugares donde se unen materiales distintos. Las discontinuidades se tienden a calentar, irradian energía y disipan potencia.

### **Efecto corona (o efecto de arco voltaico)**

El arco voltaico es una descarga luminosa que se produce entre dos conductores de una línea de transmisión, cuando la diferencia de potencial entre ellos es mayor que el voltaje de ruptura del dieléctrico aislante. En general, una vez que se produce el efecto de arco voltaico o efecto corona, la línea de transmisión se destruye.

## **Tipos de conectores coaxiales que hay y cual usar en diferentes cables**

### **Conector N.**

Son conectores roscados para cable coaxial, tienen una impedancia de  $50 \Omega$  y funcionan dentro de especificaciones frecuencia de 0 GHz a 11 GHz. Los hay machos y hembras.



Conector N macho

Conector N hembra

### **Conector SMA.**

Se llama SMA (SubMiniature version A) a un tipo de conector roscado para cable coaxial utilizado en microondas, tiene una impedancia de  $50 \Omega$ , útil hasta una frecuencia de 33 GHz, si bien suele dejar de utilizarse a partir de los 18 GHz, existen tipos diseñados para 26,5 GHz. Los hay machos y hembras.



Conector SMA Macho

Conector SMA hembra

### **RP-SMA.**

(RP = Reverse Polarity), con la tuerca en la hembra, lo suelen llevar las antenas Wi-Fi (conector hembra con rosca).



RP-SMA macho



RP-SMA hembra

### **Conector BNC.**

Es un tipo de conector, de rápida conexión/desconexión, con impedancia de  $50 \Omega$ , utilizado para cable coaxial, usado con cables coaxiales como RG-58 y RG-59 en aplicaciones de RF que precisaban de un conector rápido, apto para UHF y de impedancia constante a lo largo de un amplio espectro. Muy utilizado en equipos de radio de baja potencia, instrumentos de medición como osciloscopios, generadores, puentes, etcétera, por su versatilidad.



Conector BNC macho



Conector BNC hembra

### **Conector TNC.**

El conector TNC (Threaded Neill-Concelman) es una versión con rosca del conector BNC. Tiene una impedancia de  $50 \Omega$  y el margen de frecuencias preferible a las que opera hasta 11 GHz. A frecuencias de microondas tiene un mejor comportamiento que el BNC.



Conector TNC macho



Conector TNC hembra

### **Conector UHF.**

UHF (Ultra High Frequency), es una banda del espectro electromagnético que ocupa el rango de frecuencias de 300 MHz a 3 GHz. En esta banda se produce la propagación por onda espacial troposférica, con una atenuación adicional máxima de 1 dB si está despejado la primera zona de Fresnel.



Conector UHF hembra

Conector UHF macho

### **Conector QLA**

La serie QLA 00 contiene conectores con cierre rápido mecanismo de acoplamiento: la conexión se logra simplemente presionando el enchufe en el jack. Tres resortes de enganche se enganchan automáticamente, asegurando así los conectores acoplados contra las fuerzas axiales. No se requiere una acción de torsión. Los conectores se sueltan fácilmente tirando ligeramente hacia atrás de la funda externa del enchufe. Este mecanismo de acoplamiento proporciona un rápido y confiable conexión para aplicaciones de hasta 1.4 GHz.



### **Extra.**

#### **Conectores RJ-45.**

RJ45 es una interfaz física comúnmente utilizada para conectar redes de computadoras con cableado estructurado (categorías 4, 5, 5e, 6 y 6a). Posee ocho pines o conexiones eléctricas, que normalmente se usan como extremos de cables de par trenzado (UTP).



RJ-45 blindado

RJ-45 sin blindaje



El material con el que esté fabricado el cable coaxial está muy ligado a la calidad del mismo. Se distinguen entre el material conductor interior que es el núcleo del cable, también llamado vivo, y la malla de hilo trenzado que lo recubre.

Este es el material de fabricación por orden de calidad:

Cobre (Cu)

Cobre estañado (CuSn)

Acero cobreado (CCS)

Aluminio cobreado (CCA)

Aluminio (Al)

### **Oxidación en cables**

Los materiales están expuestos continuamente a los más diversos ambientes de interacción material-ambiente provoca, en muchos casos, la pérdida o deterioro de las propiedades físicas del material. Los mecanismos de deterioro son diferentes según se trate de materiales metálicos, cerámicos o polímeros (plásticos). Así, en el hierro, en presencia de la humedad y del aire, se transforma en óxido, y si el ataque continúa acaba destruyéndose del todo. Desde el punto de vista económico, la corrosión ocasiona pérdidas muy elevadas.

En los materiales metálicos, el proceso de deterioro se llama oxidación y corrosión. Por otro lado, en los cerámicos las condiciones para el deterioro han de ser extremas, y se habla también de corrosión. Sin embargo, la pérdida de las propiedades de los materiales polímeros se denomina degradación.

En el deterioro de materiales se pueden distinguir dos procesos:

1. Oxidación directa: Resulta de la combinación de los átomos metálicos con los de la sustancia agresiva. Ejemplos:

$2 \text{Fe} + \text{O}_2 \rightarrow 2 \text{FeO}$  (herrumbre-óxido) (oxidación por oxígeno como causa)

$\text{Fe} + \text{S} \rightarrow \text{FeS}$  (sulfuro) (oxidación por azufre como causa)

Esto lleva a que el metal, con el tiempo, pase de tener un estado libre (puro) a tener un estado combinado con otros elementos (óxidos, carbonatos, sulfatos...)

En este caso, los productos de la reacción quedan adheridos a la superficie del metal. En algunos casos, se forman películas protectoras que los aíslan del agente corrosivo. El caso más corriente es el ataque por oxígeno. En este caso, sobre el metal se forma una capa de óxido que, en algunos casos autoprotege al metal de una mayor oxidación.

Pero el oxígeno no es el único agente, pues también puede intervenir el cloro ( $\text{Cl}_2$ ), el azufre (S), el hidrógeno ( $\text{H}_2$ ), el monóxido de carbono (CO), el dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) ...

En los procesos de oxidación, los metales pasan de su estado elemental a formar iones positivos (cationes) por pérdida de electrones.

$M \rightarrow M^{n+} + ne^-$  siendo n el número de electrones que se pierden. A esta reacción se le llama reacción de oxidación o reacción anódica. El proceso de oxidación se acelera si la temperatura de eleva.

### **Corrosión electroquímica o corrosión en líquidos**

En este caso, el metal es atacado por un agente corrosivo en presencia de un un electrolito. (Un electrólito o electrolito es cualquier sustancia, normalmente líquida, que contiene iones libres, que se comportan como un medio conductor eléctrico. Normalmente un electrolito es una disolución, en la que el disolvente suele ser agua y el soluto otra sustancia).

El ejemplo más conocido es el agua del mar (el cloruro sódico es un agente corrosivo), que actúa como electrolito.

Los procesos de corrosión son procesos electroquímicos, ya que en la superficie del metal se generan “micropilas galvánicas” en las que la humedad actúa como electrolito. El metal actúa como ánodo (polo positivo) y, por lo tanto, se disuelve. Así, el electrolito actúa como medio conductor a través del cual viajan las cargas que abandonan los electrones del ánodo que se corroe, el metal.

Existe un tipo de corrosión de tipo electroquímico que aparece cuando se juntan metales diferentes o son conectados eléctricamente. Al producirse el contacto, el metal más electronegativo desempeña el papel de ánodo y, por tanto, sufre la corrosión.

Definiciones que aclaran las cosas:

- a) Ánodo: Metal que cede electrones y se corroe.
- b) Cátodo: Receptor de electrones.
- c) Electrolito: Líquido que está en contacto con el ánodo y el cátodo. Debe ser conductor eléctrico. Este líquido proporciona el medio a través del cual se asegura el desplazamiento de cargas eléctricas desde el ánodo hasta el cátodo.

Protección contra la oxidación y la corrosión

Impedir la corrosión implica impedir reacciones electroquímicas. Es decir, eliminar la posible presencia de un electrolito que actúe como medio conductor para facilitar una reacción de transferencia de electrones desde un metal anódico. Así, las soluciones podrían ser:

**a) Protección por recubrimiento:** Es decir, crear una capa o barrera que aisle el metal del entorno. Dentro de este tipo de protección se pueden hallar

- a) Recubrimientos no metálicos: siendo los más comunes...
  - Pinturas y barnices: Es económico y exige que la superficie esté limpia de óxidos y grasas
  - Plásticos: Son muy resistentes a la oxidación y son flexibles, pero apenas resisten el calor. El más empleado es el PVC.
  - Esmaltes y cerámicos: Tiene la ventaja de resistir las altas temperaturas y el desgaste.

b) Recubrimientos metálicos:

- Inmersión: Se recubre el metal a proteger en un baño de metal fundido. El metal al solidificarse forma una fina capa protectora. Los metales más empleados son...

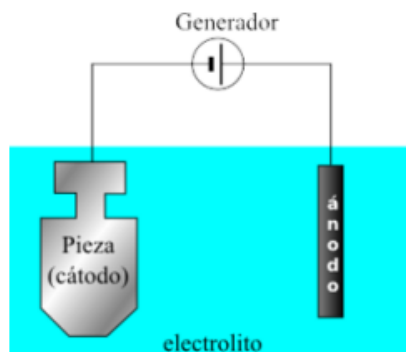
a) Estaño (la técnica se llama estañado): latas de conserva

b) Aluminio: (la técnica se llama aluminización): Es económico y con calidad.

c) Plomo: (la técnica se llama plombeado): Para recubrir cables y tuberías.

d) Cinc: (la técnica se llama galvanizado): Para vigas, vallas, tornillos y otros objetos de acero.

- Electrodeposición: En este caso se hace pasar corriente eléctrica entre dos metales diferentes que están inmersos en un líquido conductor que hace de electrolito. Uno de los metales será aquel que hará de ánodo, el cual se oxidará y sacrificará. El otro metal, el que se desea proteger, hará de cátodo y ambos estarán inmersos en el electrolito que estarán en una cuba. Cuando pasa la corriente eléctrica, sobre el metal catódico se crea una fina capa protectora hecha del material procedente del metal anódico, pues la pila obliga a ceder electrones al ánodo que alcanzarán al cátodo. Cuando el metal que hace de cátodo y se desea proteger, es acero y el otro que va a protegerlo (que hace de ánodo) es cinc, el proceso se llama galvanizado.



**b) Protección por capa química:** Se provoca la reacción de las piezas con un agente químico que forme compuestos en su superficie que darán lugar a una capa protectora.

Por ejemplo:

- Cromatizado: Se aplica una solución de ácido crómico sobre el metal a proteger. Se forma una capa de óxido de cromo que impide su corrosión.

- Fosfatación: Se aplica una solución de ácido fosfórico y fosfatos sobre el metal. Se forma una capa de fosfatos metálicos que la protegen del entorno.

**c) Protección catódica:** Se fuerza al metal a comportarse como un cátodo, suministrándole electrones. Se emplea otro metal que estará en contacto con el metal que se desea proteger, llamado "ánodo de sacrificio", el cual se corroe y acaba destruyéndose aportando electrones al metal. En definitiva, el metal "ánodo de sacrificio" se pone en contacto con el metal a proteger el cual recibe electrones del

primero. Se necesita la presencia de un electrolito. Se emplea mucho en tuberías enterradas.

**d) Inhibidores:** Se trata de añadir productos químicos al electrolito para disminuir la velocidad de la corrosión. Ejemplo: Sales de cromo. Se echan a los radiadores de los coches.

### Concepto de impedancia

La cantidad romana en negrita  $Z_R$ , que tiene tanto magnitud como un ángulo asociado, se denomina *impedancia* de un elemento resistivo. Se mide en ohms y es una medida de cuánto “impedirá” el elemento el flujo de carga a través de la red. El formato anterior probará ser una “herramienta” útil cuando las redes se vuelvan más complejas y las relaciones de fase menos obvias. Sin embargo, es importante observar que  $Z_R$  no es *un fasor*, aun cuando el formato  $R_{0^\circ}$  es muy similar a la notación fasorial para corrientes y voltajes senoidales. El término *fasor* está reservado para cantidades que varían con el tiempo, y  $R$  y su ángulo asociado de  $0^\circ$  son cantidades fijas que no varían.

$$Z_R = R \angle 0^\circ$$

### Impedancia en cables de Rf

Para transmitir adecuadamente señales de alta frecuencia, se requiere de un medio de transmisión que pueda manejar la compleja interacción entre resistencia, inductancia y capacitancia. En la mayoría de los casos, lo que se utiliza es cable coaxial. El cable coaxial se compone de 3 principales partes. Al centro se tiene lo que se conoce como el conductor, puede ser sólido o de alambre trenzado, típicamente de una combinación de aluminio y cobre.

Alrededor del centro conductor, se encuentra el dieléctrico que se encarga de mantener al centro conductor aislado, y en su posición normalmente es de alguna mezcla de plásticos o espuma. Finalmente, en la parte exterior se tiene el blindaje, usualmente compuesto por una combinación de papel de aluminio o una malla trenzada. El blindaje a su vez se encuentra cubierto por algún material, como PVC para protegerlo del ambiente.

Ya que no todos los cables son fabricados de la misma forma, es ahí donde las impedancias (expresadas en Ohm) entran en juego, las cuales son determinadas por las características físicas del cable.

## Diferencias entre impedancias de 50Ω y 75Ω

A lo largo del tiempo, la industria ha definido dos tipos de impedancias en los cables usados para la mayoría de las aplicaciones: 50 y 75 Ohm. Los cables coaxiales de 50 Ohm se pueden definir como la mejor opción para soluciones que demandan potencias altas, por ejemplo 50 o 100 W.

Como regla, se puede definir que para cualquier dispositivo que funcione como transmisor o receptor, tenderá a usar cable de 50 Ohm, esto incluye dispositivos como radios, transmisores de TV, Wi-Fi, celular y sistemas de radiocomunicación de 2 vías. Sin embargo, no en todos los casos se requerirá del manejo de altas potencias, por lo que los cables de 50 Ohm no son apropiados para todo tipo de aplicaciones.

Cuando el objetivo es asegurar que la señal que pasa a través del cable sea lo más eficiente posible con la menor pérdida posible, el cable de 75 Ohm es la opción recomendada, y como regla general a seguir, podemos definir que cuando el equipo a conectar es un receptor de algún tipo como AM, FM o televisión, el cable coaxial de 75 Ohm es el ideal.

Gracias a su baja pérdida y baja capacitancia, los cables de 75 Ohm son la opción más efectiva para prácticamente todas las aplicaciones de audio, video y señales de audio digitales. Es por eso que todas las empresas de TV, aplicaciones de comunicación satelital y antenas de HDTV los utilizan.

## Ruido y atenuación

### Ruido

Se define al ruido eléctrico como cualquier energía eléctrica indeseable que queda entre la banda de paso de la señal. Por ejemplo, en la grabación de audio se consideran como ruido todas las señales eléctricas no deseadas que están dentro de la banda de frecuencias de audio, de 0 a 15 kHz, que interfieren con la música.

Se puede clasificar al ruido en dos categorías: correlacionado y no correlacionado. La correlación implica una relación entre la señal y el ruido. Por consiguiente, el ruido correlacionado sólo existe cuando hay una señal. Por otra parte, el ruido no correlacionado está presente siempre, haya o no una señal.

La relación de potencia de señal a ruido, S/N (de signal-to-noise), es el cociente del valor de la potencia de la señal entre el valor de la potencia del ruido. Matemáticamente se expresa como sigue

$$\frac{S}{N} = \frac{P_s}{P_n}$$

en la cual  $P_s$  = potencia de la señal (watts)  
 $P_n$  = potencia del ruido (watts)

### Fuentes de ruido eléctrico

- Ruido correlacionado (interno)
    - Distorsión no lineal
      - Distorsión armónica
      - Distorsión por intermodulación
  - Ruido no correlacionado
    - Externo
      - Atmosférico
      - Extraterrestre
      - Solar
      - Cósmico
      - Causado por el hombre
      - Pulso
      - Interferencia
    - Interno
      - Térmico
      - Disparo
      - Tiempo de tránsito
- 

### **Atenuación**

La ley del cuadrado inverso de la radiación describe en forma matemática la reducción de densidad de potencia con la distancia a la fuente. A medida que se aleja un frente de onda de la fuente, el campo electromagnético continuo que irradia la fuente se dispersa. Esto es, las ondas se alejan cada vez más entre sí y, en consecuencia, la cantidad de ondas por unidad de área es menor. No se pierde o disipa nada de la potencia irradiada, porque el frente de onda se aleja de la fuente; la onda sólo se extiende, o se dispersa, sobre un área mayor y disminuye la densidad de potencia.

La reducción de densidad de potencia con la distancia equivale a una pérdida de potencia, y se suele llamar atenuación de la onda. Como la atenuación se debe a la dispersión esférica de la onda, a veces se le llama atenuación espacial de la onda.

## Refracción

La refracción electromagnética es el cambio de dirección de un rayo al pasar en dirección oblicua de un medio a otro con distinta velocidad de propagación. La velocidad a la que se propaga una onda electromagnética es inversamente proporcional a la densidad del medio en el que lo hace. Por consiguiente, hay refracción siempre que una onda de radio pasa de un medio a otro de distinta densidad. La figura muestra la refracción de un frente de onda en una frontera plana entre dos medios con distintas densidades. Para este ejemplo, el medio 1 es menos denso que el medio 2, por lo que  $v_1 > v_2$ . Se puede ver que el rayo A entra al medio más denso antes que el rayo B. Así, el rayo B se propaga con más rapidez que el rayo A, y viaja la distancia B-B' durante el mismo tiempo que el rayo A recorre la distancia A-A'. Por consiguiente, el frente de onda A'B' se inclina o se dobla hacia abajo. Como un rayo se define como perpendicular al frente de onda en todos los puntos de éste, los rayos de la fig. 9-5 cambiaron de dirección en la interfase entre los dos medios.

$$n = \frac{c}{v}$$

en la que  $n$  = índice de refracción (adimensional)  
 $c$  = velocidad de la luz en el espacio libre ( $3 \times 10^8$  m/s)  
 $v$  = velocidad de la luz en determinado material (metros por segundo)

Siempre que un rayo pasa de un medio menos denso a uno más denso, se dobla hacia la normal. La normal no es más que una línea imaginaria, trazada perpendicular a la interfase en el punto de incidencia. Al revés, siempre que un rayo pasa de un medio más denso a uno menos denso se dobla alejándose de la normal. El ángulo de incidencia es el que forman la onda incidente y la normal, y el ángulo de refracción es el que forman la onda refractada y la normal. El grado de reflexión o refracción que hay en la interfase entre dos materiales de distintas densidades es bastante predecible, y depende del índice de refracción de cada material. El índice de refracción no es más que la relación de la velocidad de propagación de la luz en el espacio vacío entre la velocidad de propagación de la luz en determinado material, es decir,

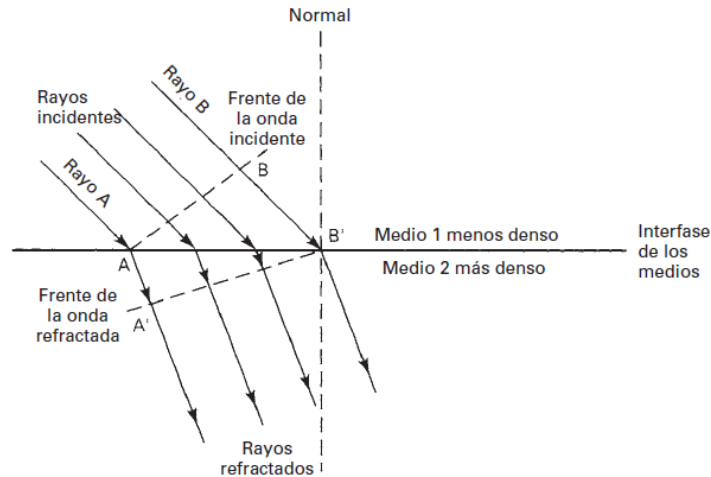


FIGURA Refracción en una frontera plana entre dos medios

El índice de refracción también es una función de la frecuencia. Sin embargo, en la mayoría de las aplicaciones la variación es insignificante y, en consecuencia, se omitirá de esta descripción. La forma en que reacciona una onda electromagnética cuando llega a la interfase entre dos materiales transmisores que tienen distintos índices de refracción se describe con la ley de Snell.

La ley de Snell establece que

$$n_1 \text{ sen } \theta_1 = n_2 \text{ sen } \theta_2$$

y

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

en donde  $n_1$  = índice de refracción del material 1  
 $n_2$  = índice de refracción del material 2  
 $\theta_1$  = ángulo de incidencia (grados)  
 $\theta_2$  = ángulo de refracción (grados)

y como el índice de refracción de un material es igual a la raíz cuadrada de su constante dieléctrica,

$$\frac{\text{sen } \theta_1}{\text{sen } \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_{r2}}{\epsilon_{r1}}}$$

donde  $\epsilon_{r1}$  = constante dieléctrica del medio 1  
 $\epsilon_{r2}$  = constante dieléctrica del medio 2



## Reflexión

Reflejar quiere decir regresar, y la reflexión es el acto de reflejar. La reflexión electromagnética se presenta cuando una onda incidente choca con una frontera entre dos medios, y algo o toda la potencia incidente no entra al segundo material. Las ondas que no penetran al segundo medio se reflejan. Como todas las ondas reflejadas permanecen en el medio 1, las velocidades de las ondas incidente y reflejada son iguales. En consecuencia, el ángulo de reflexión es igual al ángulo de incidencia,

$\theta_i = \theta_r$ . Sin embargo, la intensidad del campo del voltaje reflejado es menor que la del voltaje incidente.

La relación de las intensidades de voltaje reflejado a incidente se llama coeficiente de reflexión,  $\Gamma$ . Para un conductor perfecto,  $\Gamma=1$ . Se usa  $\Gamma$  para indicar tanto la amplitud relativa de los campos incidente y reflejado, como el desplazamiento de fase que hay en el punto de reflexión.

También se produce reflexión cuando la superficie reflectora es irregular o áspera; sin embargo, esa superficie puede destruir la forma del frente de onda. Cuando un frente de onda incidente choca con una superficie irregular, se dispersa al azar en muchas direcciones. A esa condición se le llama reflexión difusa, mientras que a la reflexión de una superficie perfectamente lisa se llama reflexión especular (como de espejo). Las superficies que caen entre lisas e irregulares se llaman superficies semiásperas. Esas superficies causan una mezcla de reflexión difusa y especular. Una superficie semiáspera no destruye en su totalidad la forma del frente de onda reflejado. Sin embargo, hay una reducción de la potencia total.

## Difracción

Se define a la difracción como la modulación o redistribución de la energía dentro de un frente de onda, al pasar cerca de la orilla de un objeto opaco. La difracción es el fenómeno que permite que las ondas luminosas o de radio se propaguen en torno a esquinas. En la descripción anterior de la refracción y la reflexión se supuso que las dimensiones de las superficies refractora y reflectora eran grandes con respecto a una longitud de onda de la señal. Sin embargo, cuando un frente de onda pasa cerca de un obstáculo o discontinuidad cuyas dimensiones sean de tamaño comparable a una longitud de onda, no se puede usar el análisis geométrico simple para explicar los resultados, y es necesario recurrir al principio de Huygens, que se puede deducir de las ecuaciones de Maxwell.

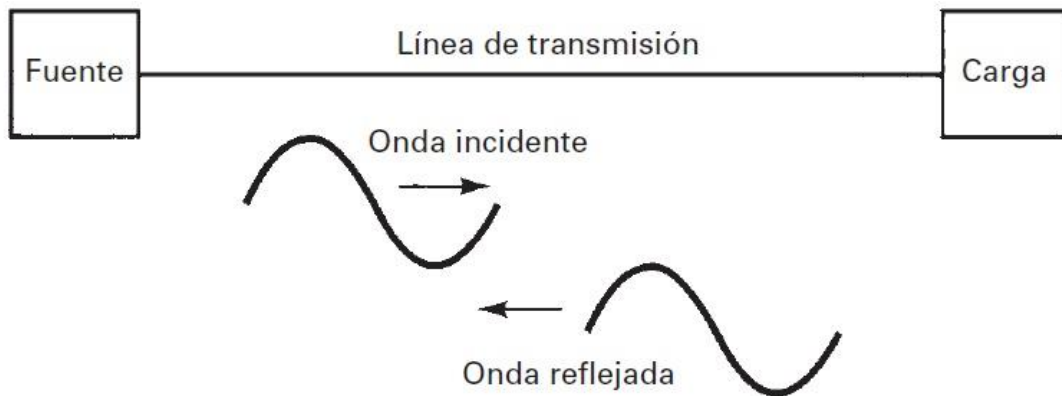
El principio de Huygens establece que todo punto sobre determinado frente de onda esférico se puede considerar como una fuente puntual secundaria de ondas electromagnéticas, desde la cual se irradian y se alejan otras ondas secundarias. El principio de Huygens se ilustra en la figura. En la figura se muestra la propagación normal de ondas considerando un plano infinito. Cada fuente puntual secundaria

( $p_1$ ,  $p_2$ , etc.) irradia energía hacia afuera, en todas direcciones. Sin embargo, el frente de onda sigue en su dirección original, y no se reparte, porque la anulación de ondas secundarias se hace en todas direcciones, excepto en la de avance. Por lo anterior, el frente de onda permanece plano.

### **Reflexión → factor de potencia reflejada**

Una línea de transmisión ordinaria es bidireccional: la energía se puede propagar por igual en ambas direcciones. El voltaje que se propaga desde la fuente hacia la carga se llama voltaje incidente, y el que se propaga de la carga hacia la fuente se llama voltaje reflejado. De igual manera hay corrientes incidente y reflejada. En consecuencia, la potencia incidente se propaga hacia la carga, y la potencia reflejada se propaga hacia la fuente. El voltaje y la corriente incidentes siempre están en fase cuando la impedancia es de carácter resistivo. En una línea infinitamente larga, toda la potencia incidente se almacena en ella, y no hay potencia reflejada. También, si la línea se termina en una carga puramente resistiva igual a la impedancia característica de la línea, la carga absorbe toda la potencia incidente (suponiendo que la línea no tenga pérdidas). Para contar con una definición más práctica, la potencia reflejada es la parte de la potencia incidente que no absorbió la carga. En consecuencia, la potencia reflejada nunca puede ser mayor que la potencia incidente.

Una línea de transmisión sin potencia reflejada se llama línea plana o no resonante. Una línea de transmisión es no resonante si su longitud es infinita o si termina en una carga resistiva igual al valor óhmico de su impedancia característica. En una línea plana, el voltaje y la corriente son constantes en toda su longitud, si se supone que no tiene pérdidas. Cuando la carga no es igual a la impedancia característica de la línea, algo de la potencia se refleja y va hacia la fuente. Si la carga es un circuito cerrado o abierto, toda la potencia incidente se refleja hacia la fuente. Si se sustituyera la fuente por una abertura y un corto y la línea fuera sin pérdidas, la energía presente en ella se reflejaría de un lado a otro (oscilaría) entre los extremos de la fuente y la carga, de modo parecido a cuando la energía va y viene entre el capacitor y el inductor de un circuito tanque LC. A esto se le llama línea de transmisión resonante. En una línea resonante, la energía es transferida en forma alternativa entre los campos magnéticos y eléctricos de la inductancia y la capacitancia distribuida de la línea. La figura muestra una fuente, una línea de transmisión y una carga, con sus respectivas ondas incidente y reflejada.



**FIGURA** Fuente, carga, línea de transmisión y sus correspondientes ondas incidente y reflejada

La relación de las densidades de potencia reflejada a incidente es  $\Gamma$ . La parte de la potencia incidente total que no es reflejada se llama coeficiente de transmisión de potencia,  $T$ , o simplemente el coeficiente de transmisión. Para un conductor perfecto,  $T = 0$ . La ley de la conservación de la energía establece que, para una superficie reflectora perfecta, la potencia total reflejada debe ser igual a la potencia total incidente y, en consecuencia,

$$T + |\Gamma|^2 = 1$$

El coeficiente de reflexión es una cantidad vectorial que representa la relación del voltaje reflejado entre el voltaje incidente, o la corriente reflejada entre la corriente incidente. La definición matemática del coeficiente de reflexión, representado por la gamma mayúscula  $\Gamma$ , es

$$\Gamma = \frac{E_r}{E_i} \text{ o } \frac{I_r}{I_i} \quad \text{reflexión (adimensional)}$$

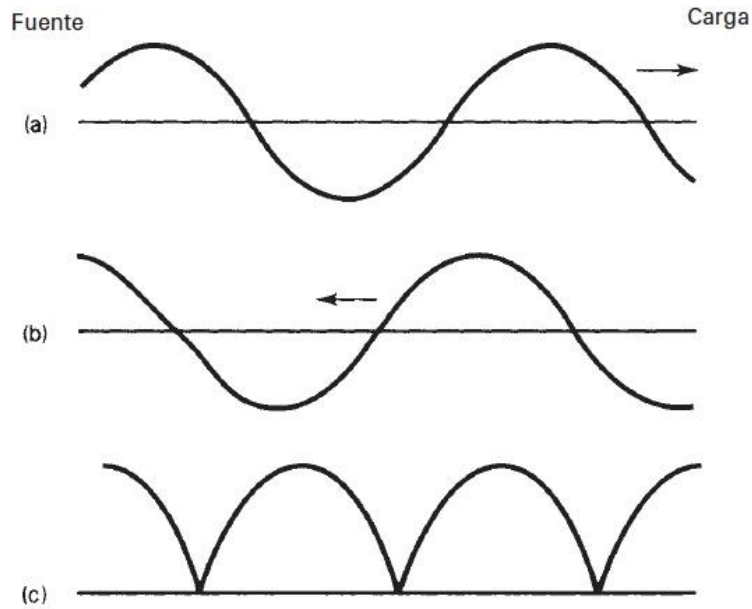
siendo  $\Gamma$  = coeficiente de

$E_i$  = voltaje incidente (volts)

$E_r$  = voltaje reflejado (volts)

$I_i$  = corriente incidente (amps)

$I_r$  = corriente reflejada (amps)



**FIGURA** — Formación de una onda estacionaria en una línea de transmisión: (a) onda incidente; (b) onda reflejada; (c) onda esta-

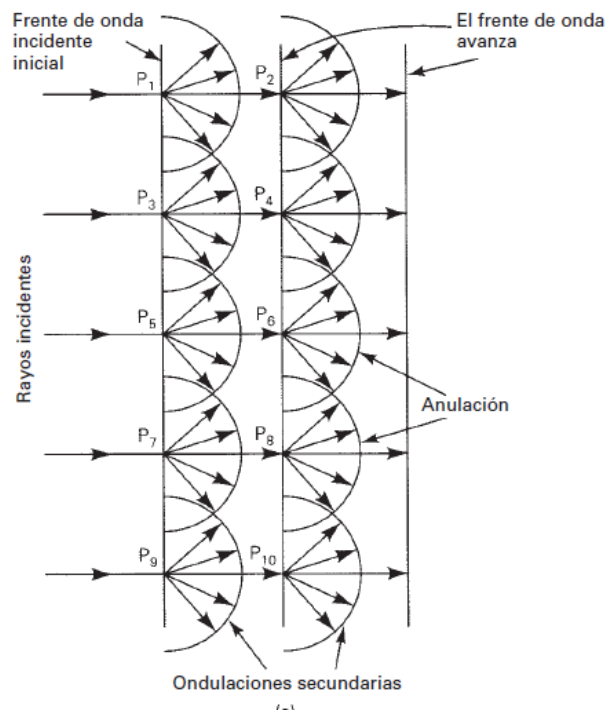
En la ecuación anterior se ve que el valor máximo, y el peor de los casos para  $\Gamma = 1$ , cuando  $E_r = E_i$ , y el valor mínimo, y de condición ideal, es cuando  $\Gamma = 0$  ( $E_r = 0$ ).

### Verificación de calibración de reflexión

Una cuestión fundamental en la calibración en generadores es que existe una potencia máxima disponible en el generador la cual es diferente de la potencia transferida del generador al medidor. Esta potencia transferida puede cambiar de un medidor a otro aun cuando estos se conecten al mismo generador. Esto se debe a que el generador puede interactuar de manera diferente con un generador y con otro, esta interacción se conoce como desacoplamiento y es un factor de corrección que debe aplicarse en las calibraciones de potencia. El factor de corrección por desacoplamiento depende básicamente de los coeficientes de reflexión de salida de los generadores y del coeficiente de reflexión de entrada del sensor. Es un término complejo ya que los coeficientes de reflexión lo son. De ahí la importancia de que, en la calibración de un medidor de potencia y su sensor, se determine también el coeficiente de reflexión de entrada. Si no se dispone del valor calibrado de coeficiente de reflexión, pueden emplearse las especificaciones del fabricante, generalmente dadas en términos de VSWR (voltaje standing wave ratio) máximo, pero esto sólo permite hacer una estimación de los errores máximos esperados que deben traducirse en componentes de incertidumbre. Por otra parte, generalmente las especificaciones son muy holgadas, lo cual lleva a una sobrestimación de dichas componentes de incertidumbre.

## Polaridad de antena

La polarización de una antena no es más que la orientación del campo eléctrico que se irradia de ella. Una antena puede estar polarizada linealmente (en general, horizontal o verticalmente, suponiendo que los elementos de la antena están en un plano horizontal o en uno vertical), elípticamente o circularmente. Si una antena irradia una onda electromagnética verticalmente polarizada, se define a la antena como verticalmente polarizada (o polarizada verticalmente). Si una antena irradia una onda electromagnética horizontalmente polarizada, se dice que la antena está polarizada horizontalmente; si el campo eléctrico gira describiendo una elipse, está elípticamente polarizada; si el campo eléctrico gira en forma circular, está circularmente polarizada.



La figura muestra las diversas polarizaciones que se acaban de describir.

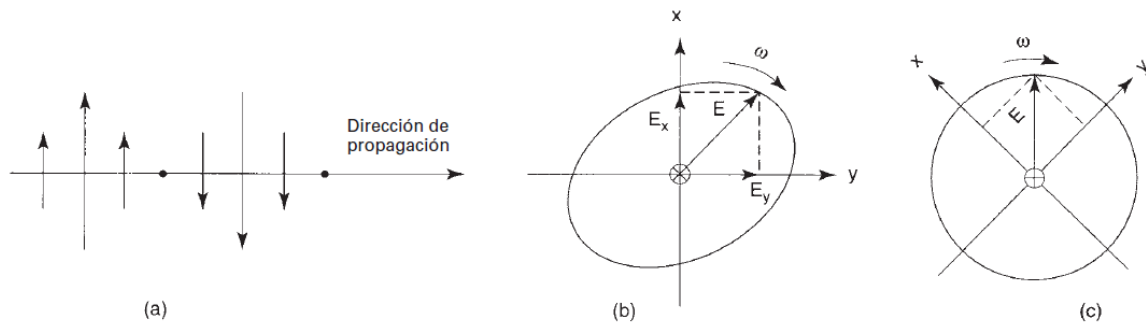


FIGURA Polarizaciones de antena: (a) lineal; (b) elíptica; (c) circular

Las componentes lejanas del campo eléctrico  $E$  y del campo magnético  $H$  son perpendiculares a la dirección de radiación, pero pueden tener una dirección arbitraria en el plano perpendicular a esa dirección y en general tendrán componentes theta (de inclinación) y componentes phi (acimutales). El campo eléctrico producido por una antena lineal situada a lo largo del eje  $z$  tiene solo componente theta, y en el plano  $x, y$ , solo tiene componente  $E_z$  en coordenadas cartesianas. Se dice entonces que la onda está polarizada en la dirección  $z$ . En general, si existe componente  $E_y$  y está en fase con la componente  $E_z$ , la onda electromagnética vista desde el eje  $x$  tendrá una polarización lineal en una dirección del plano  $y, z$ . Si las componentes están desfasadas  $90^\circ$ , entonces se producirá la polarización elíptica y si tienen iguales magnitudes, se producirá la polarización circular. En estas últimas polarizaciones el vértice del vector de campo eléctrico en un punto fijo del eje  $x$  varía con el tiempo trazando una elipse o una circunferencia en sentido horario o en sentido anti horario. Si suponemos una antena transmisora lineal a lo largo del eje  $z$  y que la antena receptora, situada en el eje  $x$ , es también lineal, pero está desviada un ángulo  $\alpha$  con relación a la vertical, en los terminales de esta última solo aparecerá la tensión generada por la componente del campo  $E_z \cos \alpha$ . Esto significa que se produce una pérdida por desadaptación de la polarización y, por lo tanto, dicha pérdida afectará a la potencia recibida en un factor  $\rho = \cos^2 \alpha$ .

De igual forma se producen pérdidas por desadaptación de la polarización en el caso de la polarización elíptica si no hay una orientación correcta de los ejes mayor y menor de la elipse, incluso se anula (en teoría) la potencia recibida cuando la antena no tiene el mismo sentido de giro que la onda incidente, tanto para la polarización elíptica como para la polarización circular.

### **Multiplexor**

Multiplexado es la transmisión de información (en cualquier forma) de más de una fuente a más de un destino a través del mismo medio de transmisión. Aunque las transmisiones sucedan en la misma instalación, no necesariamente suceden al mismo tiempo. El medio de transmisión puede ser un par de alambres metálicos, un cable coaxial, un teléfono móvil PCS, un sistema de microondas terrestres de radio, uno de microondas satelitales o un cable de fibra óptica. Hay varios dominios en los que puede hacerse el multiplexado, incluyendo espacio, fase, tiempo, frecuencia y longitud de onda. El multiplexado por división de espacio (SDM, de space division multiplexing) es una forma bastante sencilla de multiplexar, que sólo consiste en propagar señales de distintas fuentes por distintos cables, que están contenidos en la misma cepa.

Se considera que la cepa es el medio de transmisión. La manipulación QPSK es una forma de multiplexado por división de fase (PDM, de phase-division multiplexing) en la que dos canales de datos (el I y el Q) modulan la misma frecuencia de portadora, que se ha desplazado  $90^\circ$  en fase. Así, los bits del canal I modulan una onda senoidal portadora, mientras que los bits del canal Q modulan una onda portadora cosenoidal. Después de haberse hecho la modulación, se combinan linealmente las portadoras I y Q y se propagan al mismo tiempo por el medio de transmisión, que puede ser un cable o el espacio libre.

Los tres métodos más predominantes para multiplexar señales son el de multiplexado por división de tiempo (TDM, de time-division multiplexing), por división de frecuencia (FDM, de frequency-division multiplexing) y el desarrollado en fecha más reciente, por división de longitud de onda (WDM, de wavelength-division multiplexing).

### **Demultiplexor**

Es un circuito combinacional que tiene una entrada de información de datos  $d$  y  $n$  entradas de control que sirven para seleccionar una de las  $2^n$  salidas, por la que ha de salir el dato que presente en la entrada. Esto se consigue aplicando a las entradas de control la combinación binaria correspondiente a la salida que se desea seleccionar. Por ejemplo, si queremos que la información que tenemos en la entrada  $d$ , salga por la salida  $S_4$ , en la entrada de control se ha de poner, de acuerdo con el peso de la misma, el valor 100, que es el 4 en binario.

En el campo de las telecomunicaciones el demultiplexor es un dispositivo que puede recibir a través de un medio de transmisión compartido una señal compleja multiplexada y separar las distintas señales integrantes de la misma encaminándolas a las salidas correspondientes.

### **Filtros activos**

Una aplicación muy común utiliza amplificadores operacionales para construir circuitos de filtros activos. También se puede construir un circuito de filtrado utilizando componentes pasivos como resistores y capacitores. Un filtro activo utiliza adicionalmente un amplificador que amplifica el voltaje y aísla o acopla la señal.

Los filtros se clasifican en primer lugar por su función y en segundo lugar por la brusquedad con la que se atenúan las frecuencias fuera del rango. En las gráficas logarítmicas, esto da una línea recta, que empieza a decaer en la frecuencia de corte con otra línea recta, y la pendiente de esta recta es lo que marca el orden del filtro.

Es importante mencionar que los filtros no se diseñan para mantener un ángulo de fase constante a la frecuencia de corte, es por ello que un filtro básico de pasa bajas de  $-20$  dB / década tiene un ángulo de fase de  $-45^\circ$  a su frecuencia de corte. Un

filtro de  $-40 \text{ dB / década}$  tiene un ángulo de fase de  $-90^\circ$  a su frecuencia de corte y un filtro de  $-60 \text{ dB / década}$  tiene un ángulo de fase de  $-135^\circ$  a su frecuencia de corte. En cada aumento de  $-20 \text{ dB / década}$  se nombran a los filtros de primer, segundo y tercer orden respectivamente.

### Pasa bajas

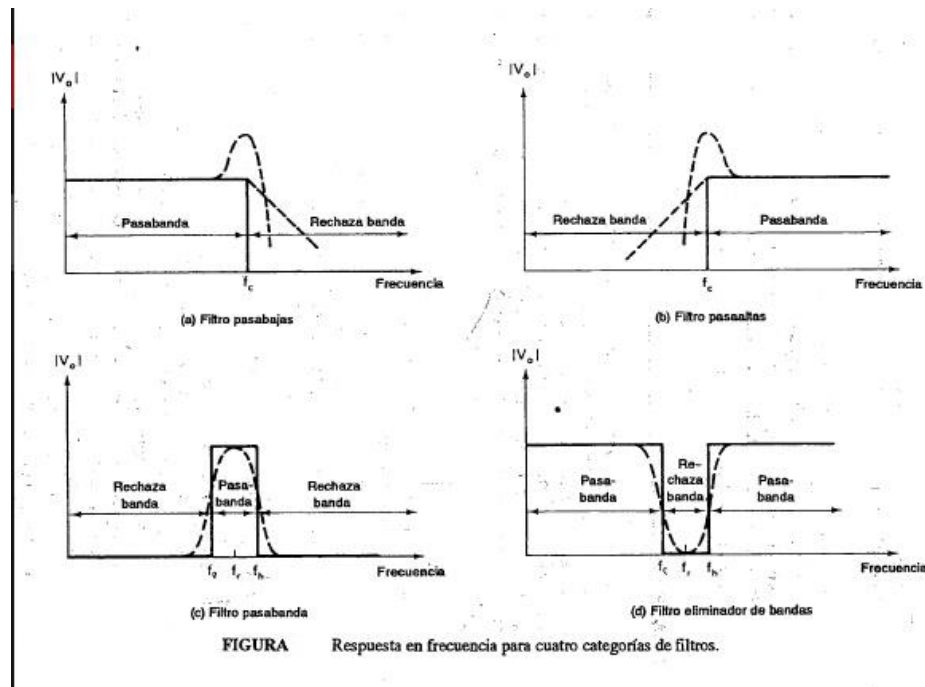
Un filtro que proporciona una salida constante desde  $\omega = 0$  hasta una frecuencia de corte  $f_{OH}$  y que luego no permite que pase ninguna señal por arriba de dicha frecuencia, se conoce como filtro pasa bajas ideal. La respuesta ideal de un filtro pasobajas se muestra en la figura (a).

### Pasa altas

Un filtro que proporciona o deja pasar señales por arriba de una frecuencia de corte  $f_{OL}$  es un filtro pasa altas, idealizado en la figura (b).

### Pasa banda

Cuando el circuito de filtro deja pasar señales por arriba de una frecuencia de corte ideal y por debajo de una segunda frecuencia de corte se llama filtro pasa banda, idealizado en la figura (c). el filtro rechaza banda se comporta exactamente de manera opuesta; esto es, rechaza una banda específica de frecuencia mientras que pasa todas las que se encuentran fuera de ella (d).



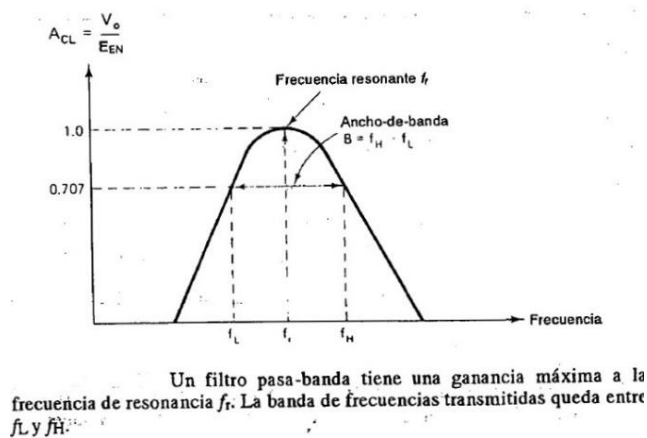
Para un filtro pasa bajos son incrementos de  $-20 \text{ dB / década}$ , pero para los filtros paso altos es completamente lo opuesto, es decir, los incrementos son de  $+20 \text{ dB / década}$  y para el de primer orden de  $20 \text{ dB / década}$  el ángulo de fase es  $45^\circ$  a su frecuencia de corte. El ángulo de fase a la frecuencia de corte aumenta  $+45^\circ$  por cada aumento de  $20 \text{ dB / década}$ . El diseño de filtro pasa alto es similar a diseño de



los filtros pasa bajo, de hecho, la única diferencia es la posición de los capacitores y las resistencias de filtrado, y de la misma manera existen de primer, segundo y tercer orden por cada incremento de 20 dB/ década.

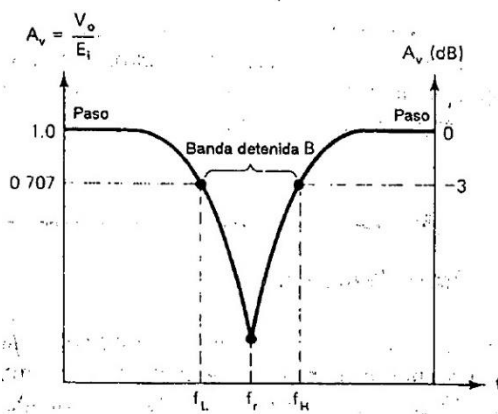
Ahora un filtro pasa bandas es un selector de frecuencias, es decir, permite seleccionar o pasar únicamente una banda particular de frecuencias de entre otras que pueden estar presentes en un circuito, este tipo de filtro posee una ganancia máxima a una frecuencia resonante  $f_r$  y lo que está entre  $f_L$  y  $f_H$  se conoce como ancho de banda.

Los tipos de filtros pasa banda que existen son el filtro pasa banda de banda ancha y el filtro pasa banda de banda angosta con sus características electrónicas particulares.



### Rechaza banda

Por último, el filtro rechaza banda o filtro de muesca es llamado así por la forma peculiar de su curva en respuesta a frecuencia. Las frecuencias indeseables quedan atenuadas en la banda de detención B. las frecuencias deseadas son transmitidas en la pasa banda que está a ambos lados de la muesca.



**FIGURA** Un filtro de muesca transmite las frecuencias en la banda pasante y rechaza las frecuencias indeseables en la banda de detención.

Casi siempre los filtros de muesca tienen una ganancia unitaria en la pasa banda o de 0 dB. Las ecuaciones para Q, B,  $f_r$ ,  $f_H$  y  $f_L$  son idénticas a las del filtro pasa banda asociado.

## Filtros pasivos

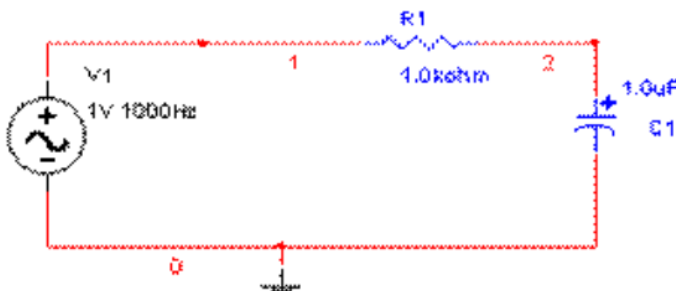
Estos filtros son, cronológicamente, los primeros que se desarrollaron, ya que a principios del siglo XX no existían elementos activos, o estos eran muy caros y voluminosos. Por este motivo, gran parte de la teoría clásica de filtros está desarrollada apuntando directa o indirectamente a la configuración RLC.

La utilización de más de un tipo de elementos (R, L, C) es necesaria para obtener funciones de transferencia V-V ó I-I que tengan comportamiento dinámico. La utilización sólo de resistencias y condensadores (o sólo resistencias y bobinas) no permite la obtención de funciones de transferencia con polos complejos. Los polos complejos (factores de calidad altos) son necesarios para obtener buenas características de filtrado (rápidas transiciones de magnitud). La utilización de sólo bobinas y condensadores no permite obtener polos fuera del eje imaginario, por lo que sería imposible realizar funciones de transferencia asintóticamente estables. Por estos motivos, los filtros pasivos deben emplear (salvo casos particulares muy simples) simultáneamente elementos R, L y C.

La utilización de “resistencias” viene además impuesta en cierta manera por la impedancia resistiva (o parcialmente resistiva) que presentan la mayoría de las “fuentes de señal” o generadores (por ejemplo, un micrófono, una antena, o una línea de transmisión) y de las impedancias de entrada de algunos elementos de carga o “actuadores” (por ejemplo, un altavoz, una antena o una línea de transmisión). Estos elementos (fuente de excitación con su impedancia de salida, y elemento de carga con su impedancia de entrada) son parte del circuito en todos los casos, y, por tanto, existirán componentes resistivas en el mismo.

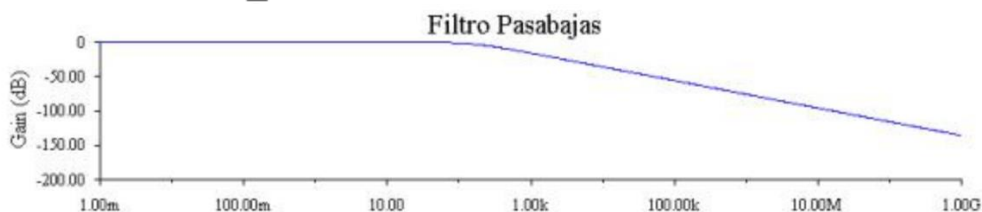
### Filtro pasa bajas

Es el primer filtro que se tiene, su funcionamiento es a base de un capacitor y resistencia, este filtro tiene la siguiente configuración:



Su funcionamiento es el siguiente:

El capacitor se comporta como una resistencia dependiente de la frecuencia por la relación de :



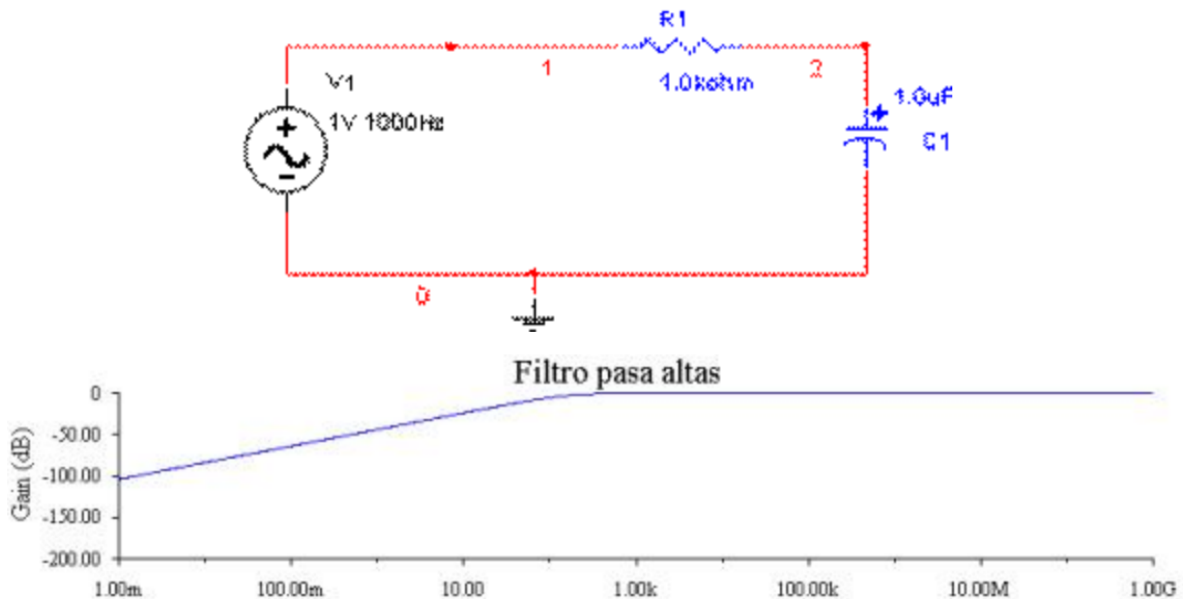
Es decir, para frecuencias muy bajas el capacitor (por la regla de división de voltaje) al ser una resistencia muy alta, consume todo el voltaje, si se conecta la salida en paralelo al capacitor se tendrá el máximo de voltaje a la salida. Conforme se aumente la frecuencia de la fuente el capacitor disminuye su impedancia, con lo que el voltaje que disipa disminuye, hasta tender a cero.

### Filtro pasa altas

Este es el segundo de los filtros pasivo, el único cambio que presenta es la conexión de la salida, la cual en vez de tomarse del capacitor se toma de la resistencia lo cual nos provoca que en vez de dejar “pasar” las frecuencias bajas pasen las frecuencias altas.

Como ya se mencionó el circuito físicamente es igual que el anterior, solamente la salida se toma de la resistencia.

Cuando la frecuencia es demasiado baja, el voltaje se consume casi en su totalidad en el capacitor, el cual se comporta como una impedancia de valor muy alto, por lo que en la salida no se tiene casi voltaje, cuando la frecuencia aplicada es aumentada se tiene que el valor de la impedancia representada por el capacitor disminuye hasta que casi no consume voltaje, y la mayoría del voltaje se tiene a la salida.



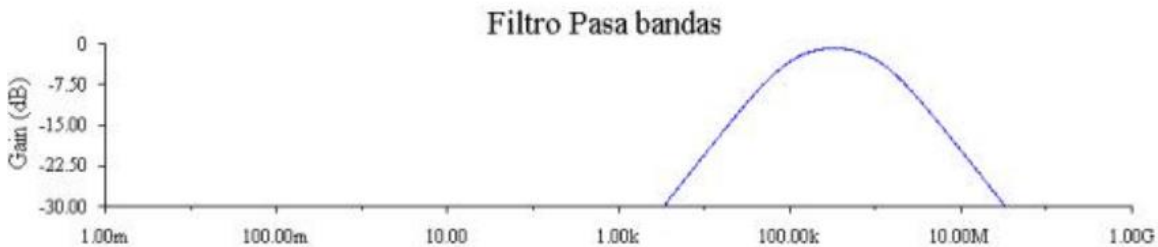
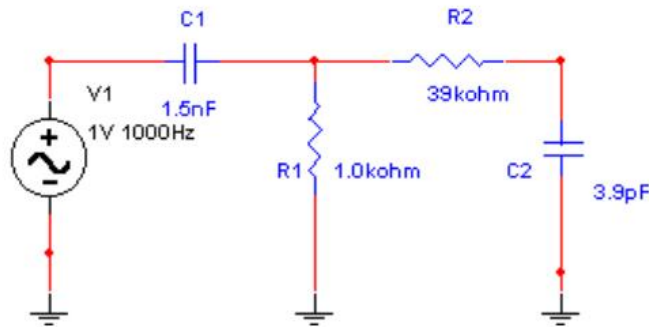
Estos dos filtros tienen un valor llamado frecuencia de corte, la cual es el valor de la frecuencia a partir del cual se considera que ya está filtrando las señales. Esta frecuencia está determinada como la frecuencia en la que el valor de la salida con respecto a la entrada tiene una atenuación de -3dB. (o la salida es .707 del valor de la entrada).

Dependiendo de los valores elegidos de resistencia y capacitancia será el valor de la frecuencia de corte. Pero, para una resistencia fija, el valor de la frecuencia de corte depende del valor del capacitor.

### Filtro pasa bandas

Este es un filtro que se compone de un filtro pasa bajas y uno pasa altas conectados en cascada. Los componentes se deben de seleccionar para que la frecuencia de corte del filtro pasa bajas sea menor que la del filtro pasa altas.

La característica más importante de este circuito es el ancho de banda que se permitirán pasar, el ancho de banda es igual a la resta de las frecuencias de corte.



De la misma manera que con los filtros activos los filtros pasivos se clasifican en primer, segundo y tercer orden dependiendo de la naturaleza de los componentes y las disposiciones electrónicas de los mismos, y se pueden usar para diversas aplicaciones dependiendo de con cuanta efectividad se requiera filtrar la señal y en que frecuencias sea necesario.

Es fácil constatar que existe una relación directa entre el orden de un filtro y el número de condensadores y bobinas efectivos del circuito. El circuito RLC en su configuración más simple (serie o paralelo) constituirá un filtro de 2º orden, es decir, aparecerá un término cuadrático en  $j\omega$  en el denominador de la función de transferencia del circuito.

Cuando una pareja bobina-condensador se encuentra en serie, existe una frecuencia para la cual su impedancia total (suma de las dos) se anula: es la frecuencia de resonancia. Entonces dicha configuración equivale a un cortocircuito

entre sus terminales. Esto no significa que no haya tensión en cada componente, sino que la tensión en la bobina es idéntica, pero de signo opuesto a la del condensador, anulándose entre ambas.

Cuando una bobina y un condensador se encuentran en paralelo, existe una frecuencia para la cual su impedancia total es infinita: es la frecuencia de resonancia. Entonces dicha configuración equivale a un circuito abierto entre sus terminales, porque la corriente por la bobina es idéntica y de signo opuesto a la del condensador que hay en paralelo.

### **Diferencia entre los filtros pasivos y los filtros activos**

Los filtros pasivos conforme aumenta la cantidad de elementos pasivos, aumenta la atenuación o sea se pierde potencia. Se agrava cuando aumenta el orden que implica aumento de los componentes. El filtro pasivo, se compone de elementos (condensadores, bobinas, resistencias) y tiene la ventaja de ser más barato y fácil de implementar. Su desventaja es que, al incluir una resistencia, disipan potencia de la red aumentando las pérdidas en el sistema y que con el tiempo los componentes se van desgastando y pierde sus propiedades.

Por otro lado, el filtro activo, es mucho más caro de construir, pero proporciona mejor filtrado que el pasivo. Se compone de interruptores (IGBT, MOSFet) y requiere de un circuito de control para funcionar. Algunos filtros activos incluso proporcionan energía reactiva al sistema en caso de ser necesarios. Los filtros activos utilizan menos elementos que los pasivos, además dan ganancia y esta se puede controlar de varias formas.

### **Comportamiento de elementos activos y pasivos a altas frecuencias**

#### **Componentes pasivos**

En cuanto la frecuencia alcanza valores suficientemente altos, ningún componente puede considerarse como perfecto. Las distintas inductancias parásitas o las capacidades distribuidas pueden adquirir proporciones bastante serias. Por esta razón, siempre deben tomarse con precaución aquellos resultados optimistas, como los procedentes de un simulador, especialmente cuando el diseñador no ha tenido la precaución de introducir los parámetros que afectan a los distintos elementos parásito.

#### **Inductancia**

Una inductancia se compone de  $n$  espiras. En el esquema equivalente de la figura se han introducido dos elementos parásitos:  $R$ , que es la resistencia del conductor;  $C$ , capacidad distribuida, capacidad entre cada espira de la bobina.

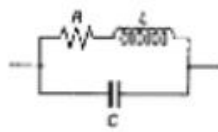


Figura B.1 Esquema equivalente de la bobina

La impedancia compleja de este circuito se calcula fácilmente, teniendo:

$$Z = \frac{R + j\omega L}{1 - \omega^2 LC}$$

La curva de impedancia de esta red se ofrece en la figura B.2. Compárese esta curva con la curva de impedancia ideal de una sola bobina L.

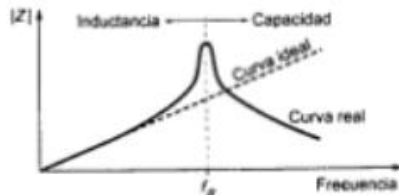


Figura B.2 Curva de impedancia de la bobina

Por encima de la frecuencia de resonancia  $f_R$ , la red compleja no se comporta ya como una inductancia, sino como una capacidad. La capacidad C resulta entonces preponderante. La frecuencia de resonancia vale:

$$Q = \frac{\omega L}{R}$$

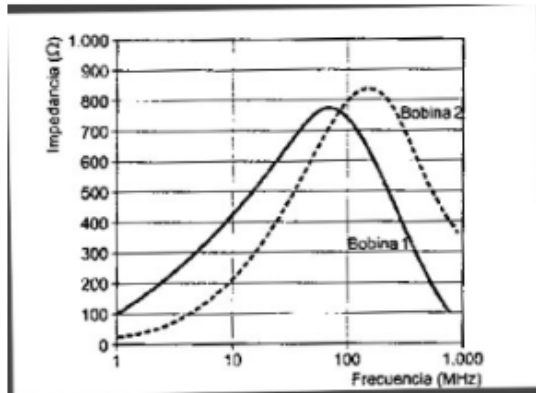


Figura B.3. Curvas de impedancia de dos bobinas de tipo VK200.

Estos dos ejemplos demuestran la importancia a la hora de elegir las bobinas en los circuitos de alta frecuencia. Cualquiera que sea su valor, una bobina L nunca puede considerarse como perfecta.

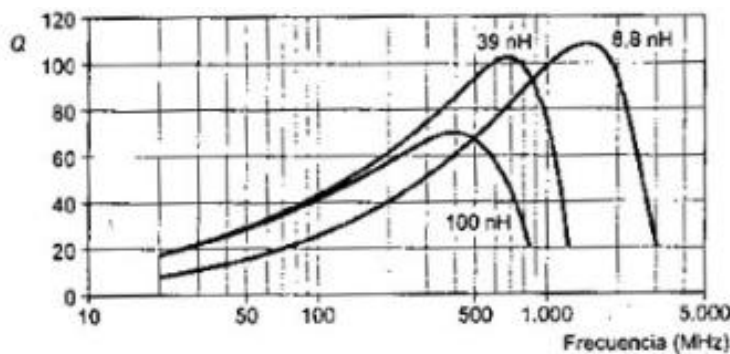


Figura B.4. Coeficiente de sobretensión de tres bobinas SMD.

Las curvas de la figura B.3 representan la impedancia de dos bobinas de tipo VK200 en función de la frecuencia. El valor de estas bobinas es importante, en torno a los 100µH. La frecuencia de resonancia  $f_R$  se sitúa en las proximidades de los 100 MHz y 200 MHz. La primera bobina tiene una frecuencia de resonancia ligeramente inferior a 100 MHz y el módulo de  $Z$  es inferior a 100 ohmios a 1 GHz. Esta bobina podrá utilizarse de 10 a 200 MHz, aproximadamente. La segunda tiene una frecuencia de resonancia próxima a los 200 MHz, y podrá utilizarse entre los 50 y 500 MHz, más o menos.

Las curvas de la figura B.4 representan el coeficiente de sobretensión  $Q$  en función de las frecuencias de tres bobinas SMD (Surface Mounting Device) de reducido valor. Se puede comprobar que, por un lado, el coeficiente de sobre-tensión aumenta cuando el valor de la inductancia disminuye y, por otro, cuanto mayor es la frecuencia de funcionamiento, más bajo tiene que ser el valor de la inductancia utilizada.

### Resistencia

El esquema equivalente de una resistencia acompañada de sus elementos parásitos viene dado en la figura B.27. Las dos bobinas  $L/2$  obedecen a las conexiones, mientras que  $C$  es la capacidad distribuida.  $L/2$  y  $C$  son pequeñas y carecen de importancia en baja frecuencia, sin embargo, resultan predominantes en alta frecuencia. La impedancia compleja de este circuito se calcula fácilmente:

$$Z = \frac{RLC_p + L_p + R}{1 + RC_p}$$

La curva de impedancia viene dada en la figura B.28. Compárese ésta con la curva de impedancia de una resistencia perfecta. En baja frecuencia, las impedancias parásitas no tienen influencia, sin embargo, en alta frecuencia, las impedancias parásitas resultan primordiales, transformándose la resistencia en inductancia. La frecuencia de resonancia ( $F_R$ ) tiene el valor que se muestra en la imagen siguiente.

$$F_R = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

$$|Z| = \sqrt{\frac{\omega^4 R^2 L^2 C^2 + \omega^2 L^2 - 2R^2 \omega^2 LC + R^2}{1 + \omega^2 R^2 C^2}}$$

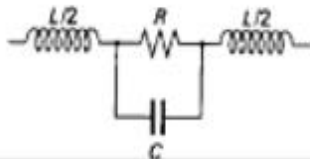


Figura B.27. Esquema equivalente de una resistencia donde sus elementos parásitos son C y L.

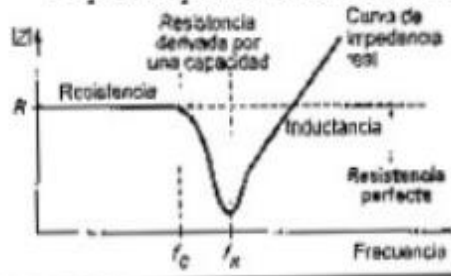


Figura B.28. Curva de impedancia de una resistencia.

Si  $f \ll f_R$ ,

entonces  $Z = R$

Si  $f = f_R$  entonces  $Z = L\sqrt{\frac{1}{R^2 C^2 + LC}}$

Si  $f \gg f_R$ , entonces  $Z = \omega L$

La curva de impedancia de la figura B.28 puede dividirse en tres zonas bien distintas. Desde continua hasta la frecuencia de corte  $f_c$ , los elementos parásitos son despreciables y la resistencia puede ser considerada como perfecta. De la frecuencia de corte  $f_c$  a la frecuencia de resonancia  $f_R$ , la inductancia es despreciable y la resistencia simplemente está derivada por una capacidad distribuida.

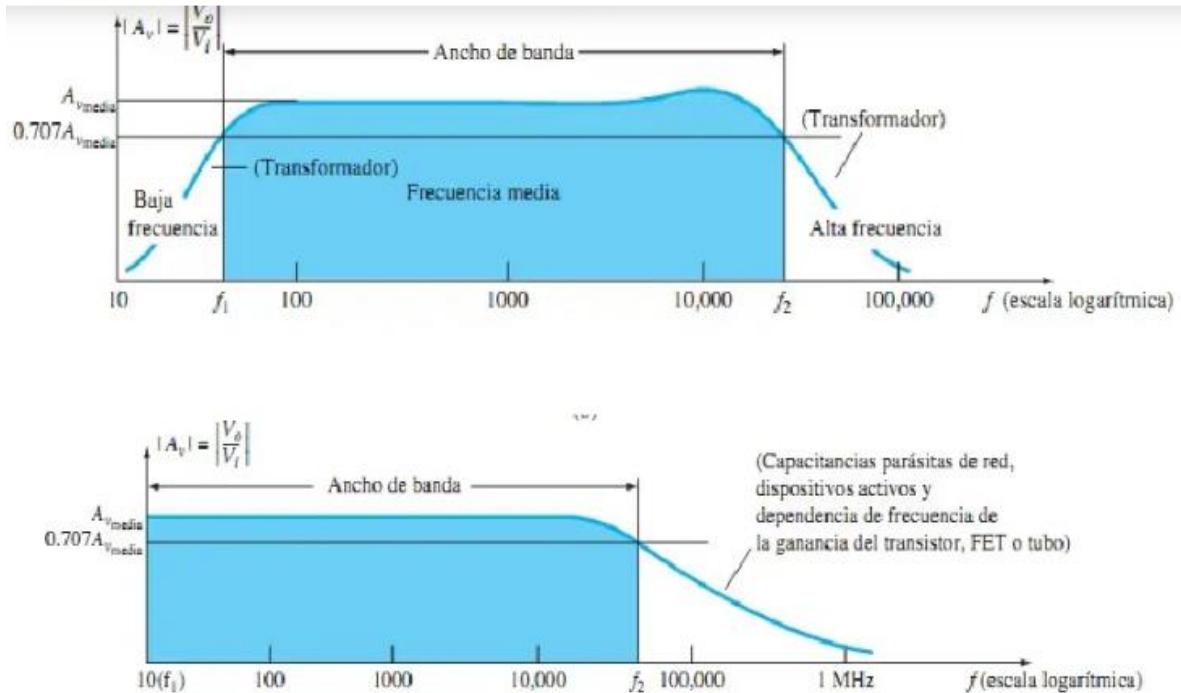
Por encima de la frecuencia de resonancia  $f_R$ , la resistencia se comporta como una inductancia. En los circuitos de RF, las resistencias se usan para:

- La polarización de las etapas activas;
- La realización de atenuadores, divisores o combinadores de potencia pasivos.



## Capacitores

A bajas frecuencias, veremos que los capacitores de acoplamiento y de puenteo ya no pueden ser reemplazados por la aproximación de cortocircuito debido al incremento de la reactancia de estos elementos. Los parámetros dependientes de la frecuencia de los circuitos equivalentes de señal pequeña y los elementos capacitivos parásitos (o de interferencia) asociados con el dispositivo activo de la red, limitarán la respuesta de alta frecuencia del sistema.



Claramente se identifican tres zonas: frecuencias bajas, frecuencias medias y frecuencias altas. A frecuencias bajas, el efecto de los condensadores de acoplo y desacoplo es importante. A frecuencias medias, esos condensadores presentan una impedancia nula pudiéndose ser sustituidos por un cortocircuito. A frecuencias altas, las limitaciones en frecuencia de los dispositivos activos condicionan la frecuencia máxima de operación del amplificador. Esas zonas están definidas por dos parámetros: a) frecuencia de corte inferior o  $f_L$  b) y frecuencia de corte superior o  $f_H$

- A baja frecuencia, la impedancia de  $C$  tiende a infinito, y, por lo tanto, la constante de tiempo del circuito sería  $T_s$ ; por ello recibe el nombre de constante de tiempo de circuito abierto.
- A alta frecuencia, la impedancia de  $C$  tiende a cero, y por lo tanto, la constante de tiempo del circuito sería  $T_p$ ; por ello recibe el nombre de constante de tiempo de cortocircuito.

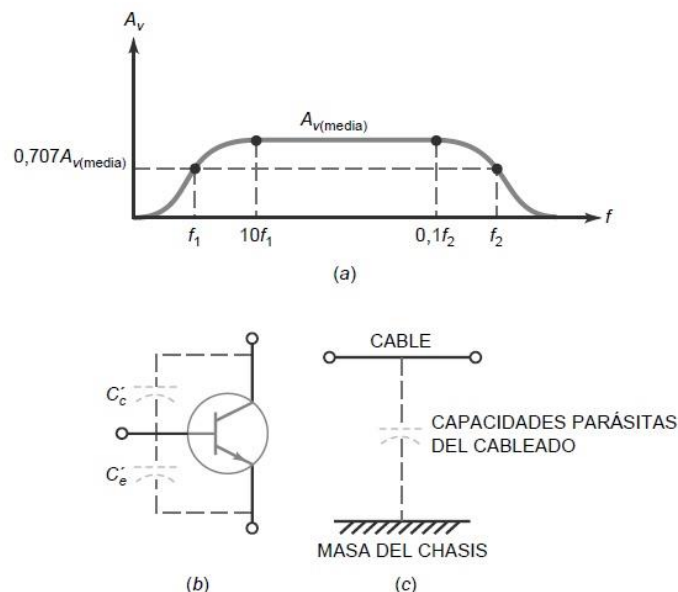
## Componentes activos

En el rango medio de frecuencias, la ganancia de tensión es máxima. Este rango medio de frecuencias es donde normalmente trabaja el amplificador. A frecuencias bajas, la ganancia de tensión disminuye, porque los condensadores de acoplo y desacoplo ya no se comportan como cortocircuitos. Lo que ocurre es que las reactancias capacitivas son lo suficientemente grandes como para hacer caer parte de la tensión de la señal de alterna. El resultado es una pérdida de la ganancia de tensión a medida que nos aproximamos a la frecuencia de cero hercios (0 Hz).

A frecuencias altas, la ganancia de tensión disminuye por otras razones. Para empezar, un transistor tiene capacidades internas en sus uniones, como se muestra en la Figura b. Estas capacidades proporcionan caminos de desacoplo a la señal de alterna. A medida que la frecuencia aumenta, las reactancias capacitivas se hacen lo suficientemente pequeñas como para impedir que el transistor funcione normalmente. El resultado es una pérdida de la ganancia de tensión

Las capacidades parásitas del cableado constituyen otra de las razones para producir una pérdida de la ganancia de tensión a altas frecuencias. La Figura c ilustra esta idea. Cualquier cable de conexión en un circuito de transistores actúa como una de las placas de un condensador y la masa del chasis se comporta como la otra placa. La capacidad parásita del cableado que existe entre el cable y tierra es una capacidad no deseada. A altas frecuencias, su baja reactancia capacitiva impide que la corriente alterna llegue a la resistencia de carga.

**Figura** (a) Respuesta en frecuencia de un amplificador de alterna. (b) Capacidad interna del transistor. (c) Entre el cableado y el chasis se forman capacidades.



Esto es lo mismo que decir que la ganancia de tensión disminuye.

Las frecuencias a las que la ganancia de tensión es igual a 0,707 de su valor máximo se denominan frecuencias de corte. En la Figura a,  $f_1$  es la frecuencia de corte inferior y  $f_2$  es la frecuencia de corte superior. Las frecuencias de corte también se

conocen como frecuencias de potencia mitad, porque la potencia en la carga es la mitad de su valor máximo a esas frecuencias.

Entonces ¿Por qué la potencia de salida es la mitad de la potencia máxima a la frecuencia de corte? Cuando la ganancia de tensión es 0,707 veces el valor máximo, la tensión de salida es también 0,707 veces el valor máximo. Recordar que la potencia es igual al cuadrado de la tensión dividido entre la resistencia. Si se eleva al cuadrado 0,707, se obtiene 0,5; por tanto, la potencia en la carga es la mitad de su valor máximo a las frecuencias de corte.

### **Rectificadores de voltaje**

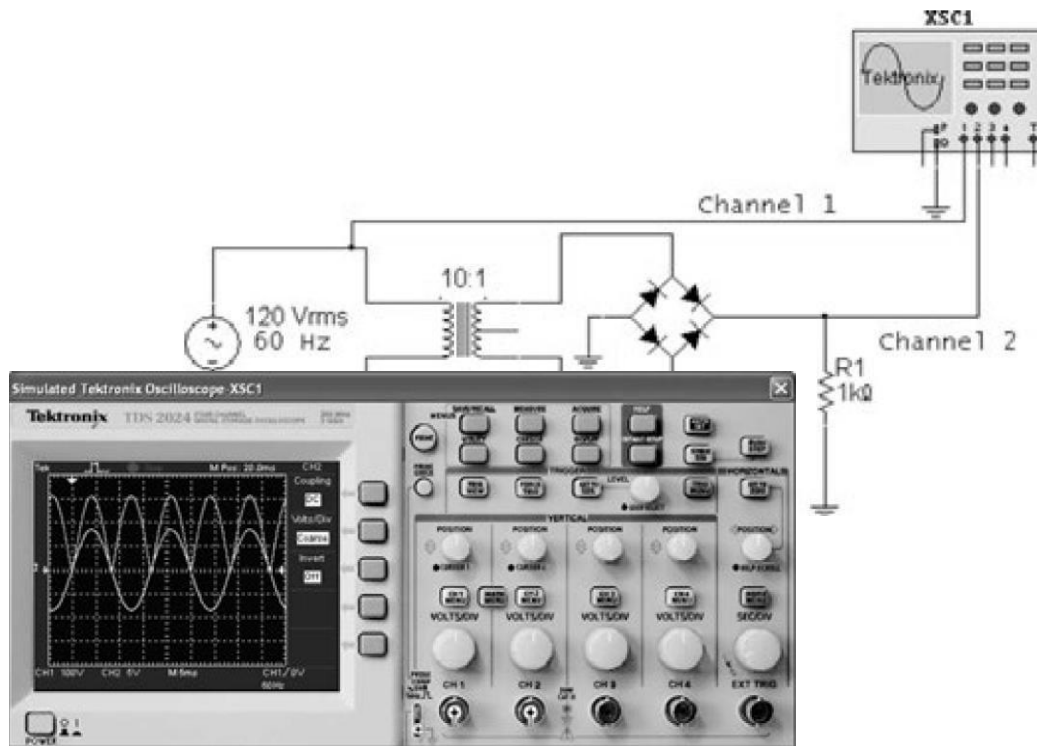
Los rectificadores son unos dispositivos electrónicos o circuitos que logran transformar la corriente alterna en corriente continua. Se utilizan con frecuencia para hacer funcionar motores de corriente continua de alta potencia y para alimentar los circuitos de equipos electrodomésticos.

La forma estándar en que la energía se transmite a los hogares y a las empresas es la corriente alterna. La tarea de los rectificadores consiste en convertir esa corriente en corriente continua para que los equipos funcionen de forma correcta. Sin esta rectificación, la corriente alterna podría provocar daños graves en los dispositivos.

Los rectificadores están compuestos por diodos rectificadores que permiten realizar la conducción de la corriente en una sola dirección.

Cuando se emplea un rectificador en puente, en oposición a un rectificador de onda completa de dos diodos, puede obtenerse la misma tensión continua de salida con un transformador que tenga una relación de espiras  $N1/N2$  muy alta. Esto quiere decir que con un rectificador en puente serán necesarias menos espiras en el transformador. Por tanto, el transformador utilizado con un rectificador en puente frente a un rectificador de onda completa de dos diodos será más pequeño y ligero, además de más barato. Esta ventaja sólo tiene importancia porque se usan cuatro diodos en lugar de los dos de un rectificador de onda completa convencional.

Figura Ejemplo de laboratorio de rectificador en puente.



### Ruido en fuentes

Una fuente de alimentación es el circuito, dentro de los equipos electrónicos, que convierte la tensión alterna de entrada en una tensión de salida continua casi perfecta. Incluye un rectificador y un filtro. Hoy día, la tendencia es ir hacia fuentes de alimentación de baja tensión y alta corriente. Dado que la frecuencia de la red es sólo de 60 Hz (o 50 Hz), se tienen que usar inductancias grandes para obtener una reactancia lo suficientemente grande como para conseguir un filtrado adecuado. Pero las bobinas grandes tienen resistencias de devanado grandes, lo que crea serios problemas de diseño con corrientes de carga considerables. En otras palabras, cae demasiada tensión continua a través de la resistencia de choque. Además, las bobinas grandes no son adecuadas para los circuitos semiconductores modernos, en los que se pone mucho énfasis en que sean diseños ligeros.

Si conectamos un rectificador en puente a un filtro de choque, el rizado de pico a pico se corta por la mitad. Cuando una tensión de onda completa se aplica a un circuito RC, el condensador se descarga sólo la mitad del tiempo. Por tanto, el rizado de pico a pico tiene la mitad del tamaño que tendría con un rectificador de onda completa.

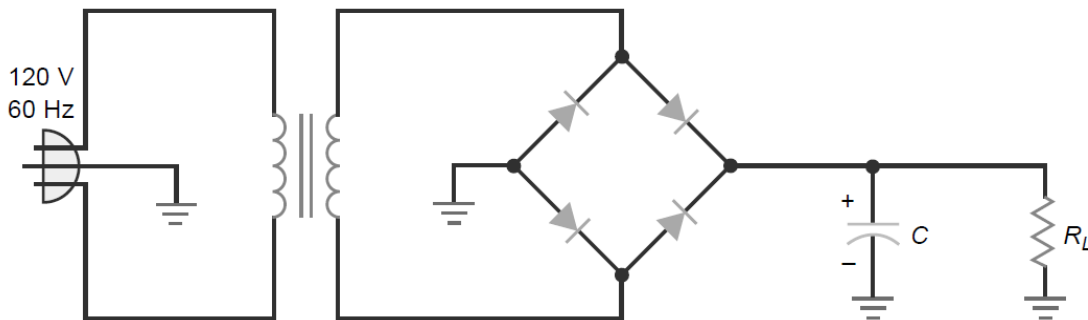
Algunos fallos que surgen comúnmente en los rectificadores en puente con condensador de filtro a la entrada son los siguientes:

1. Si el fusible está abierto, no habrá tensión en ningún punto del circuito.
2. Si el condensador del filtro está abierto, la tensión continua en la carga será pequeña, ya que la salida será una señal de onda completa no filtrada.
3. Si uno de los diodos está en circuito abierto, la tensión continua en la carga será baja, porque habrá sólo rectificador de media onda. También, la frecuencia del rizado será de 50 Hz y no de 100 Hz. Si todos los diodos están en abierto no se obtendrá señal de salida.
4. Si la carga está cortocircuitada, el fusible se fundirá. Posiblemente, uno o más diodos se estropeen o el transformador resulte dañado.
5. A veces, por el envejecimiento, en el condensador del filtro aumenta la corriente de fugas, con lo que se reduce la tensión continua en la carga.
6. Ocasionalmente, algunas vueltas de los devanados que hagan cortocircuito en el transformador reducen la tensión continua de salida. En este caso, el transformador se calienta, lo que se puede observar tocándolo.
7. Además de estas averías, también puede haber puentes de soldadura, soldaduras frías, malas conexiones, etc.

Existe una aplicación importante para los filtros de choque. Un regulador conmutado es un tipo especial de fuente de alimentación utilizada en las computadoras, monitores y una creciente variedad de equipos. La frecuencia empleada en un regulador conmutado es mucho mayor que 60 Hz. Típicamente, la frecuencia que se filtra está por encima de 20 kHz. A esa frecuencia mucho más elevada, podemos usar bobinas más pequeñas para diseñar filtros de choque eficientes

La figura muestra un rectificador en puente con un filtro con condensador a la entrada. Si cambiamos la resistencia de carga cambiará la tensión en la carga. Si reducimos la resistencia de carga, obtendremos más rizado y una caída de tensión adicional en los devanados del transformador y los diodos. Por esto, un incremento de la corriente por la carga siempre hace que la tensión en la carga disminuya.

Fuente de alimentación con filtro con condensador a la entrada.



La regulación de carga indica cuánto cambia la tensión en la carga cuando la corriente varía por ella.

Cuanto menor es la regulación de carga, mejor es la fuente de alimentación. Por ejemplo, una fuente de alimentación bien regulada puede tener una regulación de carga de menos del 1 por ciento. Esto significa que la tensión en la carga varía menos del 1 por ciento en el rango completo de la corriente de carga.

El rechazo del rizado de un regulador de tensión integrado es alto, desde aproximadamente 65 hasta 80 dB. Esto representa una importante ventaja porque implica que no tenemos que utilizar filtros LC en la fuente de alimentación para minimizar el rizado. Todo lo que necesitamos es un filtro con condensador a la entrada que reduzca el rizado de pico a pico a aproximadamente el 10 por ciento de la tensión no regulada de salida de la fuente de alimentación.

Un regulador conmutado se clasifica dentro de la clase general de convertidores cc-cc, porque convierten una tensión continua de entrada en otra tensión continua de salida, más grande o más pequeña. Pero los reguladores conmutados también incluyen regulación de tensión, normalmente modulación por anchura de impulso para controlar la relación on-off del transistor. Modificando el ciclo de trabajo, un regulador conmutado puede mantener la tensión de salida constante bajo condiciones de red y de carga variables.

### **Tierra física y tierra digital**

La Tierra Física es un sistema de protección o seguridad de todas las instalaciones eléctricas. Todos los sistemas eléctricos generan cargas que deben de ser liberadas para no dañar los equipos o a las personas. Algunos ejemplos son la caída de un rayo, un equipo que está en corto, la carga electrostática del ambiente o aparatos de alto consumo que generan cargas residuales, todas estas cargas eléctricas necesitan encontrar una manera de salir del sistema eléctrico, muchos equipos electrónicos incluso tienen indicaciones de no conectarse si no existe tierra física.

La tierra física se llama así porque literalmente la instalación eléctrica se conecta a la tierra, esto se hace mediante una varilla normalmente de cobre o aluminio, aunque puede ser cualquier metal y aleación que sea altamente conductiva. Esta varilla puede llegar a 2 o 3 metros de largo o estar formada de varias varillas. Estas se entierran en la tierra donde se descargarán las corrientes eléctricas no deseadas, normalmente se espera sea terreno húmedo para una mejor transmisión de la electricidad o se complementa la instalación con una tierra especial con compuestos minerales que atrapan humedad y ayudan a la transmisión de electricidad.

Muchas veces se complementa la tierra con un pararrayos conectado directamente a la tierra. Si no existiera la tierra física y cae un rayo en una instalación eléctrica toda la corriente recaería sobre los equipos eléctricos y se quemarían fácilmente. De igual manera si una casa no tiene tierra física con el tiempo los aparatos eléctricos se van fundiendo poco a poco debido a estar recibiendo pequeñas pero

constantes cargas eléctricas, al igual que podrían dar descargas eléctricas a las personas cuando los toquen, y estas pueden llegar a ser muy peligrosas.

Con respecto a tierra digital se puede tomar como punto de referencia o de retorno de la corriente, es la base para todas las demás medidas de voltaje dentro del circuito. Sin embargo, no todas las mediciones de voltaje se toman de este punto de referencia. Por ejemplo, si midiera el voltaje a través de la resistencia superior en un divisor de voltaje resistivo, su punto de referencia no sería tierra.

Un ejemplo se encuentra en una fuente de alimentación de CC de tres terminales. Esta fuente de alimentación tiene un terminal positivo (+), negativo (-) y GND (tierra). Como se mencionó anteriormente, el terminal de tierra (conexión a tierra) está físicamente atado al chasis, que a su vez está conectado al cable de tierra dentro del cable de alimentación, que finalmente se conecta a la tierra a través de la salida de tres patas.

Un error bastante común que se comete es conectar una carga entre los terminales positivo (+) y GND. Esta conexión incorrecta no permitirá que la corriente regrese a su fuente de energía (la propia fuente de alimentación) y, por lo tanto, no fluirá corriente. La conexión correcta es conectar la carga entre los terminales positivo (+) y negativo (-).

### **Sistema de tierras**

Los procedimientos para diseñar sistemas de tierras se basan en conceptos tradicionales, pero su aplicación puede ser muy compleja. Los conceptos son científicos, pero la aplicación correcta es un arte, ya que cada instalación es única en su localización, tipo de suelo, y equipos a proteger. El propósito de aterrizar los sistemas eléctricos es para limitar cualquier voltaje elevado que pueda resultar de rayos, fenómenos de inducción o, de contactos no intencionales con cables de voltajes más altos. Se logra uniéndolo mediante un conductor apropiado a la corriente de falla a tierra total del sistema, una parte del sistema eléctrico al planeta tierra.

En los sistemas de tierra se utilizan tres tipos de conectores:

- Conectores atornillados. Se fabrican con bronce de alto contenido de cobre, formando dos piezas que se unen por medio de tornillos cuyo material está formado por bronce al silicio que proporciona alta resistencia mecánica y a la corrosión.
- Conectores a presión. Se forman por una pieza hueca, en cuyos extremos se introducen las dos terminales del cable que se va a empalmar y mediante una prensa especial, con dados intercambiables según los calibres de los conductores, se producen la unión al comprimirse el material citado. Estas conexiones pueden soportar una temperatura máxima de 350°C.
- Conectores soldados. Requiere de moldes de grafito de diferentes calibres en donde por medio de la combustión de cargas especiales, que producen temperaturas muy altas, se funden las puntas terminales que se van a soldar provocando una unión que soporta temperaturas de fusión del conductor.

Estos conectores son económicos y seguros, por lo que se usan con mucha frecuencia. Todos los tipos de conectores deben soportar la corriente de la red de tierra en forma continua.

Características de los elementos del sistema de tierras

- Resistencia a la corrosión, para retardar su deterioro en el ambiente donde se localiza.
- Conductividad eléctrica, de manera que no contribuya sustancialmente con las diferencias de potencial en el sistema de tierras.
- Capacidad de conducción de corriente, la superficie para soportar los esfuerzos térmicos durante las condiciones más adversas impuestas por la magnitud y duración de las corrientes de falla.
- Resistencia mecánica, que soporte los esfuerzos electromecánicos, además del daño físico que puedan causar los equipos pesados dentro de la subestación.

En el diseño de un sistema de tierras existen tres tipos de sistemas a considerar estos son:

Sistema radial. Este sistema es el más económico, pero el menos seguro, ya que al producirse una falla en cualquier parte de la subestación se obtienen altos gradientes de potencial. Se utiliza para corrientes de tierra baja.

Sistema de anillo. Consiste en instalar un cable de suficiente calibre (aproximadamente 100MCM) alrededor de la superficie ocupada por el equipo de la subestación, conectando derivaciones a cada aparato mediante un cable más delgado (500MCM O 4/0 AWG). Es un sistema menos económico que el anterior, los potenciales peligrosos disminuyen al dispararse la corriente de falla por varios caminos, lo que origina gradientes de potencial menores. Se utiliza para corrientes de corto circuito intermedias.

Sistema de Malla. Es el sistema más utilizado en los sistemas eléctricos y consiste, como su nombre lo indica, en una retícula formada por cables de cobre (aproximadamente 4/0 AWG), conectada a través de electrodos de varillas copperweld a partes más profundas para buscar zonas de menor resistividad. Este sistema es el más eficaz, pero también el más caro de los tres.

### **Desviación pico – pico (fase //frecuencia// amplitud)**

Para entender la desviación de frecuencia, fase y amplitud se deben analizar los conceptos:

Desviación instantánea de fase. Es el cambio instantáneo de fase de la portadora, en determinado momento, e indica cuánto está cambiando la fase de la portadora con respecto a su fase de referencia.

Fase instantánea. Es la fase precisa de la portadora en un momento dado.

Desviación instantánea de frecuencia. Es el cambio instantáneo en la frecuencia de la portadora, y se define como la primera derivada de la desviación instantánea de



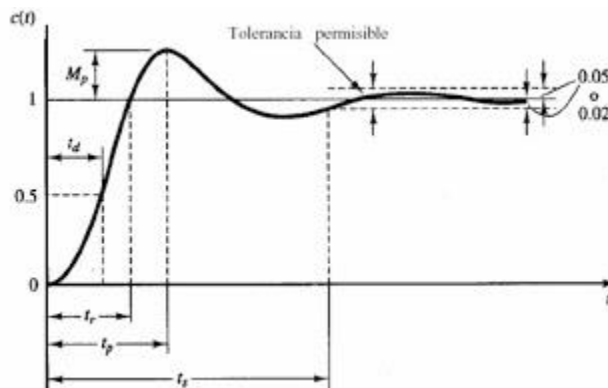
fase con respecto al tiempo. Por consiguiente, la desviación instantánea de fase es la primera integral de la desviación instantánea de frecuencia.

Frecuencia instantánea. Es la frecuencia precisa de la portadora en determinado momento, y se define como la primera derivada de la fase instantánea respecto al tiempo.

Para conocer cómo se produce la desviación de amplitud o mejor conocido como estabilización de sobre disparo es necesario acudir a la teoría de control. Con frecuencia, las características de desempeño de un sistema de control se especifican en términos de la respuesta transitoria para una entrada escalón unitario, dado que ésta es fácil de generar y es suficientemente drástica. (Si se conoce la respuesta a una entrada escalón, es matemáticamente posible calcular la respuesta para cualquier entrada).

La respuesta transitoria de un sistema para una entrada escalón unitario depende de las condiciones iniciales. Por conveniencia al comparar respuestas transitorias de varios sistemas, es una práctica común usar la condición inicial estándar de que el sistema está en reposo al inicio, por lo cual la salida y todas las derivadas con respecto al tiempo son cero. De este modo, las características de respuesta se comparan con facilidad. La respuesta transitoria de un sistema de control práctico exhibe con frecuencia oscilaciones amortiguadas antes de alcanzar el estado estable. Al especificar las características de la respuesta transitoria de un sistema de control para una entrada escalón unitario, es común especificar lo siguiente:

1. Tiempo de retardo,  $t_d$
2. Tiempo de levantamiento,  $t_r$
3. Tiempo pico,  $t_p$
4. Sobrepasso máximo,  $M_p$
5. Tiempo de asentamiento,  $t_s$



1. Tiempo de retardo,  $t_d$ : el tiempo de retardo es el tiempo requerido para que la respuesta alcance la primera vez la mitad del valor final.

2. Tiempo de levantamiento,  $t_r$ : el tiempo de levantamiento es el tiempo requerido para que la respuesta pase del 10 al 90%, del 5 al 95% o del 0 al 100% de su valor final. Para sistemas subamortiguados de segundo orden, por lo común se usa el tiempo de levantamiento de 0 a 100%.

Para sistemas sobreamortiguados, suele usarse el tiempo de levantamiento de 10 a 90%.

3. Tiempo pico,  $t_p$ : el tiempo pico es el tiempo requerido para que la respuesta alcance el primer pico del sobrepaso.

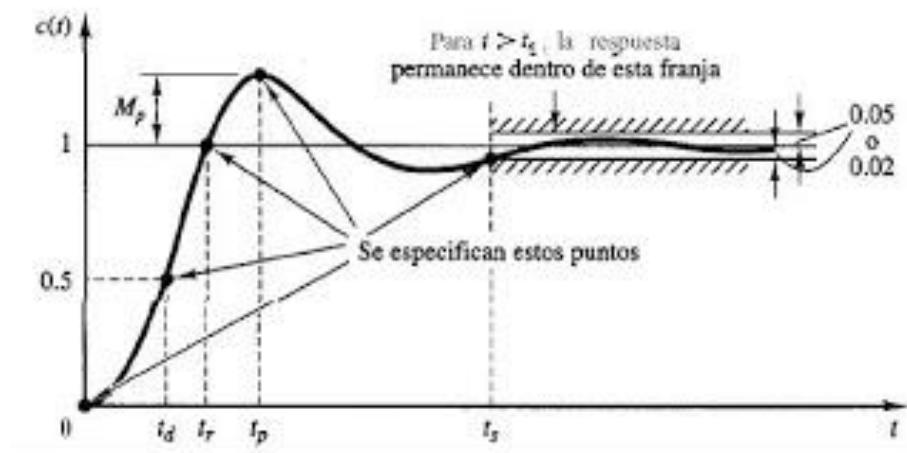
4. Sobrepaso máximo (porcentaje),  $M_p$  el sobrepaso máximo es el valor pico máximo de la curva de respuesta, medido a partir de la unidad. Si el valor final en estado estable de la respuesta es diferente de la unidad, es común usar el porcentaje de sobrepaso máximo. Se define mediante:

$$\text{Porcentaje de sobrepaso máximo} = \frac{c(t_p) - c(\infty)}{c(\infty)} \times 100\%$$

La cantidad de sobrepaso máximo (en porcentaje) indica de manera directa la estabilidad relativa del sistema.

5. Tiempo de asentamiento,  $t_s$ : el tiempo de asentamiento es el tiempo que se requiere para que la curva de respuesta alcance un rango alrededor del valor final del tamaño especificado por el porcentaje absoluto del valor final (por lo general, de 2 a 5%) y permanezca dentro de él. El tiempo de asentamiento se relaciona con la mayor constante de tiempo del sistema de control. Los objetivos del diseño del sistema en cuestión determinan cuál criterio de error en porcentaje usar.

Especificaciones de la respuesta transitoria:



Excepto para ciertas aplicaciones en las que no se pueden tolerar oscilaciones, es conveniente que la respuesta transitoria sea suficientemente rápida y amortiguada. Por tanto, para una respuesta transitoria conveniente de un sistema de segundo

orden, el factor de amortiguamiento relativo debe estar entre 0.4 y 0.8. Valores pequeños de  $\xi$  ( $\xi < 0.4$ ) producen un valor de sobrepaso excesivo en la respuesta transitoria, y un sistema con un valor grande de  $\xi$  ( $\xi > 0.8$ ) responden con lentitud.

### **Acople (transmisión máxima)**

El diseño de todo amplificador y en especial en circuitos de radiofrecuencia se hace necesario optimizar el performance del amplificador, por lo tanto, se debe realizar la adaptación de impedancia, tanto de entrada como de salida del elemento activo para obtener la máxima transferencia de potencia. Este requerimiento se hace realmente más importante cuando se trata de la entrada de un receptor, donde la adaptación de la antena a la primera etapa amplificadora es un parámetro que influye directamente en la sensibilidad del receptor. Por esta razón se debe tener cuidado especial en el cálculo y ajuste de una red de acoplamiento, a la entrada, para tener el óptimo acoplamiento a la carga, sin dejar de considerar el balance de la relación señal a ruido a la entrada del amplificador.

La columna de acoplamiento enumera el tipo de mecanismo de bloqueo mecánico empleado. Esto es de suma importancia en aplicaciones donde el conector debe estar sujeto a vibraciones. Normalmente, el acoplamiento es una compensación entre la facilidad de conexión y el bloqueo seguro.

El acople de impedancias es un procedimiento crucial en el diseño rf, ya que siempre es deseable proveer al circuito la máxima transferencia de potencia entre la fuente y su carga. Cualquier pérdida innecesaria, no sólo disminuiría su eficiencia, sino que, la onda reflejada a la entrada, puede afectar el funcionamiento. Es importante mencionar que existen numerosos métodos de acoplar la fuente a la carga, pero la aplicación de cada uno dependerá del contexto en el que se vaya a usar.

### **Potencia y disipación de superficies**

Las potencias manejadas por los dispositivos semiconductores, transistores, TRIAC, MOSFET, reguladores de tensión, etc., es en muchos casos de una magnitud considerable. Además, si se llegan a presentar problemas el problema se agrava teniendo en cuenta que el tamaño de tales dispositivos es muy pequeño, lo que dificulta la evacuación del calor producido. Un cuerpo que conduce una corriente eléctrica pierde parte de energía en forma de calor por efecto Joule. En el caso de los semiconductores, se manifiesta principalmente en la unión PN, y si la temperatura aumenta lo suficiente, se produce la fusión térmica de la unión, inutilizando el dispositivo. Los dispositivos de potencia reducida, disipan el calor a través de su encapsulado hacia el ambiente, manteniendo un flujo térmico suficiente para evacuar todo el calor y evitar su destrucción. En los dispositivos de más potencia, la superficie del encapsulado no es suficiente para poder evacuar

adecuadamente el calor disipado. Se recurre para ello a los radiadores (heatsinks), que proporcionan una superficie adicional para el flujo térmico.

Para componentes de tamaño convencional usar disipadores o radiadores de acuerdo a la cantidad de potencia disipada es válido, pero para componentes smd las cosas cambian y se ven severamente afectados por esto.

Se puede decir que los componentes siempre sufren modulaciones térmicas en su valor. En todos se puede medir, habitualmente se mide en ppm/°C (parte por millón sobre grado centígrado) y la resistencia térmica también se puede medir, tanto en comportamiento estático como en dinámico. Se mide en °C/W, o para el caso de baja potencia en °C/mW.

Se puede poner de ejemplo a una resistencia metal-óxido de carga de una etapa clase A en un amplificador de válvulas. Sufre variaciones importantes de potencia ya que pueden pasar de disipar 3W a disipar 1W en condiciones completamente normales. Las variaciones suponiendo temperatura de 35°C/W (dato de resistencias de 4.3 W), la diferencia de temperatura entre reposo y máximo consumo son de 70°C, esto unido a la deriva térmica de 350 ppm/°C suponen una tolerancia por motivos térmicos de un 24.5% pudiendo causar una distorsión del mismo valor. Para altas frecuencias esto no tendrá grandes efectos porque la inercia térmica es grande a pesar también de que la resistencia térmica es mayor que en estado estático.

Para el caso de componentes smd los coeficientes térmicos dependen exclusivamente del material, tendrá el mismo coeficiente una resistencia de metal en smd que en through hole pero estos componentes tienen mayores resistencias térmicas entre el interior y el ambiente.

De hecho, en transistores de señal es obligado tener en cuenta que la potencia no viene delimitada por el transistor, si no por el encapsulado, de ahí que es importante usar un disipador para componentes normales, pero, ¿cómo se consigue esto en componentes smd? La solución está en disipar el calor a través de las pistas de cobre ya que estas son las que hacen de disipador, y si se desea incrementar la disipación de potencia de un transistor es necesario incrementar la superficie de la pista a la que está conectada el drenador o el colector.

En este punto como consecuencia la mayor causa de fallos en dispositivos smd es el estrés mecánico. Es importante evitar la posibilidad de un shock térmico durante el proceso de soldadura. Es necesario un precalentamiento del componente entre 80 y 120°C y que la diferencia de temperatura entre la pista y el componente no exceda los 150°C. Posteriormente debe enfriarse al aire.

### **Soldadura (plata, estaño y temperaturas)**

En electrónica, el sistema más utilizado para garantizar la circulación de corriente entre los diferentes componentes de un circuito, es la soldadura con estaño o aleaciones de este, según las aplicaciones. Se consiguen uniones muy fiables y definitivas, que permiten además sujetar los componentes en su posición y soportan bastante bien los golpes y las vibraciones, asegurando la conexión eléctrica durante un tiempo prolongado.

La potencia del soldador depende fundamentalmente de la cantidad de calor que hay que utilizar para realizar la soldadura y esto a su vez depende fundamentalmente del tamaño de la zona a soldar. Por ejemplo, para soldar el terminal de un pequeño transistor a una pequeña pista de un circuito impreso se necesita aplicar muy poco calor, en cambio si queremos soldar un cable de 2,5mm a un terminal grande hay que aplicar una gran cantidad de calor para compensar el que disipan el cable y el terminal.

El estaño que se utiliza en electrónica tiene alma de resina con el fin de facilitar la soldadura. Para garantizar una buena soldadura es necesario que tanto el estaño como el elemento a soldar alcancen una temperatura determinada, si esta temperatura no se alcanza se produce el fenómeno denominado soldadura fría. La temperatura de fusión depende de la aleación utilizada, cuyo componente principal es el estaño y suele estar comprendida entre unos 200 a 400 °C.

En realidad, el término "estaño" se emplea de forma impropia porque no se trata de estaño sólo, sino de una aleación de este metal con plomo, generalmente con una proporción respectiva del 60% y del 40%, que resulta ser la más indicada para las soldaduras en Electrónica.

La soldadura fuerte consiste en un proceso de cruzar dos metales a través del penetramiento de estos y la posterior adición de un metal de aportación, el cual debe tener una temperatura de fusión superior a 450° C y menor al del metal base. Este material de aportación se colocará en el hueco que dejan las dos partes a unir y se distribuirá entre las superficies de unión por atracción capilar. Este tipo de unión es muy común en la industria y sirve para unir la mayoría de los metales y aleaciones que encontramos en el sector de la metalurgia.

una consideración que no debe saltarse es el efecto de la temperatura y tiempo para una buena calidad. En general, la temperatura de soldadura elegida debe estar por encima del punto de fusión del metal de aporte. Para la elección de la temperatura se consideran los factores siguientes:

- (1) la temperatura más baja posible para poder soldar
- (2) minimizar los efectos del calor en la unión
- (3) mantener el metal de relleno
- (4) maximizar la vida de la herramienta

La soldadura fuerte como bien indica su nombre se caracteriza por tener una fortaleza y ductilidad alta. De hecho, la zona de unión es igual o más fuerte que los metales que se han unido. También es una unión que destaca por su homogeneidad en la unión, lo que implica un buen acabado a nivel estético y estanqueidad a la hora de contener fluidos

Este tipo de soldadura, al no fundirse el material base permite un control mucho mejor del proceso y de las tolerancias finales, además de no ser necesario un proceso secundario para mejorar el acabado superficial.

Puede soldar materiales disimilares, ya que como lo que une es el material que se funde, no importa que los materiales a unir tengan distintos puntos de fusión. No hay una gran zona afectada térmicamente. Es fácilmente automatizable y sirve para producciones elevadas.

Por otro lado, no son uniones que vayan a soportar altos esfuerzos por lo que no son recomendables para estructuras metálicas. La soldadura puede dañarse con temperaturas altas, ya que el material base tiene un punto más elevado de fusión que el material de aporte. El color es diferente, entre metal base y de aporte, por lo que estéticamente no es del todo recomendable.

### **SAR (specific absorption rate), tasa de absorción específica**

La tecnología de hoy en día ha llevado a la medicina a realizar avances nunca antes vistos. Uno de ellos, a poder generar perturbaciones moleculares momentáneas, que son utilizados para fines médicos diagnósticos y de investigación. El fenómeno de resonancia magnética es producto de la absorción de energía por parte de átomos de hidrógeno, los cuales son llevados a un plano transversal cuando una onda de misma frecuencia de precesión es emitida por una bobina de RF y alcanzada por los protones dentro de un campo magnético. Desde un punto de vista energético, el protón que absorbió la energía de la onda electromagnética deberá eliminarla de alguna manera hacia el medio una vez que haya cesado la emisión de RF, proceso denominado relajación.

Durante la relajación la magnetización alcanzada por el protón hará que vuelva a su posición inicial hacia el plano longitudinal. Este fenómeno no es un proceso espontáneo, sino que requiere de estructuras circundantes para poder emitir esta energía. Esta energía liberada por los núcleos es del mismo orden de magnitud del que utilizan las moléculas para sus movimientos Brownianos (choque rectilíneo de partículas debido a la energía cinética del medio), por lo que la energía liberada entonces será recibida por tejidos circundantes en seres vivos. De aquí se desprende que la liberación energética se verá muy influenciada por el medio histoquímico en que se encuentran los núcleos de hidrógeno.

De este proceso de liberación energética, es de donde se extraen una de las principales preocupaciones de bioseguridad en resonancia magnética: el depósito

calórico que genera el paciente durante un procedimiento. Es por ello, que es fundamental conocer, controlar y mantener un sistema que permita al operador saber cómo llevar a cabo un examen y hasta qué punto es posible realizarlo sin provocar daños al paciente. De esta necesidad, surge un parámetro que rige al día de hoy al tecnólogo médico que realiza una resonancia magnética: SAR. Gracias a esta tasa de absorción específica, que está creada y utilizada considerando los factores que influyen en el depósito calórico experimentado; es que se puede trabajar en forma segura tanto para el operador como el paciente.

Tasa de absorción específica SAR: Specific Absorption Rate es la tasa o coeficiente de energía absorbida por un tejido, se mide en Watt por kilogramo (W/kg) y es utilizada para medir la energía impartida desde radiaciones no ionizantes. Por tanto, es el término dosimétrico utilizado para describir la absorción de ondas de RF en el cuerpo. Su creación y utilización está asociada a la regulación y control del depósito calórico que se acumula en los tejidos de un paciente durante un examen de resonancia magnética. Acorde a la cantidad de energía impartida de ondas de RF, el cuerpo humano tendrá respuestas termorregulatorias y cambios fisiológicos distintos, por lo cual se utiliza el SAR como parámetro fundamental para cuantificar este fenómeno. Más específicamente, el calentamiento experimentado por un paciente durante un estudio de resonancia magnética depende de la cantidad de RF depositada por unidad de masa, temperatura ambiente, humedad relativa, flujo aéreo, flujo sanguíneo y aislamiento del paciente.

El promedio de intensidad de RF (y el SAR) es proporcional al número de imágenes por unidad de tiempo y al peak de intensidad de RF. Dentro de este parámetro, existe una subclasificación del término acorde al punto de referencia que se desee tomar. El primero es el SAR promediado sobre el cuerpo completo, que es un valor único de SAR que representa la magnitud de SAR promediado sobre todo el cuerpo expuesto a radiofrecuencia. El segundo es el SAR local, que es un valor único que representa la magnitud de SAR en una pequeña porción del cuerpo expuesto a radiofrecuencia, ya sea cabeza, tronco o extremidades. Solamente el SAR cuerpo completo puede ser medido por el resonador o por el Tecnólogo Médico a cargo.

La medición y determinación del SAR se basa en severos métodos, que tienen por objetivo ser un parámetro de dosimetría en términos de energía de RF impartida. Hasta hace poco se utilizaban fantasmas esféricos, cilíndricos o de modelo de disco para medir el SAR asociado con RM. Estos modelos son incapaces de dar información precisa, ya que no son análogos al cuerpo humano.

Para arreglar esta falencia se prefiere usar modelos simplistas que obtienen el SAR en una representación de la anatomía de la cabeza humana con forma de la bobina que se utiliza normalmente para estos procedimientos.

El algoritmo de la gradiente biconjugada (BCG) en combinación con la transformada de Fourier (FFT) es usado para el análisis de la absorción del poder

electromagnético en el cuerpo humano. El método FDTD (finite-difference time-domain) ha sido modificado últimamente en los modelos más modernos que se han desarrollado para calcular la distribución del SAR.

El método de las Diferencias Finitas en el Dominio del Tiempo (FDTD) se utiliza para resolver problemas electromagnéticos transitorios utilizando diferencias finitas. El método fue desarrollado en 1966 para resolver las Ecuaciones de Maxwell. Estas ecuaciones en derivadas parciales se reemplazan por un sistema de ecuación en diferencias finitas. Eligiendo convenientemente los puntos en que se evalúan los componentes de los campos en estas ecuaciones, la solución al sistema de ecuaciones satisface las condiciones de borde que involucran superficies conductoras ideales.

Las ecuaciones de Maxwell describen la evolución en el tiempo y en el espacio de los campos magnéticos (B) y eléctricos (E). Los diferentes problemas se especifican con distintas condiciones de borde que describen situaciones físicas como la posición de los conductores en un circuito.

Algunas de las grandes ventajas del método FDTD son: poder modelar geometrías arbitrarias, incluye distintos tipos de fuentes fácilmente, la programación es simple y sus cálculos son precisos.

Originalmente, el FDTD fue propuesto como una técnica numérica para resolver las ecuaciones de Maxwell en problemas lineales, sin embargo, ahora se sabe que puede emplearse para resolver problemas con geometrías complicadas, interacción de luz con medios dispersivos e incluso física no lineal. Es por ello que el SAR que es producido durante un procedimiento en resonancia magnética, es una compleja función de numerosas variables que pueden ser separadas entre aquellas que tienen relación con el equipo y el campo magnético y los que tienen relación al paciente en sí.

En el primer caso, se incluyen la frecuencia (determinado por la intensidad del campo magnético estático del sistema de RM); el tipo de pulso utilizado (por ejemplo, de  $90^\circ$  versus un pulso de  $180^\circ$ ); el tiempo de repetición (TR); el tipo de bobina de transmisión usada; la orientación del cuerpo a los vectores del campo, etc.

De los parámetros enunciados en este primer caso, se puede inferir su funcionamiento de algunas de estas variables por razones bastante lógicas. Así, por ejemplo, se puede establecer que hay que tener presente que la energía absorbida en un determinado tejido por unidad de volumen y de tiempo, aumenta al aumentar la frecuencia (la longitud de onda es menor, y por tanto la penetración es menor y la interacción de la onda con el tejido del cuerpo en planos más superficiales es mayor y se genera calor producto de ello). Por tanto, cuanto mayor es el valor del campo magnético, mayor es el depósito calórico. Otro ejemplo vendría siendo aplicado a las secuencias aplicadas durante el examen. Por ejemplo, si se aplican



secuencias rápidas como las (FAST/TURBO) SPIN-ECHO implican el uso de trenes de pulsos de fase de  $180^\circ$ , teniendo que poner especial atención en no sobrepasar el límite aconsejado. Lo mismo ocurre en las técnicas de Transferencia de Magnetización. Normalmente las máquinas y en especial las de alto campo implican limitaciones al uso de estas secuencias. La limitación suele aparecer en el número de planos posibles en un TR. Otros factores como el tiempo de repetición (TR), tienen explicaciones más sencillas, al inferir que mientras más cortos sean los TR, se reciben estimulaciones en menor tiempo, y por lo tanto, el SAR del paciente irá en incremento. Así también, influirá el SAR del paciente dependiendo del tipo de bobina que se utilice; un buen ejemplo podría ser la bobina de cuerpo, dado que, si ésta se utiliza como bobina transmisora además de receptora, la transmisión de RF se efectuará a la longitud total de la bobina, no sólo al área que recibe la RF (de estructura específica en estudio).

Por último, si consideramos el campo magnético (T) del resonador, al doblar el poder del campo (de 1.5 T a 3.0 T, por ejemplo) el poder de la RF que es depositada en el paciente incrementa en 4 veces por cada pulso de secuencia dado.

En el segundo caso, se consideran factores como el volumen de tejido contenido dentro de la bobina (expuesto a RF); la configuración de la región anatómica expuesta; la capacidad de respuesta termorreguladora (capacidad del organismo y/o órgano de disipar el calor) y fisiológica propia de cada organismo (y órgano); la irrigación de la estructura a estudiar; etc.

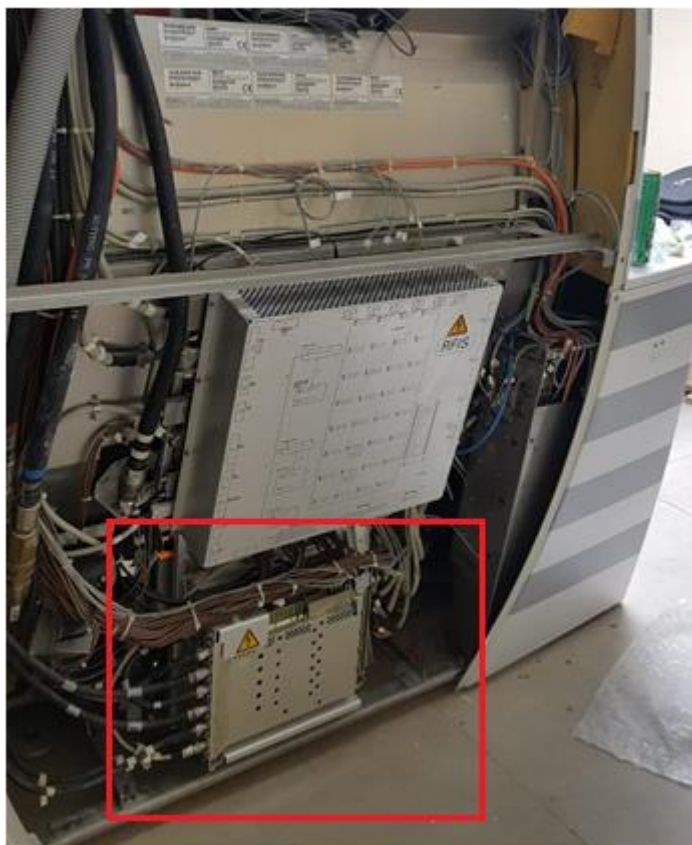
### **CAPITULO III**

#### **Estudio y mapeo de tarjeta (modulo TALES)**

El objetivo de mapear una tarjeta es llegar a conocer las funciones que desempeña y de qué manera las realiza, por lo tanto, se comienza ubicando esta tarjeta dentro de la máquina de resonancia magnética. La ubicación de la tarjeta del módulo TALES puede apreciarse en la siguiente secuencia de imágenes.



Al hacer la exploración, del lado izquierdo de la maquina se encuentra el módulo RFAS y es ahí donde está ubicada la tarjeta del TALES, como se aprecia en la siguiente imagen.

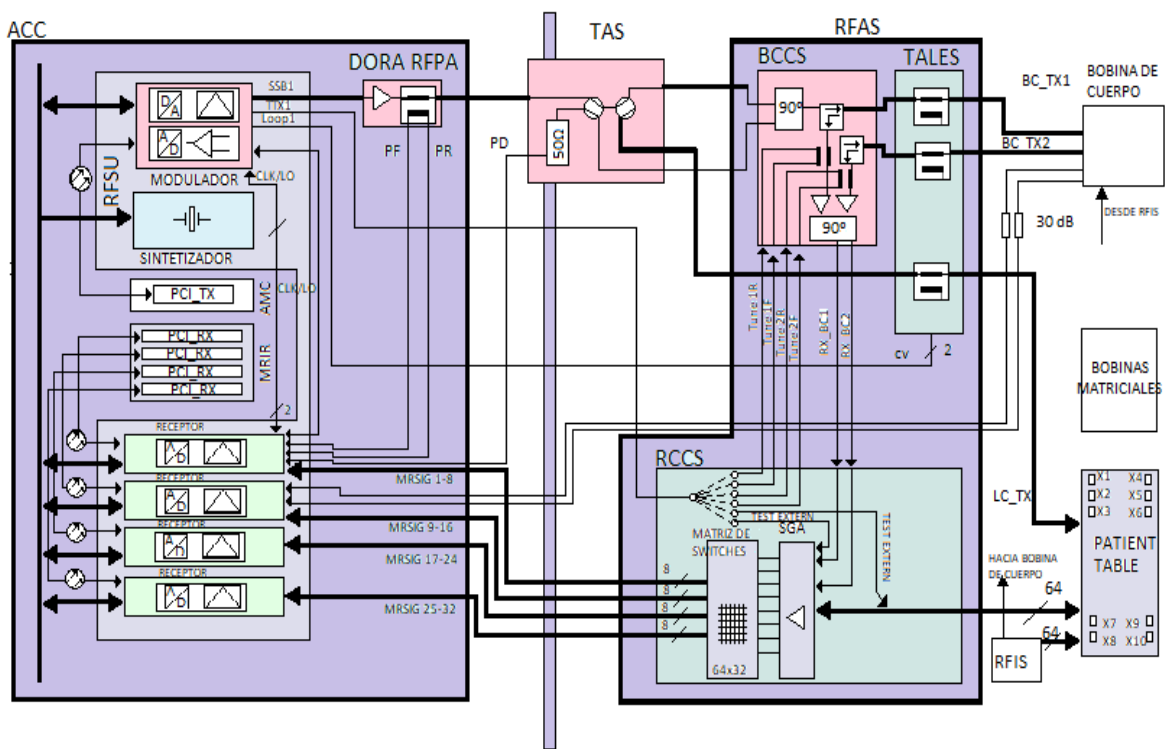


*RFAS indicado en color rojo*



*Acercamiento de la imagen anterior para mejor apreciación de la estructura del módulo.*

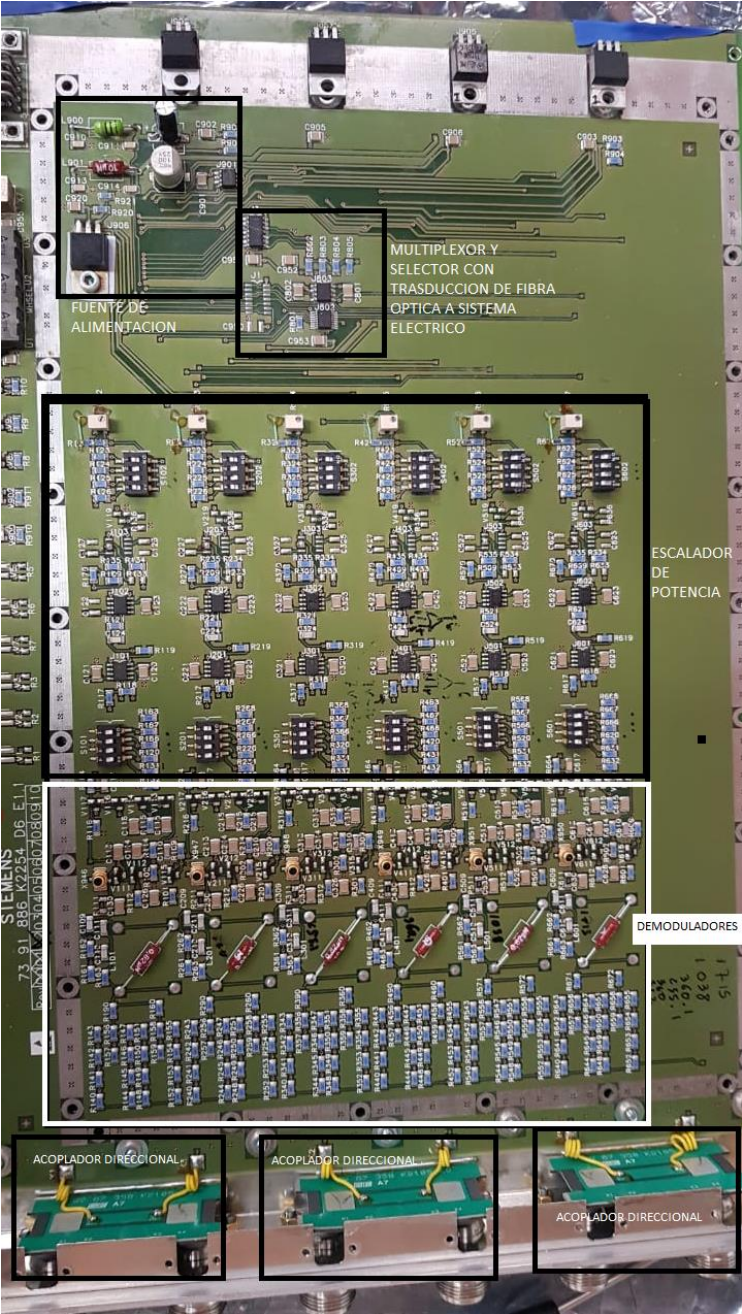
Para comprender mejor el funcionamiento de la tarjeta a mapear se realiza un diagrama de cómo está constituido el sistema de RF de la máquina. Se puede apreciar en el siguiente diagrama del sistema de RF que el módulo TALES forma parte del sistema llamado RFAS y antes de hacer una revisión al TALES se debe corroborar que no sea otro componente de este sistema, es decir que la carga en el módulo TAS este en buen estado, que el modulador este mandando la señal correcta al igual que el sintetizador tenga valores correctos de secuencia y timing, que BCCS este conmutando de manera correcta y que los canales de RCCS también sean evaluados de acuerdo a su señal. Esto se puede comprobar en exámenes por computadora.



Al hacer la exploración del módulo TALES se logra trazar un diagrama de bloques de cómo está compuesto y como interactúa con los demás módulos del sistema, esto con el fin de comprender como opera en conjunto. Cabe mencionar que esta es una parte ardua debido a que solo se tienen las etiquetas de cada módulo y cable en planta, por lo tanto, el proceso de exploración es relativamente largo y metódico. En la primera imagen se muestra como está compuesto el circuito físico y donde se ubica cada parte del mismo, y en la segunda imagen se presenta un modelo más elegante para mejor apreciación y facilidad de ubicación de los componentes.

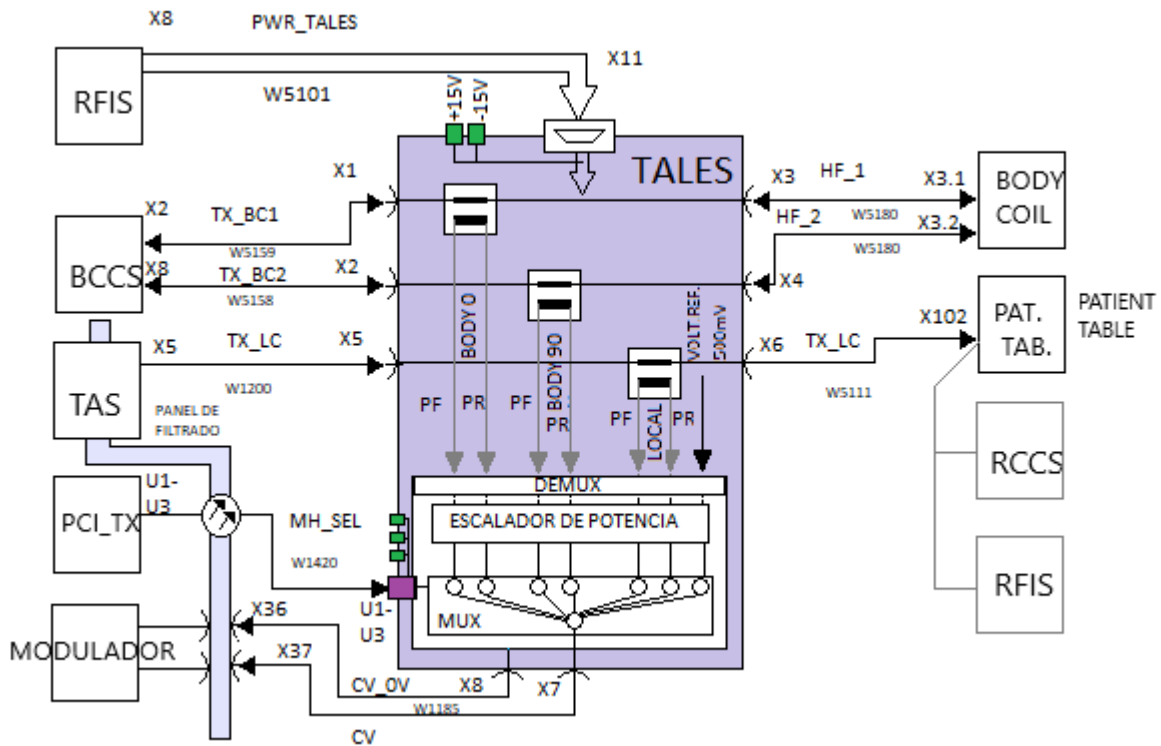


Se puede observar en esta imagen la ubicación de cada uno de los bloques de la placa. Una parte importante son los 4 transistores que están en el límite superior del módulo, los cuales sirven como reguladores de voltaje de la fuente de alimentación del mismo. Para que funcionen bien debe de tener una configuración de tres aislados completamente de la parte metálica y uno debe estar en contacto con el metal por razones de contacto a tierra. Es de vital importancia saber que en la parte del escalador de potencia se encuentran resistencias dispuestas de tal forma que están configuradas por un Deep-switch que tiene la función de dar valores de calibración para un voltaje de salida correcto hacia el bloque electrónico siguiente.



También se debe resaltar que en el bloque de los demoduladores existen filtros de apoyo y protección al sistema en caso de que a alguno de los acopladores direccionales se le induzca ruido, un transitorio o un armónico que pueda terminar afectando al sistema completo.

Para mejor comprensión de los bloques electrónicos se traza el siguiente diagrama donde se observa la interacción que tiene el módulo TALES con lo demás bloques del sistema de RF de la máquina de resonancia.



Al realizar un análisis de sus partes y funcionalidad, se tienen los siguientes elementos:

**Demoduladores:** La señal de RF captada sobre los acopladores direccionales es demodulada y filtrada produciendo un voltaje de dc proporcional al de la entrada.

**Escalador de potencia:** el voltaje de dc proporcional producido por los demoduladores es captado por este bloque y reducido a un voltaje más pequeño.

**Multiplexor:** Durante la transmisión, el módulo AMC (Advanced Measurement Control (ubicado en el gabinete ACC)) selecciona cada uno de los seis valores a través de un MUX (multiplexor) con las señales seleccionadas a través del cable MH\_SEL. La señal CV (Voltaje de bobina (salida TALES)) se emite a la placa del

modulador donde es digitalizada y leída por PCI\_MON en el AMC para calcular los valores de SAR.

**LEDs:** Los LED muestran la señal seleccionada que está midiendo el AMC.

**Acopladores direccionales (DICO):** Los acopladores direccionales son dispositivos pasivos usados en el campo de la radio tecnología. Estos dispositivos acoplan parte de la potencia transmitida a través de una línea de transmisión hacia otro puerto, a menudo usando dos líneas de transmisión dispuestas lo suficientemente cerca para que la energía que circula por una de las líneas se acople a la otra.

**Voltaje de referencia:** Además de la señal de RF que se mide, el TALEs emite un voltaje de control de referencia de dc de 500mV. La referencia se usa para verificar la precisión de la señal proveniente de TALEs.

La notación sobre los cables (HF, TX), son los nombres de los mismos, los nombres X n-ésimo son el número de entrada/salida de los módulos que interaccionan con el TALEs y del TALEs mismo (además de ser de tipo coaxial) y el número de abajo (W n-ésimo), son identificadores tal como el nombre. A diferencia de las demás entradas/salidas la entrada/salida llamada U1-U3 son terminales de fibra óptica para selección en el multiplexor. Los cables llevan su nombre de acuerdo a su función, por ejemplo:

PWR\_TALEs:

TX\_BC1: Transmisión a body coil 1

TX\_BC2: Transmisión a body coil 2

TX\_LC: Transmisión a local coil

MH\_CEL: Selección para multiplexor

CV\_OV: Referencia de coil voltage a 0V

CV: Coil voltage (voltaje de bobina)

HF\_1: High frequency 1

HF\_2: High frequency 2

De la misma manera los módulos con los que el TALEs interacciona se denominan de acuerdo a su función:

RFIS: RF Infrastructure (infraestructura de RF)

BCCS: Body Coil Channel Selector (Selector de canal de bobina corporal)

TAS: Transmit Antenna Selector (Selector de antena de transmisión)

PCI\_TX: Peripheral Component Interconnect Bus (Bus de interconexión de componentes periféricos para transmisión)

MODULADOR(MODULATOR)

BODY COIL: bobina de cuerpo

PATIENT TABLE: Mesa de paciente

RCCS: Receive Coil Channel Selector (selector de canal para recepción de bobina)

Con respecto a la interacción que tiene con el TALEs dentro del módulo BCCS el TX\_Hybrid produce un desplazamiento de fase de 90 ° y una división de potencia de la señal de transmisión del RFPA (RF power amplifier). El cambio de fase de 90° es requerido por Body Coil para desarrollar un campo polarizado circular. Para lograr esto con la mayor eficiencia y como una de las salidas más importantes hacia el TALEs, las impedancias de los puertos deben de estar balanceadas, es decir, las salidas X2 y X8 de BCCS que son X1 y X2 de la entrada del TALEs tienen que tener impedancias balanceadas para funcionar correctamente.

Por otro lado, el Selector de antena de transmisión (TAS) suministra conmutación mecánica de la señal de transmisión de RF a dos rutas de salida X5 hacia el TALEs y X6 hacia el BCCS.

El módulo PCI\_TX proporciona 3 salidas de fibra óptica al TALEs combinados con un selector hacia el multiplexor de este, que sirve como indicador del funcionamiento de la placa y la secuencia que debe llevar.

Las señales CV y OFFSET (X7 y X8) son señales multiplexadas procedentes del TALEs representan los voltajes de transmisión RF continuos y voltajes reflejados aplicados a la bobina del cuerpo. En el A / D es convertido en una frecuencia de muestreo de 500 kHz y enviada al AMC a través de la línea de fibra óptica SSB\_DIG1\_TX. Estas señales son utilizadas por el RF Software Safety Watchdog (RFSWD) para el cálculo del SAR.

Las salidas son (X3 y X4) del TALEs hacia la body coil. Al realizar la prueba de características de RF en la computadora comenzando con un valor nominal de 100 voltios, la salida aumenta hasta que se mida un valor de 566 voltios en TALEs a 63.48 MHz que son requeridos para que la bobina de cuerpo funcione correctamente.


Para la salida X6 hacia Local Coil también se toman mediciones, comenzando con una salida de 100 voltios (esto es solo un valor nominal). Las lecturas del TALEs se usan para aumentar la salida hasta que la salida sea de 250 voltios.

Por otro lado, la función que desempeña el módulo RFIS es proporcionarle voltaje de alimentación al TALEs, así como al BCCS y RCCS.

Acerca de la simbología en el diagrama de bloques se tiene:


) ó (: terminal para conector coaxial.

←: las flechas indican el flujo de la señal. De estas existen bidireccionales ←→

 : fibra óptica dual

o: son los puntos de conexión del multiplexor

 : indicador led para el selector y para el voltaje de alimentación

 : acopladores direccionales

 : conector Db9

 : bus de cables con terminal Db9



Para comprender la secuencia de los selectores del multiplexor (MH\_SEL) en la siguiente tabla se muestra el canal de salida del TALEs seleccionado según las señales seleccionadas por el MH\_SEL. (L = luz apagada, H = luz encendida, V=Voltaje).

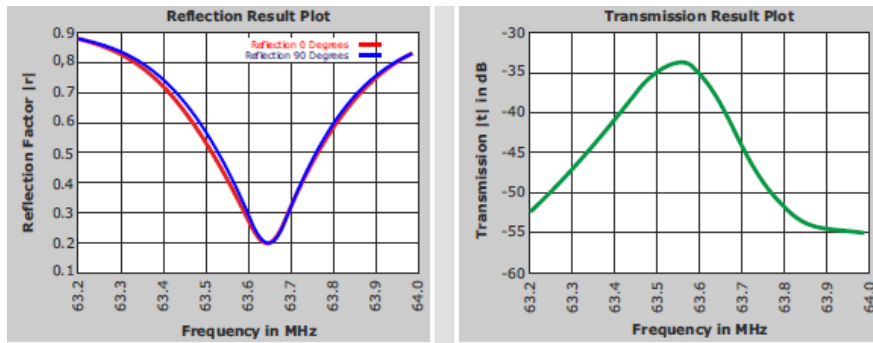
<b>SEL2</b>	<b>SEL1</b>	<b>SEL0</b>	<b>TALES</b>	<b>Información de X7 / X8 a MOD / CV y MOD / OFFSET</b>
L	L	L	X1-X3	V continuo (transmisión) (sistema BC de 0 grados)
L	L	H	X1-X3	V reflejado (sistema BC de 0 grados )
L	H	L	X2-X4	V continuo (sistema BC de 90 grados )
L	H	H	X2-X4	V reflejado (sistema BC de 90 grados )
H	L	L	X5-X6	V continuo (bobinas TX locales)
H	L	H	X5-X6	V reflejado (bobinas TX locales)
H	H	L	X8	Voltaje de offset (usado para corrección)
H	H	H	X7	Voltaje de referencia

La estabilidad y respuesta del módulo TALEs y de otros módulos del sistema también puede ser puesta a prueba por medio de una serie de exámenes por computadora, en los cuales se evalúa la reflexión y la transmisión de la señal que pasa a través de él. La siguiente grafica muestra una respuesta ideal de la señal medida. Este es un examen llamado BC tuning. Este procedimiento se utiliza para medir y, si es necesario, ajustar la frecuencia de resonancia central de cada uno de los dos sistemas Body Coil así como minimizar el acoplamiento entre ellos.

El procedimiento mide la respuesta de frecuencia de la body coil. sobre un rango de frecuencia de 800 kHz. La evaluación determina:

- si la frecuencia central de cada sistema Body Coil está entre 63.45-63.75 MHz
- que las frecuencias centrales de ambos sistemas de bobina están sintonizadas dentro de 100 kHz entre sí
- que el factor de reflexión no es más del 30% ( $r \leq 0.3$ )

La transmisión a través de la bobina del cuerpo, es decir, la cantidad de acoplamiento entre los dos sistemas Body Coil, describe una inductancia mutua entre los sistemas Body Coil debido a la construcción de la bobina. La transmisión se mide enviando una señal en el sistema 0 ° y midiendo lo que sale de los 90 °.



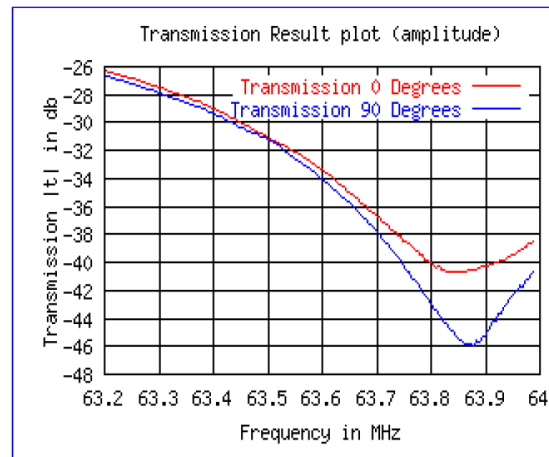
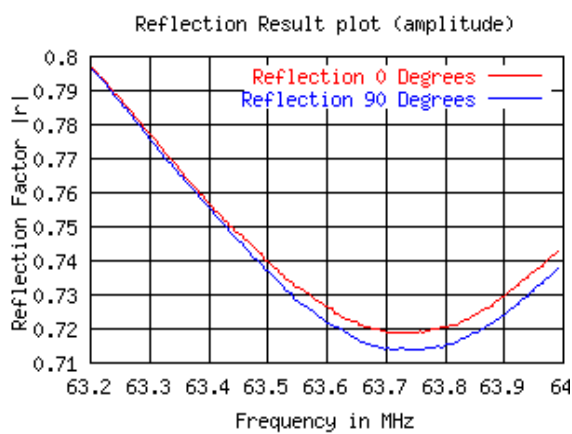
### Reflection (minimum) Step 1

	Frequency				Reflection Factor r			
	Value	Low Spec	High Spec	Unit	Value	Low Spec	High Spec	Unit
0 deg	63.64	63.45	63.75	MHz	0.2	0.0	0.3	
90 deg	63.64	63.45	63.75	MHz	0.2	0.0	0.3	
Delta	0.0		100	kHz				

### Transmission (maximum) Step 1

	Value	Low Spec	High Spec	Unit
Frequency	63.55	63.30	63.90	MHz
Decoupling	-33.66	-80.00	-16.00	dB

Medición de reflexión y transmisión en 0 y 90 grados (grafica ideal)



Medición de reflexión y transmisión en un equipo real por medio de computadora.

## Reflexión

	Frecuencia				Factor r			
	Valor	Mínimo	Máximo	Unidad	Valor	Mínimo	Máximo	Unidad
<b>0 deg</b>	63.74	63.55	63.85	MHz	0.72	0.60	0.80	
<b>90 deg</b>	63.74	63.55	63.85	MHz	0.71	0.60	0.80	
<b>Delta</b>	5.00	-70	-70	KHz				

## Transmisión

	Valor	Mínimo	Máximo	Unidad
<b>Frecuencia</b>	63.88	63.20	64.00	MHz
<b>Desacople</b>	-26.31	-80.00	-16.00	dB

Se puede apreciar en las gráficas para la reflexión que la curva característica en las mediciones reales se ve que sobrepasa las mediciones esperadas por un poco y de la misma manera la gráfica para la transmisión. También se observa la desviación que sufren las curvas de 0° y 90° en este equipo y, por lo tanto, se hace presente un problema que requiere de atención, eso son mencionar el ruido que se logra notar en las curvas de ambos factores, este problema estará latente y puede inducir ruido en las mediciones o afecciones directamente a la calidad de la imagen ya sea que venga desde el TALES o de la body coil.

Es muy importante mencionar que el sistema siempre tendrá un índice de reflexión que se acomodará a la potencia que esté recibiendo o que este entregando.

Por otro lado, se analiza el propio TALES con un examen específico que se llama RFAS funcional en donde se registra el comportamiento de la reflexión, la transmisión y los niveles de voltaje y de frecuencia que se maneja dentro del mismo.

Las mediciones se pueden apreciar en la siguiente tabla:

### RFPA-TALES

	Valor	Mínimo	Máximo	Unidad
Transmisión (TALES)	655.955	570.000	730.000	V
Reflexión (TALES)	75.129	0.000	200.000	V
Transmisión (DICO)	659.718			V
Reflexión (DICO)	35.575			V
TAS	61.983			V
Desviación de transmisión DICO-TALES	0.574	0.000	15.000	%
Razón transmisión/reflexión	5.392	0.000	30.000	%

El voltaje de transmisión o continuo como se mencionó anteriormente (forward TALEs) está en un rango de 570 a 730 V, para este caso el valor se encuentra en 655.955V, su centro está en 650V que denota que para el voltaje de transmisión de este equipo funciona bien, en caso contrario (de que no tuviera un valor estable de voltaje) el sistema se puede auto ajustar a las demandas, pero no tardara mucho tiempo para que falle otra parte del mismo y en consecuencia el problema se agrave y sea más difícil identificar la falla.

Lo mismo sucede para el voltaje reflejado, que está en un rango de 0 a 200V y su centro debería estar en 100V, pero para este caso está en 75.129V.

Los voltajes de transmisión y reflejados de los DICO (acopladores direccionales), el TAS y demás mediciones también se pueden apreciar y se sabe que estos voltajes de entrada están en un valor óptimo para el funcionamiento del equipo.

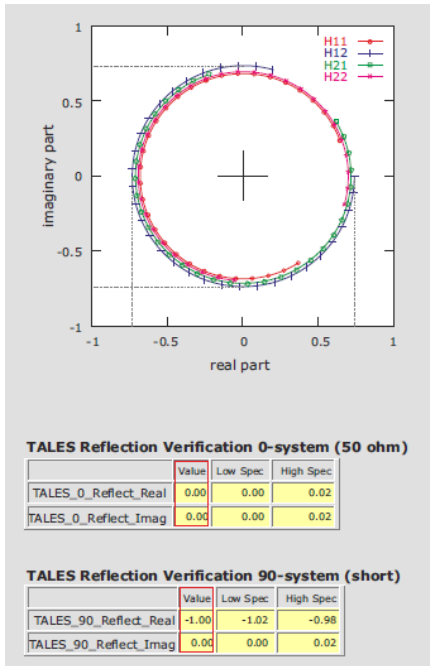
En adición al examen anterior se realiza una secuencia más de evaluación llamado Tuning Calibration en el cual se pueden obtener más detalles acerca del estado del TALEs con respecto a la reflexión existente en el mismo en ambas polarizaciones (0° y 90°).

El gráfico siguiente muestra los resultados del parámetro H (acoplamiento híbrido Rx). Cada línea de color representa uno de los cuatro parámetros H medidos y cada línea muestra las 31 frecuencias medidas (marcas de graduación).

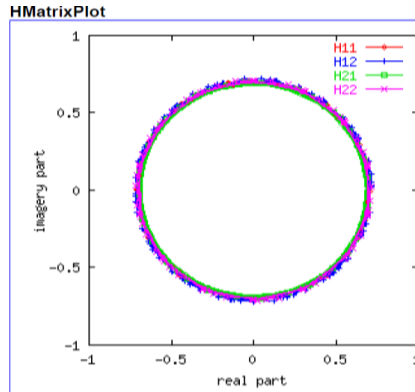
Es difícil interpretar este gráfico ya que las líneas siempre serán redondas. Sin embargo, se puede notar que la línea azul comienza, por ejemplo, en la parte real 0 y la parte imaginaria de aproximadamente 0,75 y se ejecuta en  $r = 0,6 / i = 0,2$ . Todas las demás líneas comienzan y terminan en diferentes puntos. El gráfico puede ser útil si se compara con las curvas medidas en un momento en que el sistema funcionaba correctamente. De lo contrario: no se puede hacer más.

Para que el Tuning Calibration sea verificado, se logra con dos medidas. La primera mide una terminación de 50 ohmios. En el sistema 0°, si la medición del tuning calibration fue correcta, las partes reales e imaginarias para 50 ohmios deben ser cero (= 0% reflexión). La segunda verificación mide un corto (0 ohmios) en el sistema de 90 ° que debería dar un resultado de real = -1, imaginario = 0 (100% de reflexión). Los resultados se muestran en las dos tablas.

La siguiente imagen muestra el estado ideal de la reflexión en el TALEs y los valores máximos y mínimos que son considerados para que trabaje correctamente.



Grafica ideal de la prueba



TALES Reflection Verification 0-System (50 ohm)

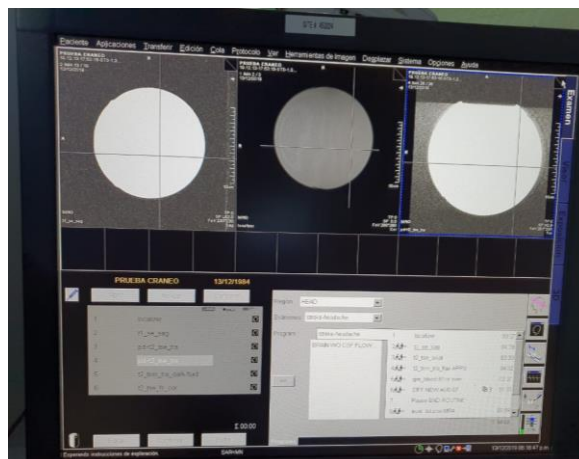
	Valor	Mínimo	Máximo
Tuning_0_Reflect_Real	0.00	0.00	0.02
Tuning_0_Reflect_Imag	0.00	0.00	0.02

TALES Reflection Verification 90-System (Short)

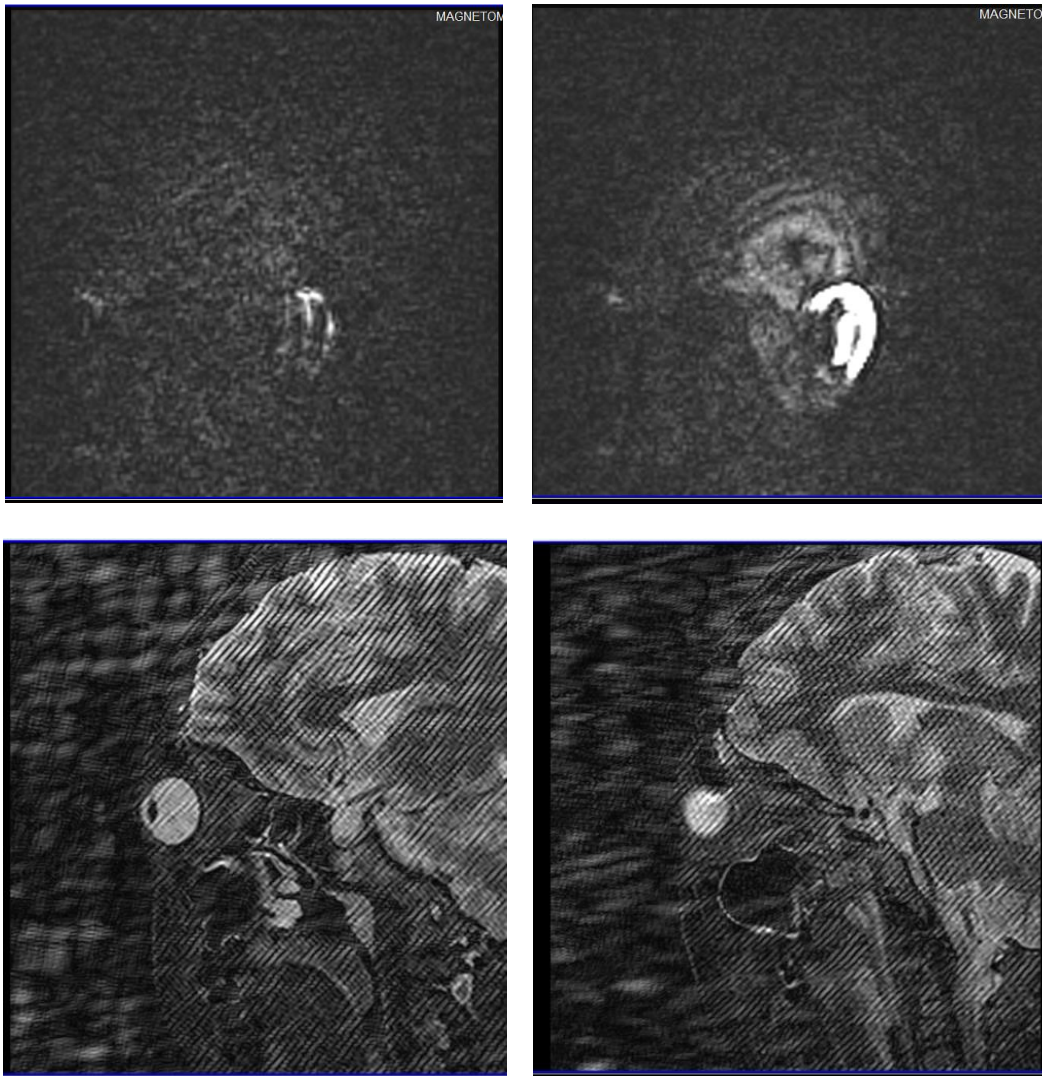
	Valor	Mínimo	Máximo
Tuning_90_Reflect_Real	-1.00	-1.02	-0.98
Tuning_90_Reflect_Imag	0.00	0.00	0.02

Grafica real de la prueba

Es importante mencionar que el mal funcionamiento de este módulo conlleva a obtener imágenes no tan buenas ya sea por ruido, interferencia, mala calibración, un componente electrónico dañado y mediciones del SAR con cierto índice de error (por mencionar algunos). se puede apreciar que la medición del SAR forma parte de la pantalla principal de la interfaz gráfica, esta medición está mostrada en porcentaje durante una secuencia programada tal como se muestra en la esquina inferior derecha de la imagen.



Las siguientes imágenes son parte de una secuencia de cráneo realizada a un paciente y se puede apreciar el patrón de ruido inducido a la imagen.

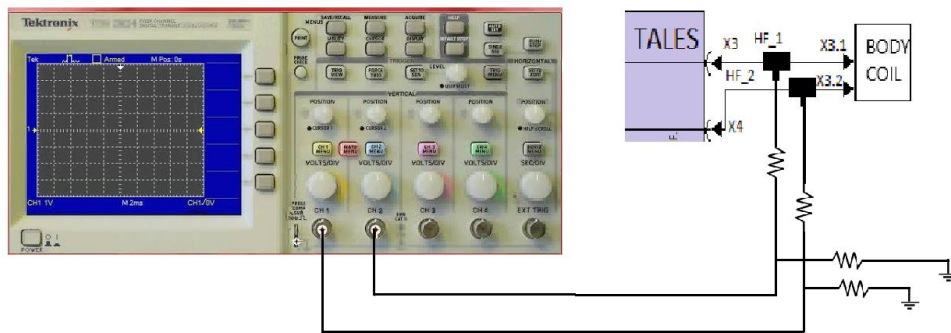


*Imágenes pertenecientes a una secuencia de cráneo de paciente. Se observa con facilidad la mala calidad de la imagen y el patrón de ruido inducido*

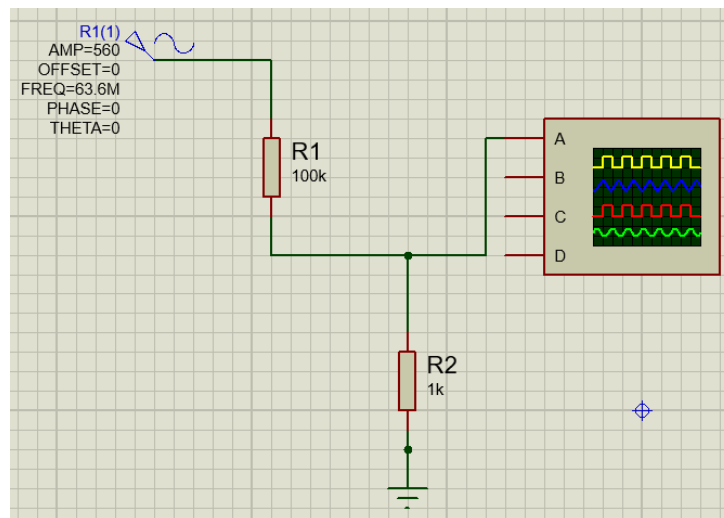
Por mandato de la empresa fabricante el módulo TALEs debe reemplazarse cada dos años como parte del servicio de mantenimiento. El viejo será enviado de nuevo para la recalibración.

## Elaboración de un sistema de medición

Para poder realizar el sistema de medición, primero se considera el voltaje y la frecuencia que se presenta en las salidas del módulo TALES X3 y X4 que van a body coil, y como se muestra en la imagen de la simulación se realiza un divisor de voltaje de tal modo que el voltaje medido con el osciloscopio sea en escala de 100 a 1 debido a que el valor original es de 560V con un centro de frecuencia de 63.60MHz, con esto se buscan valores de resistencias que lleven a cabo esta función. Hay que denotar que deben ser resistencias de RF, por lo tanto, que soporten altas frecuencias, de la misma manera las especificaciones del cable deben ser las mismas para soportar los valores de voltaje y frecuencia dados. La idea se plantea tal como se muestra en la siguiente imagen, aunque no es la única forma de revisar los niveles de voltaje es una buena opción.

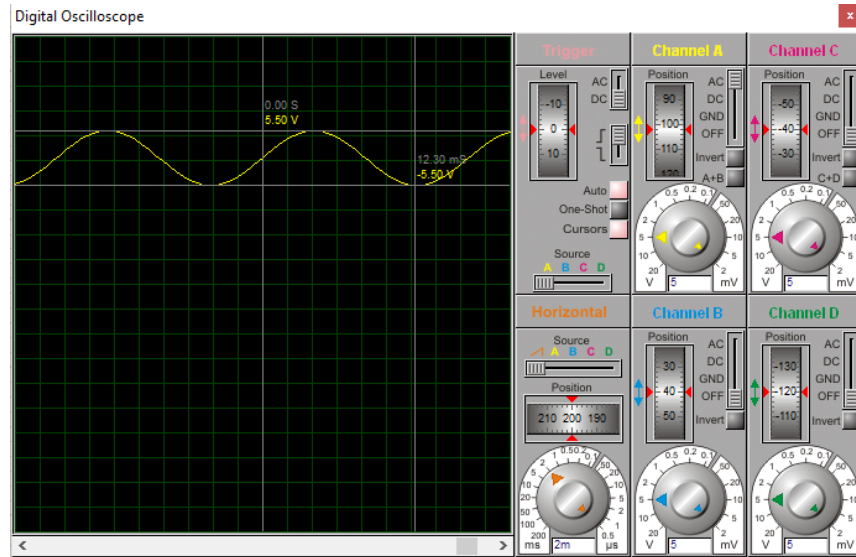


En la siguiente imagen se puede apreciar la simulación del sistema de medición tomado desde los acopladores direccionales (DICO).

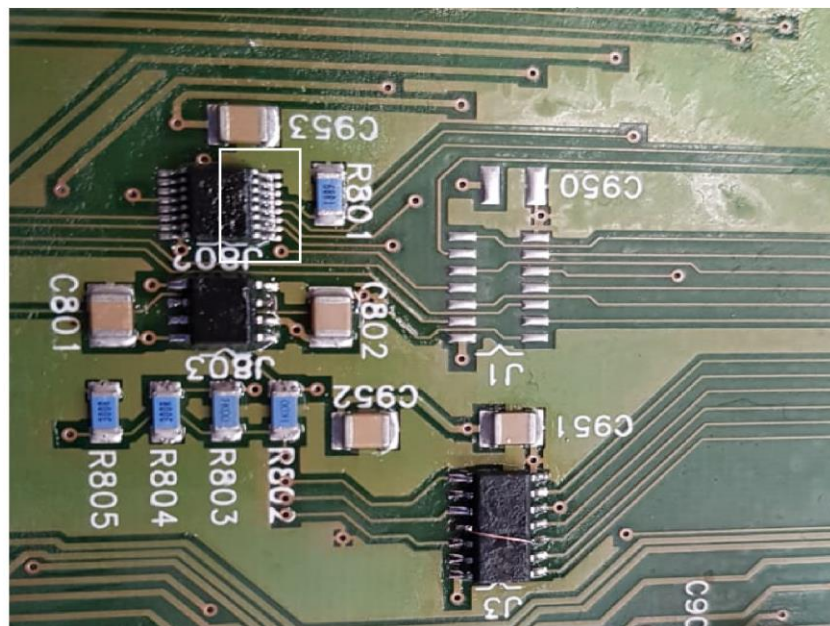


Como se observa en el osciloscopio el voltaje se redujo en relación de 100 a 1 para hacer la medición sobre los puntos mencionados.



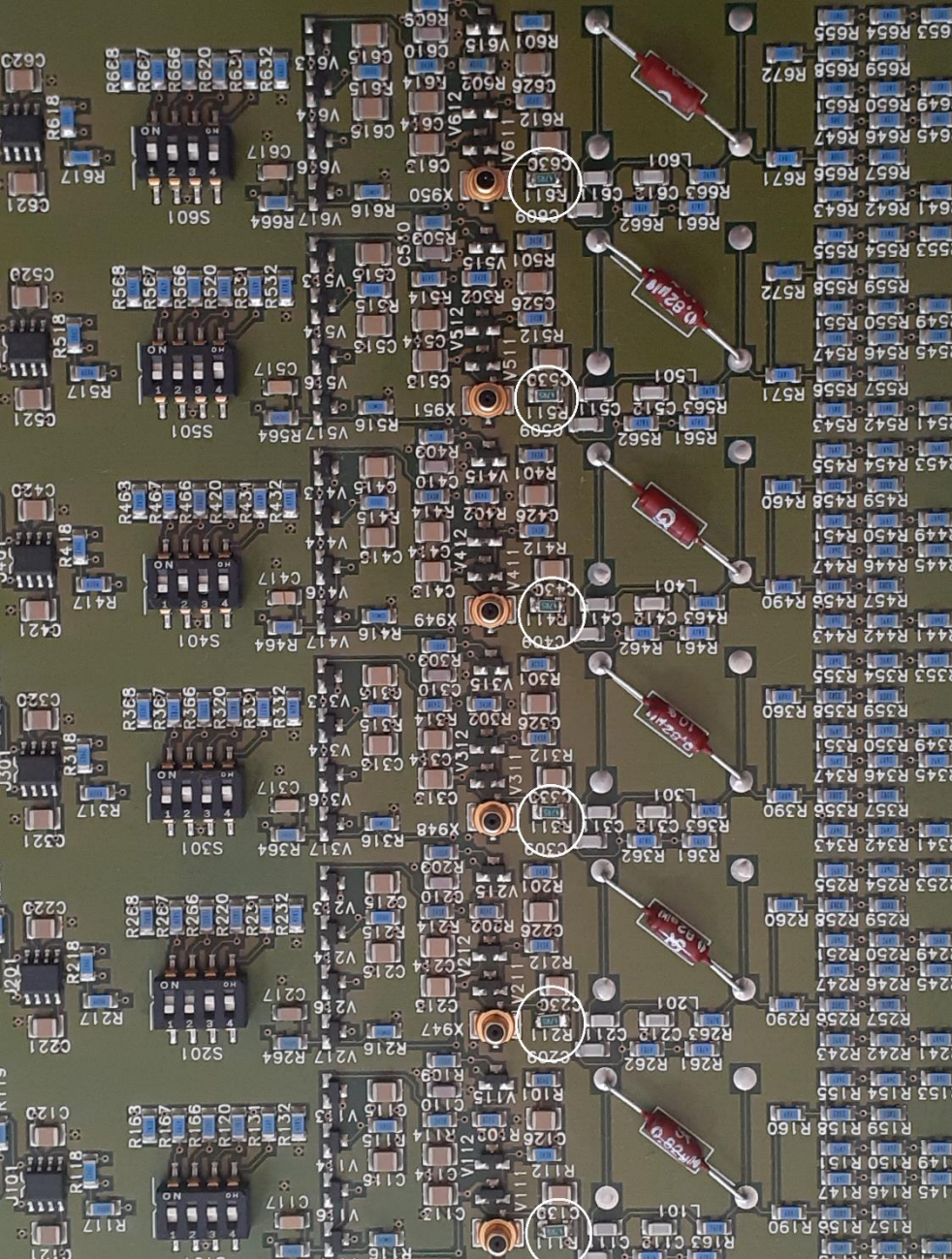


Existe otra alternativa que se puede tomar en cuenta, esto es medir directamente después del escalador de potencia, es decir justo antes de pasar por el multiplexor (IDTQS3257), la ubicación de estas dependerá del modelo del equipo y del mismo modelo de TALES. Se realizó una evaluación más de la tarjeta y se pudo apreciar que la medición también se puede hacer en este punto ya que al pasar el voltaje por el escalador de potencia se reduce y puede ser leído con el osciloscopio.



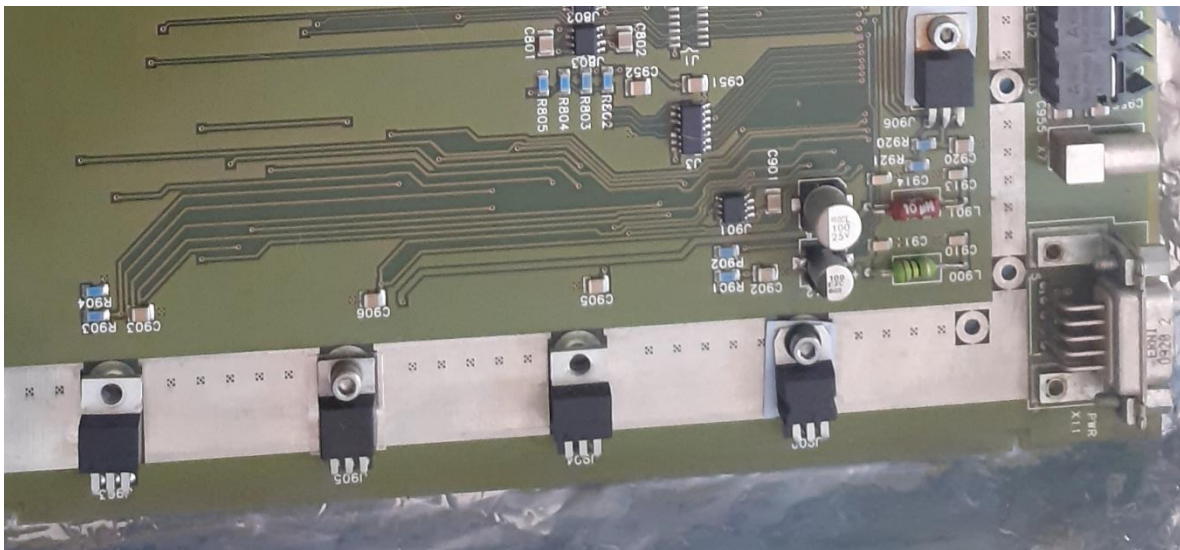


El modulo TALES tiene resistencias especiales de acoplamiento y es muy importante hacer una revisión de que este en óptimas condiciones. Esta resistencia es de tipo smd y es la única de color diferente a las demás, está ubicada en la parte de los demoduladores. Como estas reciben mucho voltaje son muy susceptibles a presentar problemas y llegar a quemarse (cosa que se puede observar con facilidad). La imagen muestra la ubicación de estas. Además, estas resistencias son la únicas en color verde del sistema y son resistencias fabricadas especialmente para RF de 100 MHZ.



Otro punto vital para revisión es la fuente del módulo, ya que si esta induce ruido a los demás componentes también se verá afectada la calidad de la imagen o el porcentaje del SAR no será bien medido. Para revisar la fuente se debe asegurar primero que todos los componentes estén en buenas condiciones por simple inspección (que no estén quemados). La fuente consta de componentes que con el desgaste son susceptibles a introducir o generar ruidos, como se muestra en la imagen.

La fuente cuenta con 4 transistores reguladores de voltaje y uno más para filtrado en conjunto con los capacitores y las bobinas que se observan justo debajo de este último, estos a su vez funcionan con un voltaje simétrico de +15, GND, -15 y con esto pueden ser puestos a prueba mediante un osciloscopio, tomando medida de las terminales de cada transistor para evaluar que su transferencia con el voltaje aplicado sea correcta y revisar que no exista ruido inducido en el componente.



Se puede seguir el mismo procedimiento de medición con los demás componentes que integran la fuente.

Por otra parte, se puede realizar una medición sobre el DICO (acoplador direccional), basta con energizar el modulo y medir en sus terminales de salida que no exista ruido inducido por parte de los demás componentes. de ser así afectaría directamente la frecuencia a la que trabaja el modulo, ya que esta es una entrada con frecuencia determinada y si se induce ruido podría llevar al mal funcionamiento de las etapas siguiente, en este caso el DEMUX y los filtros podrían no estar en el rango de frecuencia de corte. Por ende, revisar esta parte es vital para obtener buenas mediciones.

**En caso de que el sistema MR está encendido y en estado inactivo se deberá seguir un procedimiento como se describe a continuación:**

Conectar el cable de X7 / TALES y un Voltímetro a través del conector **T QLA** (conector coaxial de RF subminiatura de cierre rápido) a la entrada CV (coil voltage) del modulador. Desconectar los FOC (fiber optic cables) U1, U2 y U3 de AMC / PCI-TX y conectar los FOC a las salidas U1, U2 y U4 de AMC / PCI-MON.

Apagar F23 (switch de encendido para TALES) / AMC / RFSU; volver a encenderlo después de unos segundos.

- Durante el arranque automático del AMC, se puede medir el voltaje de referencia del TALES con el voltímetro, tensión nominal: 0.475 a 0.525 VDC como rango sugerido.

Si el voltaje de referencia no se puede medir en la prueba anterior, se debe:

- Retirar el MH\_SEL (U1 - U3) del TALES.
- Desconectar los FOC U1, U2 y U3 de AMC / PCI-TX y conectar los FOC a las salidas U1, U2 y U4 de AMC / PCI-MON.
- Apagar / encender F23.
- Durante el arranque y la autocomprobación del AMC, los tres FOC se iluminan.
- Por último restaurar el sistema a la configuración original.
- Por otro lado, para evaluar la señal de CV (coil voltage (voltaje de bobina)) se realiza un procedimiento, pero con alcance limitado tal como sigue:
  - Verificar el correcto funcionamiento de TALES.
  - Identificar interferencias y errores adicionales de RF en el cable modulador del TALES (entrada CV).
  - Verificar la conexión correcta de las líneas de control FOC MH\_SEL U1, 2, 3 en TALES.

Para la configuración de la medición se realiza el siguiente procedimiento.

- Con un conector T QLA, conectar la señal CV del TALES y el osciloscopio con el módulo RFSU / modulador.
- Ajustar el CH1 a 0.1 mv / div y la escala de tiempo a 2  $\mu$ s / div.
- Colocar el body phantom (cuerpo fantasma (se muestra en la siguiente imagen)) y el cargador en el imán; registrar un paciente de prueba en la computadora.

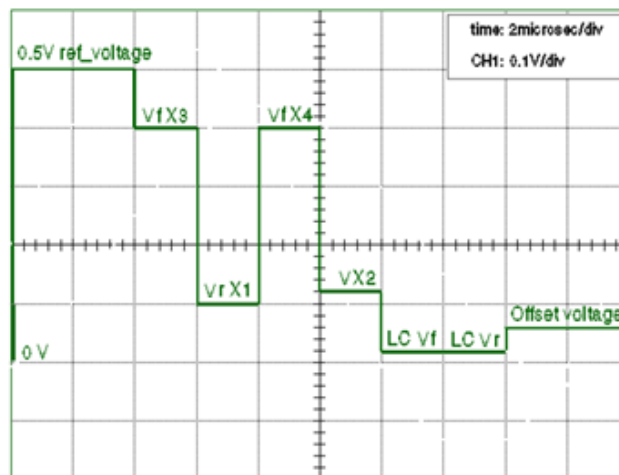




- Cargar y abrir la secuencia de servicio rf\_pulse en la computadora:
- Seleccionar / verificar las tarjetas de parámetros de secuencia:
- Resolución: Resolución base: 128
- Contraste: TR = 101ms, TE = 1ms, Mediciones 20  
(Tiempo de medición 4:19 min)
- Sistema, transmisor / receptor, transmisor a amplitud de 200V (la amplitud de pulso debe ser ingresada para cada nueva medida)  
Comenzar la medición. El siguiente ejemplo de una forma de onda corresponde a un TALEs de funcionamiento normal y una línea de señal intacta del TALEs a la entrada CV del modulador.
- Realizar la medición con diferentes amplitudes de transmisor y verificar los cambios correspondientes de forma de onda en el osciloscopio.

Alternativamente, se puede usar una secuencia de imagen normal, p. se\_15b130.

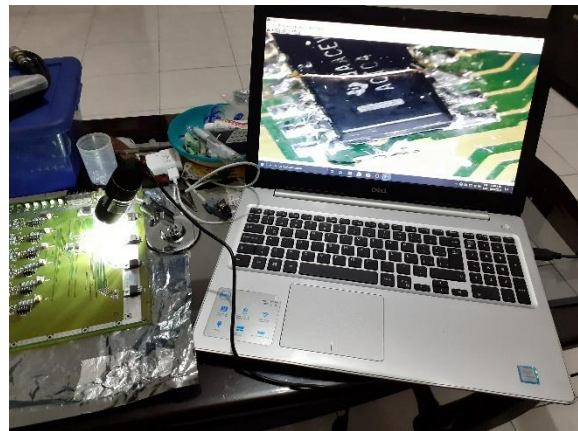
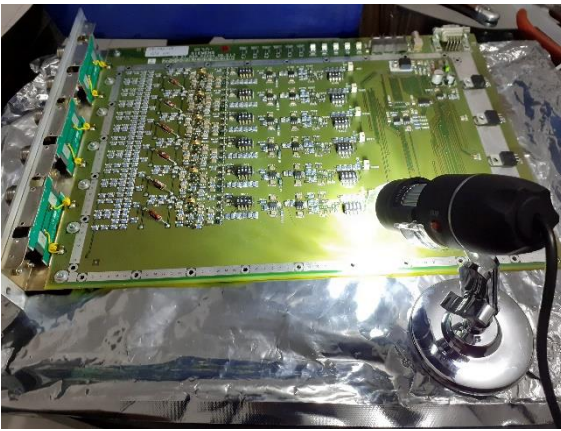
Bajo las condiciones de medición descritas, la secuencia cronológica de los segmentos de forma de onda es siempre la misma. Sin embargo, la visualización en el osciloscopio, del punto de partida, depende de las condiciones de su activación. Como orientación, se puede usar el segmento de voltaje de referencia de 0.5V.



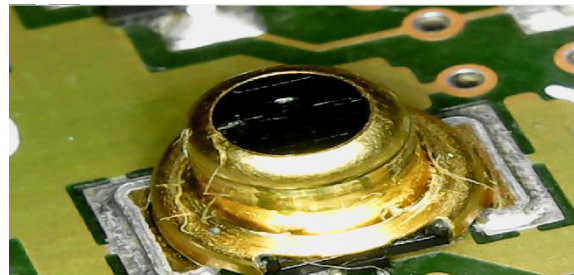
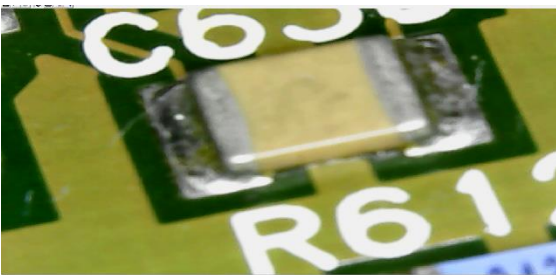
Las alturas de señal de los voltajes continuos o de transmisión (Vf) y reflejados (Vr) son proporcionales al voltaje del transmisor utilizado, por lo consiguiente LC Vf (voltaje directo de transmisión de bobina local) y LC Vr (voltaje reflejado en bobina local) también lo son.

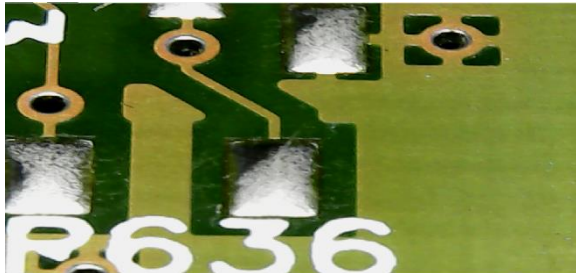
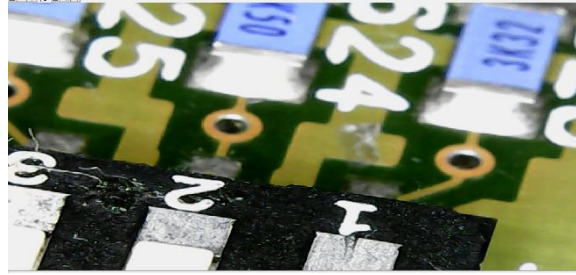
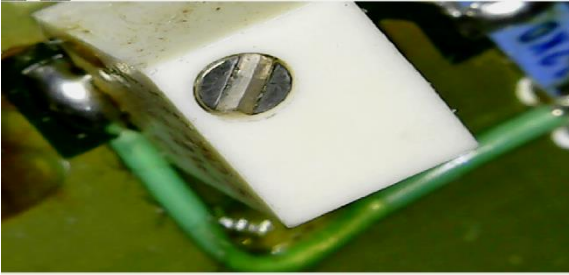
## Implementación del sistema de medición

El sistema de medición puede parecer simple, pero lo que realmente es importante es el punto donde se realiza y el haber descartado que no sea otro sistema o módulo de la máquina de resonancia. En la primera evaluación, se debe comprobar que los componentes estén en estado óptimo, es decir que no estén quemados o que al energizar el modulo ninguno esté disipando demasiada potencia en forma de calor o que una de las soldaduras no esté haciendo un buen contacto con el componente. Esta primera exploración se realizó utilizando un microscopio electrónico como se aprecia en las imágenes.



Se revisó minuciosamente en busca de rupturas de pista, componentes dañados y malas soldaduras.





Después de revisar componentes se realiza la medición de los acopladores direccionales en busca de ruido, energizando el modulo y midiendo la entrada y la salida del DICO, esto comprobara que la transferencia de potencia de la entrada con respecto a la salida no este dañada o se esté induciendo un armónico de forma directa o en retroalimentación. La medición se puede observar a continuación.



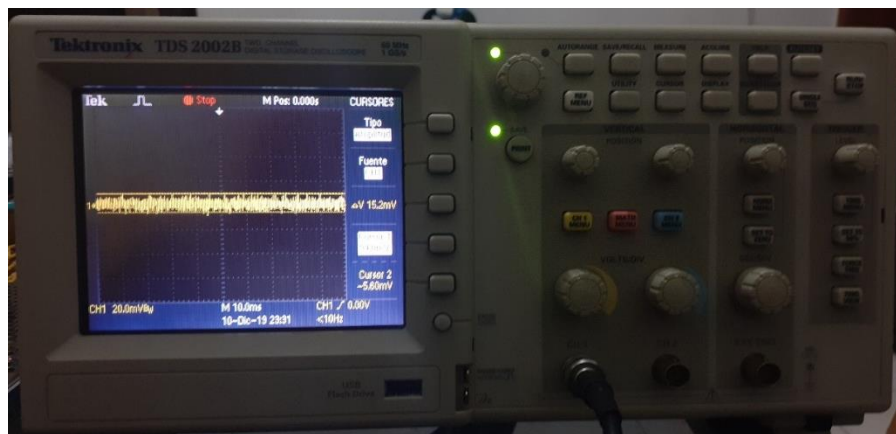
*Modulo TALES energizado*



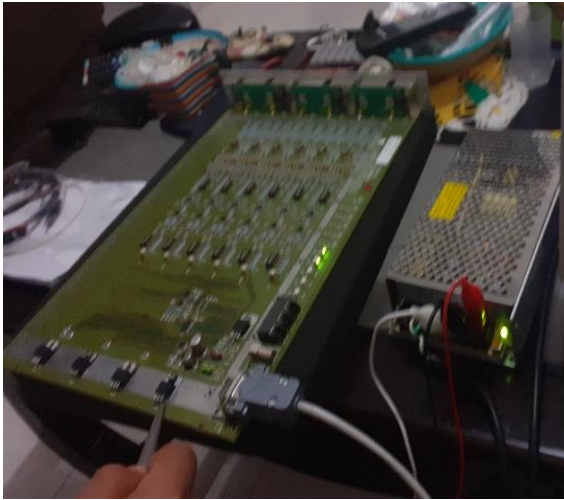


Medición del DICO

Se puede apreciar rápidamente el ruido y el voltaje de realimentación que se ha inducido hasta la salida del DICO, con un  $V_{rms} = 2.35\text{mV}$ , pero si se hace un acercamiento con los cursores resulta un voltaje son amplitud de ruido  $15.2\text{ mV}$  con una frecuencia de  $47.37\text{kHz}$ . el voltaje inducido es muy pequeño pero la frecuencia a la que está induciendo dicho ruido trae consigo problemas en la calidad de imagen y en la medición del SAR. Esto apunta a que algún componente está generando una realimentación al acoplador y se debe identificar rápidamente.



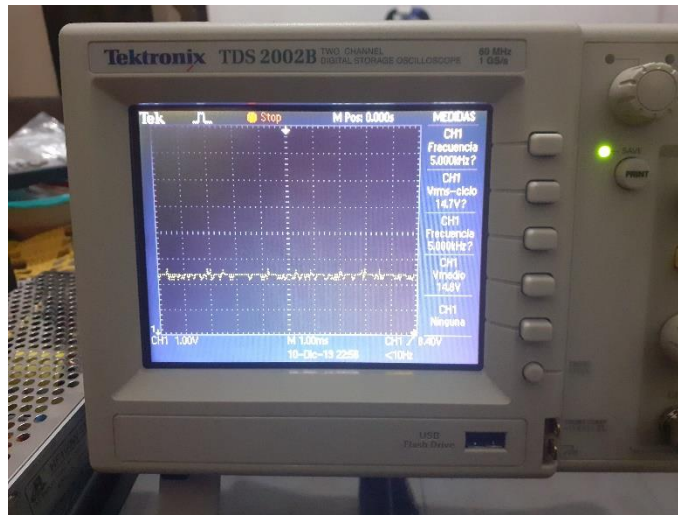
Como siguiente punto de medición se hace la evaluación de la fuente de alimentación del módulo midiendo cada transistor y componente de esta.



*Medición de transistores*



Las mediciones de los transistores en sus salidas arrojaron los datos que se presentan en las siguientes imágenes, el primero en analizar es el que está trabajando en conjunto con el filtro de la fuente, después se mide uno por uno los cuatro que son parte de la regulación de la fuente yendo de derecha a izquierda.



*Transistor 1*



*Transistor 2*



Transistor 3



Transistor 4

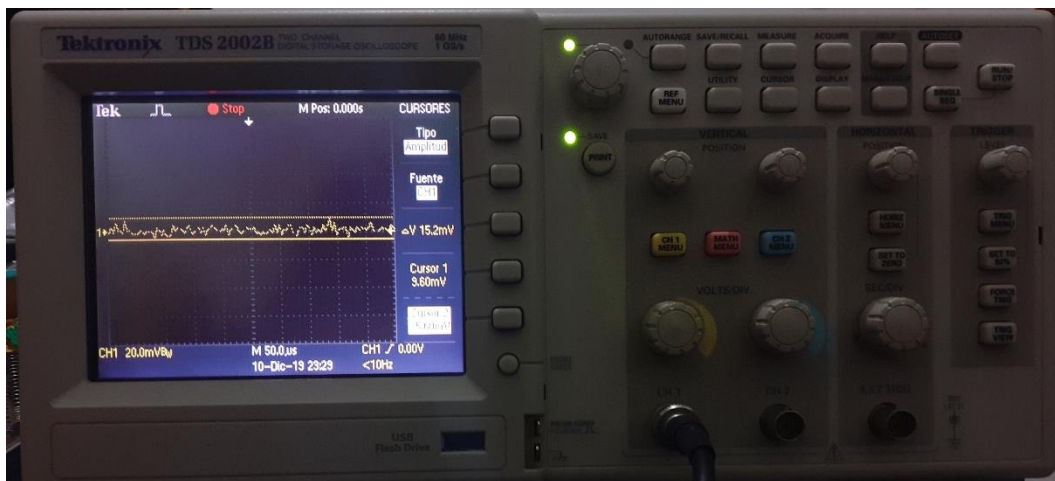


Transistor 5

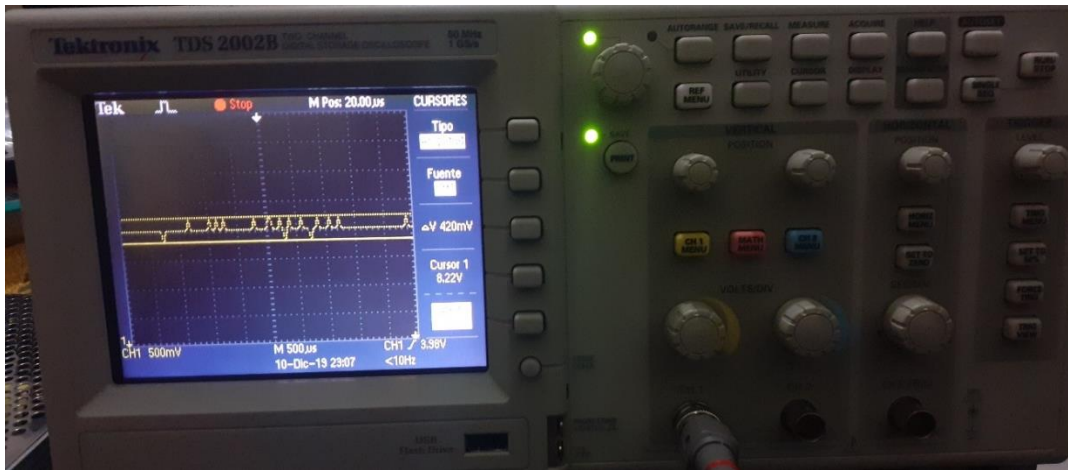
Tal como se puede observar en las imágenes hay una perturbación a la salida de cada uno de estos transistores, en el transistor 1 la salida tiene un valor de 14.7V con respecto a los  $\pm 15V$  de la entrada y un ruido con frecuencia de 5.00 KHz.

El transistor 2 tiene una salida de 8.02 V con una frecuencia de ruido de 183.8Hz, el transistor 3 tiene una salida de 12.3 V con una frecuencia de ruido de 2.778KHz, el transistor 4 tiene una salida de 14.6 V con frecuencia de ruido de 25KHz y por último el transistor 5 tiene una salida de 14.7V con una frecuencia de ruido de 5.00 KHz.

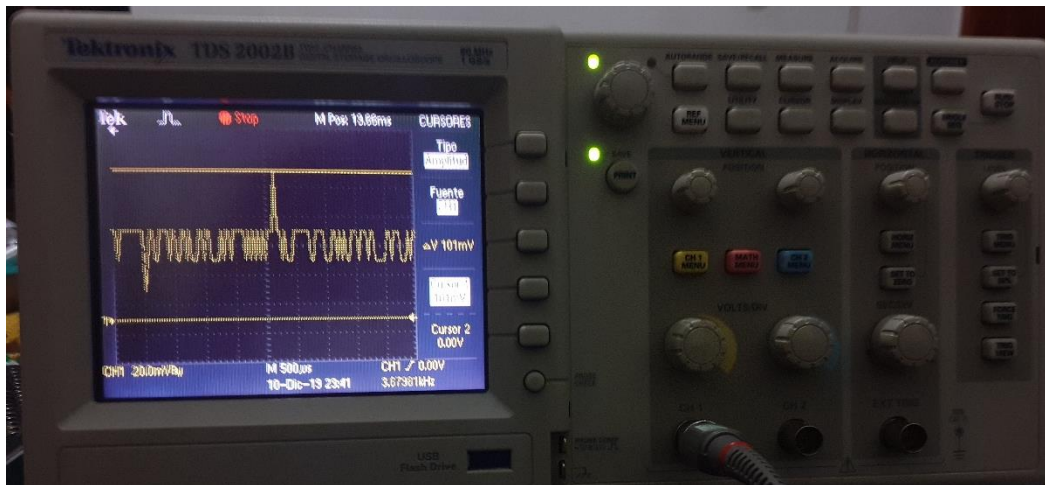
Es importante mencionar la amplitud medida del ruido de los transistores, con el osciloscopio se logró medir la amplitud de ruido inducido de cada uno de estos, y se muestra en las siguientes imágenes. Se puede decir que las amplitudes del ruido en la salida de cada uno de los transistores son similares, ya que están en el rango de mili volts y algunos tienen casi la misma amplitud de ruido. otro punto importante es mencionar que la amplitud del ruido se midió de pico a pico es decir desde su punto máximo hasta su punto mínimo para tener en cuenta ciertas consideraciones de los niveles o de los armónicos que pueden estar involucrados.



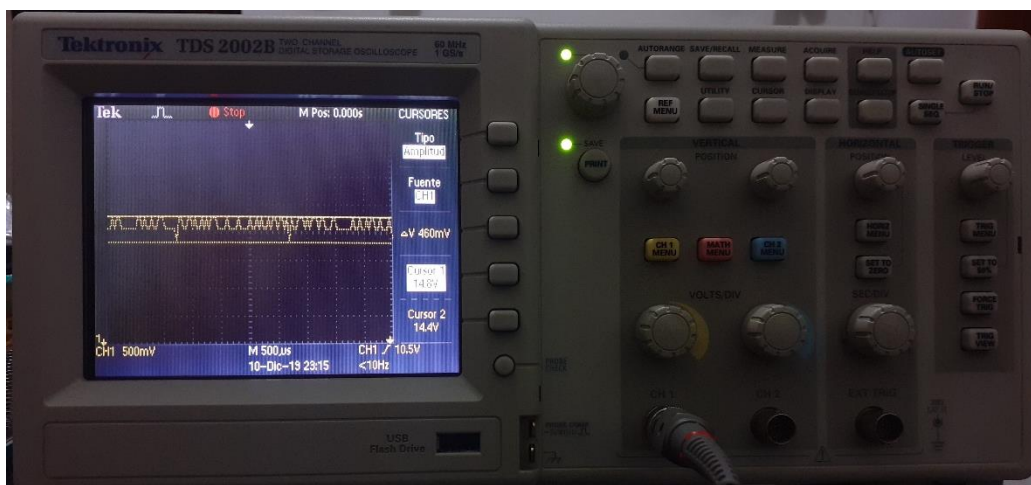
Transistor 1



Transistor 2



Transistor 3



Transistor 4





## **CAPITULO IV**

### **Parametrización de resultados**

En primer lugar, se hace mención de los exámenes de rutina que se hacen al equipo, para este caso el voltaje de referencia de 500 mV con el conector T-QLA indican que este valor se encuentra en rango y de la misma manera la secuencia del multiplexor con selectores MH-SEL están operando en una secuencia correcta.

En los exámenes de evaluación por computadora se puede notar un ligero corrimiento de las gráficas obtenidas con respecto a las gráficas que se esperan obtener en la parte del examen de BC Tuning, lo cual ya genera un diagnóstico rápido, pero se continua con la parametrización y de acuerdo a niveles establecidos se está generando una perdida en dB en la parte de transmisión.

Por otro lado, el examen Tuning calibration muestra el estado del factor H (acoplamiento hibrido Rx) de acuerdo a la polarización circular que tiene el modulo. En esta parte no hay mucho que decir ya que arroja valores que están en perfecto estado de acuerdo al acoplamiento y el estado de la gráfica ideal.

Siguiendo con los resultados, el estado de los componentes está en perfectas condiciones, las soldaduras de la misma manera y la placa está completamente limpia.

En el análisis de las señales eléctricas de la placa se encontraron anomalías de realimentación en las salidas de los acopladores direccionales (DICO), así también el ruido que este recibía al ser energizado el modulo.

Al momento de analizar la fuente y cada uno de sus componentes se encontró ruido inducido por los transistores de regulación con los valores mencionados anteriormente y así también el transistor del filtro, las bobinas se encontraron en perfecto estado y en los capacitores se encontró que la salida de uno también inducía cierto nivel de ruido. A manera de delimitar los resultados que se obtuvieron en los transistores, se espera siempre que su transferencia sea voltaje dc-dc sin ver ruido o interferencias a la salida de estos.

### **Evaluación de resultados**

Según los datos descritos en el apartado anterior este equipo se encuentra en mal estado y se debe dar mantenimiento. Por otro lado, se puede crear una secuencia para la evaluación de los resultados siguiendo el orden en el que se realizaron los exámenes descritos arriba. Los parámetros medidos y revisados de la placa, los exámenes a computadora y el ruido que se ven en las imágenes apuntan a que se debe hacer mantenimiento correctivo lo más pronto posible, ya que en el campo un día sin hacer exámenes representa una pérdida directa de capital al hospital o la clínica de donde se encuentra el equipo.

## **Mapeo de fallas**

En este punto las fallas que se presentan en el equipo son fácilmente identificables y se deduce que el principal problema de la tarjeta de acuerdo a los exámenes y procedimientos realizados es la fuente de alimentación de la misma tarjeta, como punto de referencia se toman los transistores y posiblemente uno de los dos capacitores electrolíticos. En orden el modelo de cada transistor es: LM317T, LM340T12, MC7912CT y LM337T. de estos transistores los primeros 3 son reguladores comunes y trabajan con voltajes positivos y los dos restantes son reguladores que trabajan para establecer los niveles de voltaje negativos ya que el sistema trabaja con fuente simétrica, teniendo esto en cuenta se puede tener un panorama más claro de qué hacer con las fallas presentadas e identificadas.

## **Análisis de fallas y propuestas para resolución**

Se hace hincapié en que las fallas presentadas como el ruido y voltaje de realimentación en el acoplador direccional, así como patrón de ruido visto en la secuencia de cráneo son producidas a partir de la fuente del módulo TALEs. Con este procedimiento de evaluación descrito se revisaron dos tarjetas más y de la misma manera, los componentes que inducen el ruido son los transistores reguladores de la fuente de alimentación, es importante mencionar que el ruido puede parecer pequeño en amplitud (en el orden de mV) pero un pequeño ruido en este tipo de sistemas puede llegar a ser un problema importante en la obtención buenas imágenes y mediciones certeras.

Dadas las situaciones, por estadística el componente o bloque más susceptible a fallas en este tipo de sistemas son los componentes de la fuente de alimentación, esto se debe a la exposición continua al campo magnético de la máquina, al calentamiento por demanda de potencia o por desgaste físico de los mismos componentes.

La acción que se debe realizar inmediatamente después de haber evaluado la placa es cambiar los transistores para este caso. Los transistores son comerciales y para facilidad se pueden encontrar en páginas confiables de venta de componentes electrónicos, como sugerencia digikey es una buena opción para encontrar este tipo de componentes. En caso de que se visualice un componente quemado se debe cambiar inmediatamente. Otro factor importante es la soldadura a la hora de cambiar los componentes, es decir, se debe asegurar que no queden excesos, que la temperatura no exceda la especificada para el componente y que queden bien aislados (para el caso de los transistores). En caso de que se deba cambiar un componente smd se recomienda utilizar un microscopio para soldar o una lupa para que la soldadura quede en perfecto estado. Se debe tener especial cuidado de no quemar los alrededores de la placa a la hora de soldar ya que si es un transistor superficial usa parte de la placa para hacer la acción de disipación en conjunto con

la soldadura aplicada y al no tener una buena superficie de contacto los problemas seguirán existiendo.

### **Métodos de prevención**

El método de prevención más efectivo encontrado es la constante revisión del módulo y su limpieza periódica, como recomendación tomar un lapso de 4 meses para revisión técnica y recalibración del sistema. Si en un determinado caso llegara a fallar se debe usar los procedimientos de revisión y mantenimiento que ya se han descrito. Una recomendación extra es estar en contacto con el técnico radiólogo del sitio (hospital o clínica) donde se encuentre el equipo para tener más control sobre el monitoreo del módulo.

### **Análisis de viabilidad**

Con la información obtenida hasta ahora se podría hacer revisiones y reparaciones del módulo TALEs dentro del territorio mexicano lo cual apunta directamente al cumplimiento del objetivo principal de este trabajo. Esta información se ha logrado obtener gracias al estudio del módulo con detenimiento y análisis, es decir, la empresa fabricante del módulo no permite que sus ingenieros en México puedan echar mano de este para reparaciones, solo se les permite hacer pruebas de alcance limitado y dentro de sus instalaciones. Teniendo en cuenta esto, es el primer trabajo en el mundo de esta categoría publicado hasta ahora lo que quiere decir que se puede tomar parte de la demanda total para reparaciones y mantenimiento del módulo dentro del país.

EL modulo TALEs por mandato de la empresa fabricante se debe mandar hasta Alemania cada dos años por cambios, mantenimiento y reparaciones necesarias lo que genera un costo elevado para los consumidores (clínicas y hospitales que cuentan con estos equipos).

Según la página DOTMED (quien tiene a la venta este tipo de módulos y maneja los precios de la empresa fabricante) con dirección:

<https://www.dotmed.com/listing/mriaccessories/siemens/unknown/4753112/2403488>, el precio de un módulo TALEs para una máquina de resonancia magnética de modelo AVANTO de 1.5 T es de \$7,934.00 USD y en una consulta al diario "EL MILENIO" el día 16/12/2019 el dólar estadounidense tiene un valor de \$19.00 MXN, haciendo los cálculos en moneda mexicana el precio del módulo es de \$150,746 MXN, este precio está sujeto a los honorarios aduanales e impuestos.

Según una cotización de una pieza como esta, hecha por la empresa Paragon Synergies, se agrega un 10% del precio total por concepto de importación y 16% más del IVA. Haciendo los números resulta que el valor de importación es de \$15,074.6 MXN y del IVA es \$24,119.36 MXN haciendo un total de \$39,193.96 MXN. Y agregando esto al valor de la pieza resulta un total de \$189,939.96 MXN, este precio suponiendo que la pieza se adquiriera en Estados Unidos.



En equipos instalados de la empresa fabricante los módulos se deben cambiar estrictamente cada dos años, es decir, el viejo se envía y mandan uno nuevo con el costo listado arriba, entonces resulta un tanto costoso para los hospitales y clínicas que tienen este tipo de máquinas.

El método de diagnóstico y solución que se logró crear en este trabajo ofrece una gran oportunidad de reducir los costos considerablemente, es decir, para el modulo que se analizó se cambiaron todos los transistores de la fuente, estos tienen un precio de acuerdo al modelo y la cantidad, suponiendo que se piden por valor unitario los precios son: LM317T = \$0.64USD X2 = \$1.28 USD, LM340T12 = \$1.54 USD, MC7912CT = \$0.60 USD y LM337T = \$2.37 USD.

Si prevemos el peor de los casos, es decir que se tengan que cambiar los 2 capacitores de la fuente y las 6 resistencias de acoplamiento los precios son: resistencias 47R5 = \$10 USD X6 = \$60 USD, capacitor R0CL100 25V = \$0.47 USD X2= \$ 0.94 USD.

Si se convierte todo a pesos mexicanos los precios son: LM317T = \$24.32 MXN, LM340T12 = \$29.26 MXN, MC7912CT = \$11.4MXN, y LM337T = \$45.03 MXN, resistencias 47R5 = \$1140 MXN y capacitor R0CL100 25V = \$17.86 MXN.

Esto hace un total de \$1267.87 MXN, a esto se le agregan gastos transitorios como aislantes, pasta térmica, desgaste del equipo de soldadura y el costo del servicio, como recomendación se puede ofertar el mantenimiento completo en \$30,000 MXN, cantidad que es mínima en comparación con los precios manejados por la empresa fabricante lo que apunta claramente a una reducción de costos enorme en el servicio y mantenimiento de este módulo, esto sin mencionar el corto tiempo de reparación de la tarjeta y la fácil movilidad de la misma. Es importante decir que en la empresa fabricante mientras se manda la tarjeta a reparar y mientras mandan una nueva se lleva un periodo muy largo y por lo tanto la maquina queda deshabilitada lo que genera más pérdidas al cliente, por lo tanto, el procedimiento de evaluación y mantenimiento queda como una opción de servicio muy viable y que genera un costo-beneficio competente y excelente en el mercado.

## **CAPITULO V**

### **Conclusiones**

Este trabajo fue una solución en respuesta a una de las problemáticas más comunes que se presenta en una máquina de resonancia magnética de la marca siemens de modelo avanto en su versión 1.5T. Con los resultados obtenidos ahora se tiene un método para la revisión y evaluación del módulo TALEs de dicha máquina de resonancia magnética. Se lograron completar los objetivos planteados al principio que remarcaban la exploración de este módulo con fines de mapeo y visualización de puntos de medición críticos para obtener un método de medición con el cual el diagnóstico y el mantenimiento fueran posibles dentro del territorio mexicano.

El proceso de mapeo de esta tarjeta logro desentrañar el funcionamiento de cada uno de los bloques que la componen y como se da su proceso de operación en conjunto. De la misma manera se logró la delimitación de los resultados obtenidos en cada punto de medición y con esto poder identificar fácilmente en que parte se encuentran las fallas que se presentan.

Sin duda de los resultados más importantes es el bajo costo que genera en comparación con la empresa fabricante el hacer los procedimientos de servicio y mantenimiento al módulo dentro del país, esto facilita mucho la movilidad y también se logra la agilización del tiempo para poner en marcha el equipo y así evitar pérdidas mayores y con esto la satisfacción del cliente.

## Referencias

Romero G., Andrés F.. (2015). Protocolo de pruebas para evaluar el SAR (Tasa de Absorción Específica) producido por terminales móviles. Congreso Ecuatoriano de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, Volumen 6 No. especial (2015) TIC. EC: Congreso Ecuatoriano de Tecnologías de la Información y de las Comunicaciones, Páginas 119-127.

Wilder E. Castellanos y Sergio Gonzalez. (2006). Instrumento para medir el índice específico de absorción de ondas electromagnéticas de un teléfono celular. REVISTA ESPEC. EN SIST. INFOR. Y ELECT. DE TELEC., RESET-UTS-2006-NO.1 VOL.1, paginas 1-6.

Menéndez, F. (2005).Higiene Industrial. Manual para la formación del especialista. 4° Edición. Editorial. Lex Nova. España. Ministerio del Ambiente. (2014). Evaluación de las Radiaciones No Ionizantes (RNI) producidas por los Servicios de Telecomunicaciones y Redes Eléctricas en Lima. Perú.

Grupo Gamma, red integrada de salud. (2011). Historia de la Resonancia Magnética. Noviembre,2019, de Grupo Gamma Sitio web: <https://www.grupogamma.com/historia-resonancia/>

Hinshaw WS, Bottomley PA, Holland GN (Nature 1977). Radiographic thin section image of a human wrist by nuclear magnetic resonance.; 270: 722-723.

Hawkes RC, Holland GN, Moore WS, Worthington BS(1980). Nuclear magnetic resonance tomography of the brain: a preliminary assessment with demonstration of pathology. Journal of Computer Assist Tomography; 4: 577-586.

Gili J. Historia de la RM (2000). En Introducción biofísica a la resonancia magnética. Universitat Autònoma de Barcelona.; A1.1-A1.2.

Kumar A, Welti D, Ernst RR. NMR Fourier Zeugmatography. Journal of Magnetic Resonance 1975; 18: 69.

Wayne Tomasi. (2003). Sistemas de Comunicaciones Electrónicas. México: PEARSON EDUCACIÓN, México.

Robert F. coughlin, Frederick F Driscoll. (1993). Amplificadores operacionales y circuitos integrados lineales. México: PRENTICE-HALL HISPANOAMERICA, S.A, MEXICO .

BOYLESTAD, ROBERT L. y NASHELSKY, LOUIS. (2009). Electrónica: Teoría de Circuitos y Dispositivos Electrónicos. México: PEARSON EDUCACIÓN, México.

BOYLESTAD, ROBERT L.. (2004). Introducción al análisis de circuitos. México: PEARSON EDUCACIÓN, México.

Syscom. (agosto 4, 2017). ¿Cuál es la Diferencia entre el Cable Coaxial de 50 y 75 Ohm?. Noviembre 2019, de Syscom Sitio web: <https://www.syscomblog.com/2017/08/cual-es-la-diferencia-entre-el-cable.html>

Departamento de electrónica y electromagnetismo, ESI. (2004). SÍNTESIS DE FILTROS PASIVOS. En ANÁLISIS Y SÍNTESIS DE CIRCUITOS (252). Sevilla, España: Escuela Superior de Ingenieros.

José Luis Molina Marticorena. (2019). Filtros pasivos. 2019, de Profesor Molina Sitio web: [http://www.profesormolina.com.ar/electronica/laboratorio/filt\\_pas.htm](http://www.profesormolina.com.ar/electronica/laboratorio/filt_pas.htm)

## **Anexos**

Los siguientes links contienen la hoja de datos de los componentes más significativos que se abordaron en este trabajo y algunas imágenes de los equipos donde se trabajó.

LM317T:

<https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/datasheet/group1/a0/db/e6/9b/6f/9c/45/7b/CD00000455/files/CD00000455.pdf/jcr:content/translations/en.CD00000455.pdf>

LM340T12:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm340.pdf>

MC7912CT

<https://www.onsemi.com/pub/Collateral/MC7900-D.PDF>

LM337T:

<http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm137.pdf>

IDTQS3257:

<https://www.idt.com/us/en/document/dst/qs3257-datasheet>

AD587

<https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/AD587.pdf>

