



Conectores Coaxiales de RF y Microondas

para uso en laboratorio

Ing. Alejandro Henze
Lab. Metrología RF & Microondas, INTI

<http://www.inti.gov.ar/electronicaeinformatica/metrologiarf>
ahenze@inti.gov.ar

Índice

1. Introducción
 - Parámetros de un conector
2. Conectores de uso general
 - Impedancia característica
 - Frecuencia máxima de trabajo
 - Pérdida de inserción
 - Blindaje
3. Conector BNC
4. Conector TNC
5. Conector UHF
6. Conector F
7. Conectores de precisión
 - Interfaz de conexión
 - Repetibilidad de la pérdida de inserción
 - Repetibilidad de la pérdida de retorno
 - Ciclos de conexión / desconexión
 - Plano de referencia
 - Discontinuidad o gap en el conductor interno
8. Conector SMA
9. Conector N
10. Conector DIN 7/16
11. Conector 14 mm (GR 900)
12. Conector 7 mm (APC-7)
13. Conector 3.5 mm (APC-3.5)
14. Conector 2.92 mm (K)
15. Conector 2.4 mm (Q)
16. Conector 1.85 mm (V)
17. Conector 1.0 mm (W)
18. Conectores discontinuados
 - Conector GR 874
 - Conector Dezifix B
19. Usos y cuidados en los conectores
 - Conexión y desconexión
 - Medición de la discontinuidad entre conductores
 - Limpieza
20. Normas y especificaciones

Conectores Coaxiales para RF y Microondas para uso en Laboratorio

1. Introducción

El uso de conectores coaxiales como interfaz de conexión ha aumentado en gran proporción en las últimas décadas existiendo actualmente una gran variedad de modelos y tamaños, dependiendo de las diferentes aplicaciones (audio, video, sistemas analógicos y digitales, transmisión de potencia, uso satelital o militar, metrología, etc.) y pudiendo usarse actualmente desde corriente continua hasta 110 GHz. Cuando se utiliza un conector en baja frecuencia hasta 3 MHz, el requerimiento principal que debe cumplir dicho conector es el de poseer un buen contacto eléctrico y, a veces, un buen blindaje o aislación ya que básicamente actúa como un punto de unión eléctrico. Entre los 3 y 30 MHz el conector se comporta como un capacitor de algunos pF en paralelo con el circuito con una pequeña inductancia en serie. Por encima de los 300 MHz el conector empieza a actuar como parte de la línea de transmisión que conecta un sistema generador de señales con un sistema medidor o carga. En este último caso el conector se transforma muchas veces en el eslabón más débil del sistema, por lo tanto para la correcta elección de un conector coaxial será necesario conocer su geometría, dimensiones físicas y especificaciones eléctrico / mecánicas, y así evitar una incorrecta medición o un mal desempeño de todo el sistema.

En este documento se describirán las diferentes características que posee un conector del tipo coaxial aplicado al campo de RF y microondas. Si bien existen numerosos modelos y variantes de conectores coaxiales en la actualidad, solamente se hará mención de los modelos más comunes de uso comercial y de laboratorio, en especial aquellos considerados como conectores de precisión.

Especificaciones de un conector:

Las especificaciones eléctrico / mecánicas que caracterizan a un conector se pueden dividir en 3 grupos:

Especificaciones impuestas por el sistema:

- Impedancia característica
- Frecuencia máxima de trabajo
- ROE máxima

Son los parámetros básicos de cualquier conector y deben satisfacer las condiciones que impone el propio sistema de medición.

Especificaciones de calidad del conector:

- Interfaz de conexión
- Repetibilidad
- Pérdida de inserción
- Ciclos de conexión / desconexión
- Plano de referencia
- Blindaje

Son parámetros que reflejan la calidad de un conector frente a otro. En base a estos parámetros se puede reconocer si un conector es de uso general o de precisión.

Especificaciones de potencia:

- Tamaño
- Robustez mecánica
- Potencia máxima de trabajo
- PIM.

Son parámetros a considerar cuando el conector forma parte de un sistema que maneja potencias mayores a 1 W.

Impedancia característica:

La impedancia característica Z_0 de un conector coaxial se define por su geometría, materiales y dimensiones según la siguiente ecuación:

$$Z_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \cdot \ln \frac{D}{d} = \frac{59,9586}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \quad [\Omega] \quad (1)$$

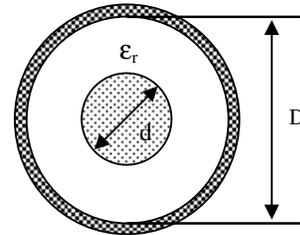


Figura 1: Corte transversal de un conector coaxial

donde

- D diámetro interno del conductor externo (mm)
- d diámetro externo del conductor interno (mm)
- ϵ_r constante dieléctrica de la línea de transmisión
(aire = 1,00059 / teflón = 2,02)

Los valores típicos de Z_0 son 50 o 75 ohm. En una línea de transmisión (cable y conectores) debe haber la misma Z_0 para evitar que se produzcan desadaptaciones en el sistema con una consecuente disminución de la potencia transferida entre el generador de señales y la carga. El parámetro eléctrico vinculado con este efecto es la llamada ROE o relación de ondas estacionarias. Partiendo de un valor ideal de 1, cuanto mayor es este valor, mayor será la desadaptación y menor será la transferencia de potencia.

Como el conector es siempre la parte que mas uso se le da por las continuas conexiones y desconexiones a lo largo del tiempo, es muy importante la correcta elección del mismo, según en cuál aplicación se empleará, y además el buen uso y cuidado mecánico para evitar su degradación y, en consecuencia, un aumento de las pérdidas y ROE del mismo.

Frecuencia máxima de trabajo:

El rango de frecuencia de cualquier conector coaxial está limitado por la frecuencia de corte inferior del primer modo de propagación de la guía circular (modo TE_{11}) [2]. En base a los mismos parámetros descriptos anteriormente, se define la frecuencia de corte f_c :

$$f_c = \frac{c}{\frac{\pi}{2}(d+D)\sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r}} \cong \frac{194,8}{\sqrt{\epsilon_r}(d+D)} \quad [\text{GHz}] \quad (2)$$

Si disminuye el diámetro del conductor externo, se incrementa la máxima frecuencia utilizable. Si se coloca un dieléctrico en vez de usar aire, se disminuye la máxima frecuencia utilizable y se incrementan las pérdidas. En el caso de conectores coaxiales se establecen las frecuencias máximas en base al diámetro del conductor externo. Para el caso de $Z_0 = 50$ ohm:

Diámetro interno del conductor externo [mm]	16,0	14,29	7,00	3,50	2,92	2,40	1,85	1,00
Frec. máxima establecida [GHz]	7,5	8,5	18,0	33,0	40,0	50,0	65,0	110,0
Frec. de corte del modo TE_{11} circular	-	9,5	19,4	38,8	46,5	56,5	73,3	135,7

Tabla 1: Frecuencias máximas de trabajo en función del diámetro del conductor externo

Si bien es lógico creer que la impedancia característica de un conector coaxial es independiente de la frecuencia y que en baja frecuencia su comportamiento mejora, a medida que la frecuencia disminuye por debajo de 1 GHz ocurren dos cosas:

- Aumenta la impedancia característica Z_0 (el módulo) debido al aumento de la profundidad de penetración, o efecto skin. Este efecto produce que el diámetro efectivo de D aumente y el de d disminuya.
- El valor de Z_0 deja de ser puramente resistivo ya que su fase empieza a tomar valores negativos, es decir, Z_0 se transforma en un número complejo.

Como ejemplo en un conector de 7 mm si la frecuencia disminuye a 10 MHz, respecto a la ecuación (1) y a un valor de Z_0 nominal de 50Ω , el valor $|Z_0|$ aumentará en $0,8 \Omega$ ($ROE = 1,02$) y la ϕ_{Z_0} cambiará de 0° a $-0,7^\circ$. Si ahora la frecuencia disminuye a 1 MHz, $|Z_0|$ aumentará en $2,7 \Omega$ ($ROE = 1,05$) y ϕ_{Z_0} será de $-2,1^\circ$ [16].

ROE máxima:

Es uno de los parámetros más importantes a la hora de calcular las pérdidas de potencia y desadaptaciones que introduce el conector en la línea de transmisión. En general se lo especifica para la máxima frecuencia de trabajo. Cuanto mayor sea su valor, mayor será la potencia reflejada hacia el generador o transmisor según la siguiente ecuación:

$$ROE = \frac{\left[1 + \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \right]}{\left[1 - \sqrt{\frac{P_r}{P_i}} \right]} \quad [-] \quad (3)$$

donde:
 P_i : potencia incidente en el conector (W)
 P_r : potencia reflejada en el conector (W)

Nótese que en el caso de un conector ideal perfectamente adaptado, $P_r \rightarrow 0$ y $ROE \rightarrow 1$ independientemente de la potencia incidente. En el otro extremo, si el conector presentara una desadaptación total, $P_r \rightarrow P_i$ y $ROE \rightarrow \infty$. En el caso real de un conector con $ROE = 1,5$ las pérdidas de potencia serán del 4 %.

Interfaz de conexión:

Existen dos tipos de conectores según la interfaz de conexión entre ambos:

- Conectores macho / hembra: se necesita un conector macho y un conector hembra para realizar una conexión. Pueden ser coplanares o no coplanares, por lo que la transición o plano de referencia, no suele ser el mismo entre diferentes tipos de conectores.

- Conectores hermafrodita: Ambos conectores son idénticos (coplanares). Esto es característico de algunos conectores de precisión.

Pérdida de inserción:

Es la atenuación que introduce el propio conector debido a sus propias pérdidas (resistencia superficial de los conductores, pérdida del dieléctrico, etc.) y también incluye el efecto por las desadaptaciones respecto al sistema. Este parámetro se expresa en dB y generalmente se especifica a la frecuencia máxima.

Blindaje:

El blindaje se asocia al nivel de la señal que se pierde a través del conductor externo (se irradia) o en la interfaz de conexión respecto al nivel de la señal que circula por el conductor. Este parámetro se expresa en dB y para un conector de uso general, un valor típico es de -55 dB. En caso de usarse conectores con cables coaxiales, este parámetro suele despreciarse ya que la pérdida en el cable suele ser de varios órdenes mayor.

Tamaño:

El tamaño de un conector coaxial está vinculado en forma directa con la potencia que pueda manejar y en forma inversa con la frecuencia máxima de trabajo. Es decir, a medida que se aumenta el tamaño de los diámetros de los conductores se pueden manejar potencias mayores pero se reduce la fmax.

No debe asociarse el tamaño de un conector con su impedancia característica, ya que según la ecuación (1) el valor de Zo depende de la relación entre los diámetros D y d y no de sus valores absolutos.

Potencia máxima de trabajo:

Cuando un conector coaxial opera en un sistema que maneja potencia (salida de amplificadores de RF, transmisores o antenas) es importante diferenciar entre la potencia pico respecto a la potencia media que pueda manejar. La potencia pico máxima que puede soportar un conector es proporcional a la tensión de ruptura del mismo, mientras que la máxima potencia media se determina por la habilidad del conector de manejar altas temperaturas. Este valor se degrada con la frecuencia, altitud, ROE de la carga y temperatura del medio. En algunos casos se puede aumentar el valor máximo de manejo de potencia de un conector, utilizando dieléctricos especiales de PTFE y hasta se puede rediseñar un conector añadiendo un disipador para que disipe el calor del conductor central.

Como el tamaño de un conector determina la potencia máxima que puede manejar, en el mercado actual existen distintos modelos de conectores, y a su vez cada modelo presenta diferentes variantes. De los modelos comerciales mas comunes se puede decir que el conector SMA es el conector más usado en proyectos de baja potencia, el tipo N para potencias medias y en casos de manejar potencias superiores a 1 kW se recurren a conectores especiales como el DIN 7/16, 7/8”, etc.

Los fabricantes especifican los valores de potencias máximas a partir de 1 MHz generalmente, decayendo su valor con la raíz de la frecuencia. A continuación se muestra un gráfico de la capacidad de manejo de potencia de algunos modelos de adaptadores marca Maury:

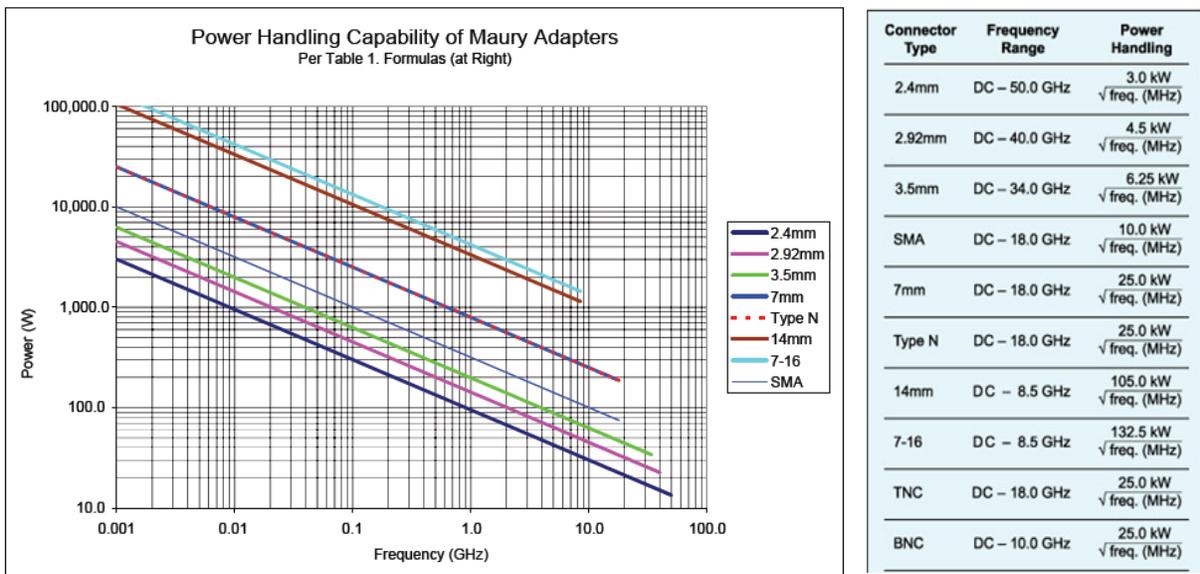


Tabla 2: Capacidad de Manejo de Potencia de algunos conectores

Intermodulación Pasiva (PIM):

El efecto de intermodulación ocurre en sistemas no lineales y activos en su gran mayoría. En principio como se supone que un conector coaxial se comporta como un elemento netamente pasivo y lineal, es muy común que no se tenga en cuenta este fenómeno. Sin embargo, cuando el conector forma parte de un sistema de transmisión de potencia con 2 o más canales (2 o mas tonos de alta potencia), estos tonos producirán productos de intermodulación por los siguientes motivos:

- Zonas no lineales del conector como uniones o contactos de distintos metales o con óxido.
- Conector mal armado.
- Conexión floja.
- En conectores con conductores de metales ferro magnéticos como el níquel [10].
- Excesiva cantidad de ciclos de conexión / desconexión.
- Conector con corrosión y/o en ambientes húmedos, y con circulación de altas corrientes por los conductores.

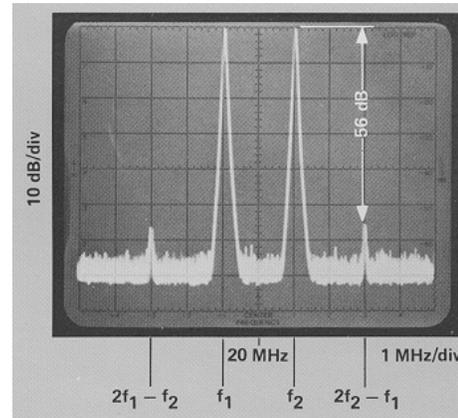


Figura 2: Espectro de 2 tonos con intermodulación de 3er. orden

Por lo tanto, el valor de PIM deberá tenerse en cuenta cuando se esté seleccionando el tipo de conector que formará parte del sistema de transmisión de potencia. Un modelo muy utilizado actualmente en Europa y EEUU es el DIN 7/16 con valores de PIM de 3er. orden menores a -150 dBc en la banda de PCS de 1,9 GHz para 2 tonos de 20 W de potencia.

2. Conectores de uso general

En la actualidad existen numerosos tipos de conectores de uso general variando según su aplicación, si son roscado o insertables (push-on), soldables a un panel, una placa o a un cable. La mayoría de estos se encuentran definidos en la norma MIL-C-39012 o MIL-STD-348A. En este informe se describirán solo algunos modelos para aplicaciones de laboratorio.

3. Conector BNC

El BNC (Bayonet Neil-Concelman) es quizás el conector coaxial más difundido en la historia desde su creación en los laboratorios Bell en 1944. Fue inicialmente diseñado para propósitos militares y posteriormente tuvo gran aceptación en aplicaciones de video y RF hasta 4 GHz debido a su fácil técnica de conexión / desconexión tipo bayoneta de $\frac{1}{4}$ vuelta de giro. En el macho el conductor externo es ranurado para una mejor compatibilidad mecánica pero debido a esto, por encima de los 4 GHz, las ranuras del conductor empiezan a irradiar señal. El valor máximo de la ROE es de 1,3.

Existen versiones de 50 y 75 ohm y se diferencian básicamente en que el conector de 50 ohm posee dieléctrico plástico y el de 75 ohm tiene dieléctrico de aire. Como la Z_0 está definida en este caso por la utilización o no de dieléctrico, los diámetros externos e internos son los mismos en ambas versiones de 50 y 75 ohm. Por lo tanto son compatibles mecánicamente entre sí.

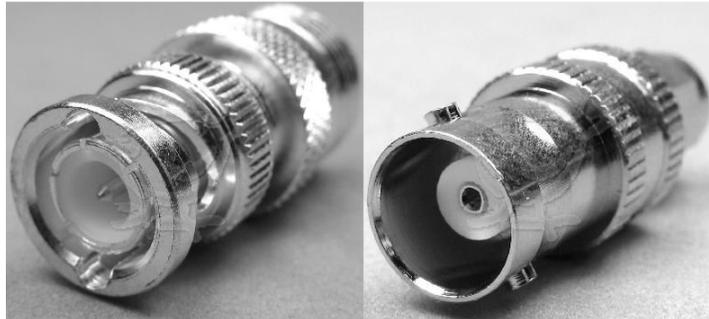


Figura 3: BNC macho y hembra de 50 ohm

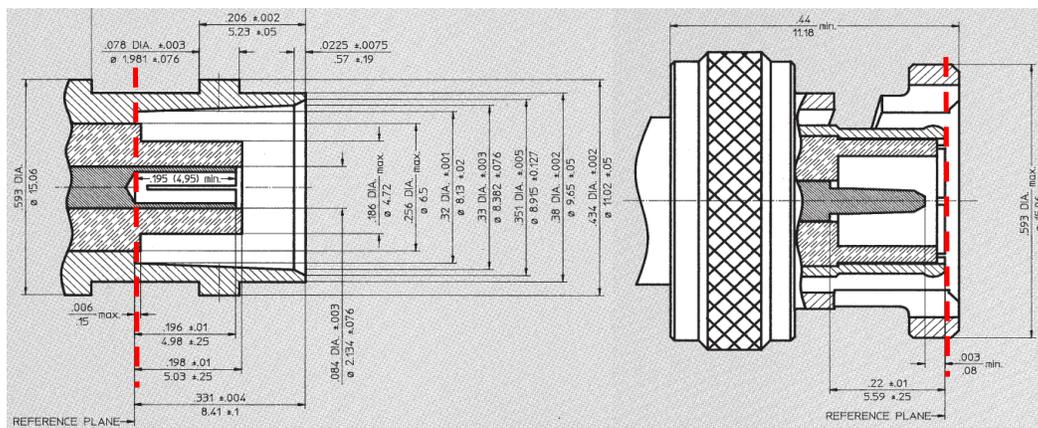


Figura 4: Corte transversal del un conector BNC

El valor de offset del plano de referencia es de 5,3 mm con una tolerancia de 0,07 mm para la versión de instrumental y de 0,5 mm para la versión de propósitos generales.

Especificación	Fabricante	MIL-C-39012
Rango de frecuencia	0 – 4 GHz	0 – 4 GHz
ROE	$1,12 + 0,007.F(\text{GHz})$	$\leq 1,3$
Blindaje	$-(60 - F(\text{GHz}))$ (dB)	≤ -55 dB
Pérdida de inserción	$0,1.\sqrt{F(\text{GHz})}$ (dB)	$\leq 0,2$ dB

Tabla 3: Características del conector BNC de 50 ohm

El conector BNC no es recomendable usarlo en sistemas de alta tensión debido a que su tensión de ruptura es de solamente 500 V. Para esos casos existe una variante llamada comúnmente BNC de Alta Tensión o modelo MHV. Este puede soportar hasta 5kV ya que como el dieléctrico sobresale mucho más que en el BNC común, aumenta considerablemente la aislación. La desventaja es que está especificado solamente hasta 50 MHz y no es 100 % compatible mecánicamente con el BNC. En caso de intentar una conexión entre BNC y MHV, mecánicamente y con cierta fuerza, se puede lograr dicha conexión aunque en teoría no debería haber contacto eléctrico.

4. Conector TNC

Surgió en 1956 como una variante del BNC donde se reemplaza el sistema de conexión tipo bayoneta por un acoplamiento roscado externo para aumentar el blindaje y darle mayor firmeza a la conexión. Esto provocaba un aumento de la frecuencia máxima a 12 GHz. Se utiliza típicamente en telefonía celular y en antenas.



Figura 4: Conector TNC de 50 ohm – Izquierda versión ranurada / Derecha versión frecuencia extendida

El valor de offset del plano de referencia y tolerancias es idéntico al del conector BNC. También existen versiones de 75 ohm con una frecuencia máxima de 1 GHz.

Especificación	Fabricante	MIL-C-39012
Rango de frecuencia	0 – 11 GHz	0 – 12 GHz
ROE	$1,03 + 0,005 \cdot F(\text{GHz})$	$\leq 1,3$
Blindaje	$-(90 - F(\text{GHz}))$ (dB)	≤ -55 dB
Pérdida de inserción	$0,05 \cdot \sqrt{F(\text{GHz})}$ (dB)	$\leq 0,2$ dB

Tabla 4: Características del conector TNC

La norma que rige a este modelo es la MIL-C-39012. Sin embargo existen versiones de TNC en la actualidad con algunas diferencias mecánicas. Esto se debe mayormente a que existen varias normas americanas o europeas (MIL, IEC, etc.) que no son 100% compatibles entre sí [14]. Una de estas versiones de TNC es la de “frecuencia extendida” hasta los 18 GHz (Fig. 4).

5. Conector UHF

El conector UHF fue el primer conector coaxial que se usó para RF y apareció a fines de la década de 1930 cuando la tecnología llegaba a frecuencias de UHF. Fue desarrollado por Amphenol y actualmente se lo sigue utilizando en Ham Radio o en aplicaciones donde la ROE no es un factor trascendente ya que debido a su geometría, no se puede asegurar un valor estable o repetible. Sin embargo, es un conector barato y robusto. La frecuencia máxima de operación es de unos 200 MHz, extendiéndose hasta unos 500 MHz en algunos casos.

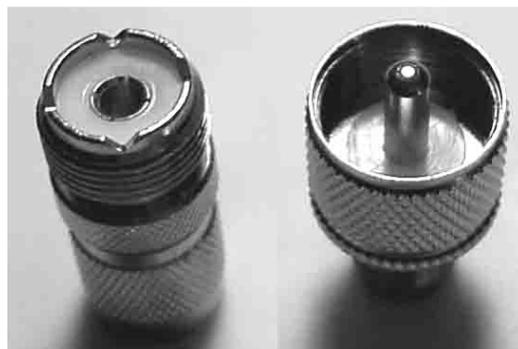


Figura 5: Conector UHF macho y hembra

A este conector también se lo conoce como tipo SO-239 (conector hembra o socket) y tipo PL-259 (macho ó plug).

6. Conector F

Es un conector netamente de video para aplicaciones de TV y CATV pudiéndose usar hasta 1 GHz y normalmente tiene una impedancia característica de 75 ohm. En las versiones hogareñas, el conector macho utiliza directamente el alambre del cable coaxial como pin central.



Figura 6: Conector F macho y hembra

7. Conectores de precisión

El uso de conectores de precisión se justifica a la hora de realizar mediciones que tengan bajas incertidumbres y trazabilidad a patrones metrológicos. En este caso se deben considerar especificaciones adicionales como repetibilidad, plano de referencia y el valor del gap (medición de la recesión o protrusión entre los conductores centrales durante una conexión). Además para estos conectores se especifican valores de coeficiente de reflexión (en dB) en vez de ROE. Todos los conectores de precisión están detallados en la norma IEEE 287.

Para lograr este tipo de conectores se debe primero poder construirlos sin el uso de dieléctrico plástico alguno, es decir, deben tener dieléctrico de aire [7]. Además deberán poseer tolerancias mecánicas mucho menores que aquellos de uso general.

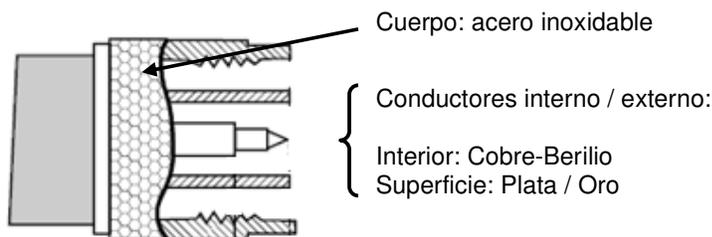


Figura 7: Materiales en un conector de precisión

Para que los conductores se consideren sin pérdidas, se utiliza sobre el conductor de Cu-Be una terminación superficial de algunos micrones de oro (a veces sobre una capa intermedia de plata), para que su alta conductividad evite que aumente la impedancia por efecto skin en las frecuencias más altas.

Dependiendo del grado de exigencias mecánicas y eléctricas que se requieran en un conector de precisión, estos se clasifican en:

- GPC (General Precision Connector): posee un soporte dieléctrico (bead) de baja reflexión.
- LPC (Laboratory Precision Connector): posee dieléctrico de aire.

Repetibilidad de la pérdida de inserción:

Cuando se realiza una medición, los conectores junto con el cable, introducen una pérdida de inserción que formará parte de la atenuación que presenta el sistema. En una medición de precisión es necesario que este valor de atenuación se mantenga lo más constante posible durante los ciclos de conexión y desconexión de los conectores. Esto exige que los propios conectores tengan una repetibilidad adecuada y especificada.

Para conectores hasta 18 GHz este valor nunca debe superar los 0,010 dB.

Conector	Repetibilidad de la pérdida de inserción [dB]		
	0,001 (DC a 0,5 GHz)	0,002 (0,5 a 8,5 GHz)	0,006 (8 a 18 GHz)
GR 900	0,001 (DC a 0,5 GHz)	0,002 (0,5 a 8,5 GHz)	0,006 (8 a 18 GHz)
APC-7	0,001 (DC a 2 GHz)	0,004 (2 a 8 GHz)	0,006 (8 a 18 GHz)
N	0,001 (DC a 1 GHz)	0,004 (1 a 12 GHz)	0,008 (12 a 18 GHz)
APC-3.5	0,002 (DC a 1 GHz)	0,006 (1 a 12 GHz)	
SMA	0,002 (DC a 1 GHz)	0,006 (1 a 12 GHz)	0,020 (12 a 18 GHz)

Tabla 5: Valores típicos de repetibilidad en la pérdida de inserción para diferentes conectores

Repetibilidad de la pérdida de retorno:

Esta repetibilidad en un conector es la variación en el valor del coeficiente de reflexión Γ entre sucesivas conexiones y desconexiones, según la siguiente ecuación:

$$\text{Repetibilidad} = 20 \cdot \log_{10} |\Delta\Gamma| \quad [\text{dB}] \quad (4)$$

donde

$$|\Delta\Gamma| = |\Gamma_{m1} - \Gamma_{m2}|$$

Se define $|\Delta\Gamma|$ como la diferencia entre 2 mediciones del Γ del mismo conector antes y después de un ciclo de conexión / desconexión.

Los conectores de uso general tienen una repetibilidad pobre y esta se degrada notablemente a las frecuencias más altas. En el caso de un conector de precisión este valor es notablemente más pequeño y el fabricante especifica valores típicos de repetibilidad que regirán durante la vida útil del mismo. Pero si durante este período se detecta un aumento considerable en este valor significa una posible degradación del conector debido a:

- Suciedad en las superficies de contacto.
- Deformaciones en el conductor central por un exceso de torque en las conexiones o existencia de protrusión entre los conductores internos.
- Rayones en las superficies internas debido a rotaciones del cuerpo del conector durante la conexión.
- Desalineación del conductor central.
- Almacenamiento inadecuado del conector (ataque de factores ambientales).

Ciclos de conexión / desconexión:

En metrología en RF y microondas es importante considerar el número de conexiones y desconexiones que debe realizar un conector ya que afecta a la performance y vida útil del mismo. Existen conectores

que no toleran más que algunos cientos de veces y otros que pueden funcionar correctamente por más de 5.000 ciclos. Pasado este límite, empiezan a aumentar uno o varios parámetros como la ROE, repetibilidad o pérdida de inserción.

Plano de referencia:

El plano de referencia es otro parámetro importante en un conector de precisión. Es el plano transversal en donde se define la transición entre ambos conectores cuando están conectados. Idealmente debería ser coplanar entre el conductor central y externo, como es en el caso de los conectores hermafrodita (Ej. 7 mm), pero la mayoría tiene un offset entre ambas transiciones.

Cuando se conectan dos conectores es muy importante que la geometría coaxial que forman ambos en su conexión se mantenga inalterable como si fueran dos piezas perfectas de un rompecabezas. En la mayoría de los conectores, las transiciones entre conductores externos y entre conductores internos se producen en diferentes planos transversales. En la práctica esto significa que, al conectar un par de conectores, siempre una de las transiciones hace tope antes que la otra. Esto produce una discontinuidad o gap entre conductores.

Por norma se establece que el plano de referencia coincide con el plano de transición de los conductores externos y se establece una distancia u offset para la transición de los conductores internos. Este valor está normalizado para cada conector. Por ejemplo, en el caso de un conector tipo N de precisión, el offset es de 0,207'' (5,26 mm) tanto para el conector macho como para la hembra. Si se trata de un conector hermafrodita, el valor de offset suele ser igual a 0 (coinciden ambos planos de transición).

Discontinuidad o gap en el conductor interno:

En la práctica, el valor de offset respecto al plano de referencia en un conector macho o hembra no va a ser exactamente igual al valor nominal, por lo que se produce una discontinuidad o gap cuando se conecta el par de conectores. Existen dos posibles casos:

Si el gap es positivo significa que los conductores externos hacen tope primero. En este caso la geometría del conductor interno tendrá una discontinuidad en su diámetro en la zona de la interfaz (corte A-A de la fig. 5). Este efecto se lo conoce como **recesión**. Un excesivo valor de recesión produce valores de reflexión cada vez más altos.

Si el gap es negativo significa que los conductores internos hacen tope primero. En este caso ambos conductores internos no solo están haciendo un contacto eléctrico entre sí sino también tendrán una excesiva fuerza axial en el momento del torque final entre ellos que tiende a deformarlos mecánicamente. Este efecto se lo conoce como **protrusión**. Un excesivo valor de protrusión puede provocar un daño permanente en ambos conectores al momento de ser conectados y ajustados mecánicamente.

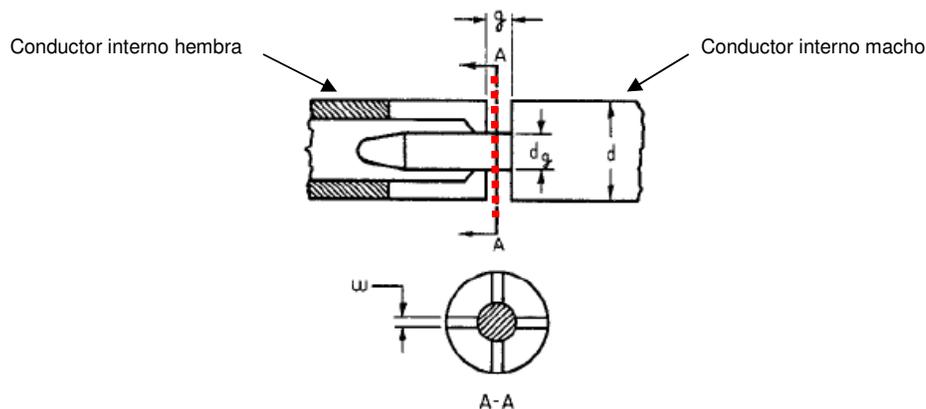


Figura 8: Discontinuidad en la conexión de un par de conectores macho / hembra

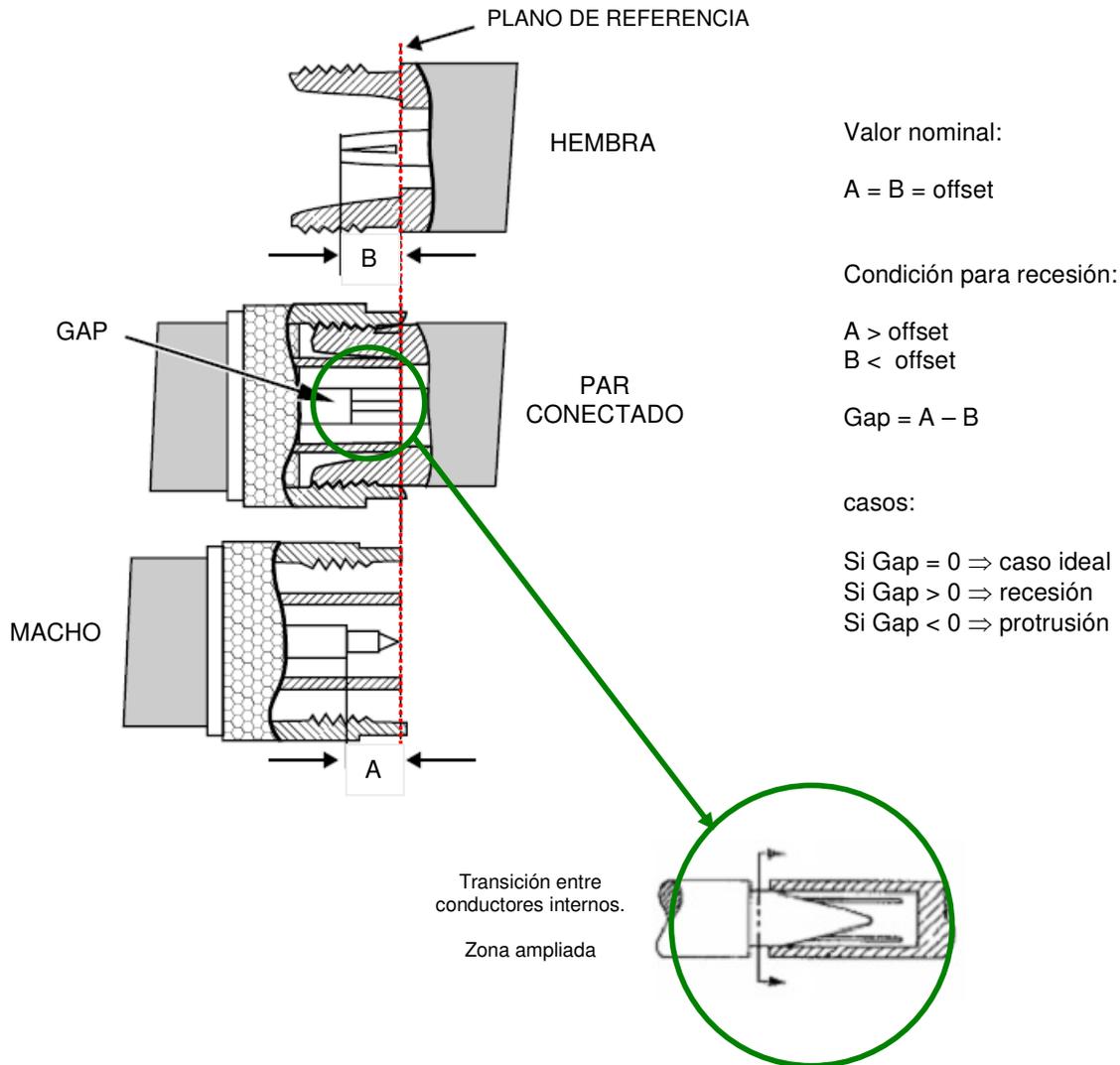


Figura 9: Plano de referencia – Corte transversal

Existen diferentes estudios realizados en líneas de transmisión coaxiales en los cuales se modelizó el efecto del gap en la geometría y el consecuente aumento del coeficiente de reflexión. Este efecto dependerá principalmente de cuán grande sea la discontinuidad en el conductor central como así también las dimensiones, cantidad de ranuras en el pin hembra, etc.

Uno de los modelos que más se adecúa a la mayoría de los conectores es el desarrollado por MacKenzie y Sanderson [5] donde se define:

$$ROE = 1 + 0,0252 \cdot f \cdot g \cdot \ln \left[\frac{\pi \cdot d - N \cdot w}{\pi \cdot d_g - N \cdot w} \right] \quad [-] \quad (5)$$

Donde, en base a la figura 8, se define:

f	frecuencia	[GHz]
g	gap	[mm]
d_g	diámetro interno del conductor en la zona del gap	[mm]
d	diámetro del conductor central	[mm]
N	número de ranuras del conductor central (hembra)	
w	ancho de la ranura	[mm]

Si se grafica el coeficiente de reflexión de un conector en función de los diferentes valores de gap que pueda tener, se puede ver que la influencia del gap se manifiesta en forma lineal con la frecuencia.

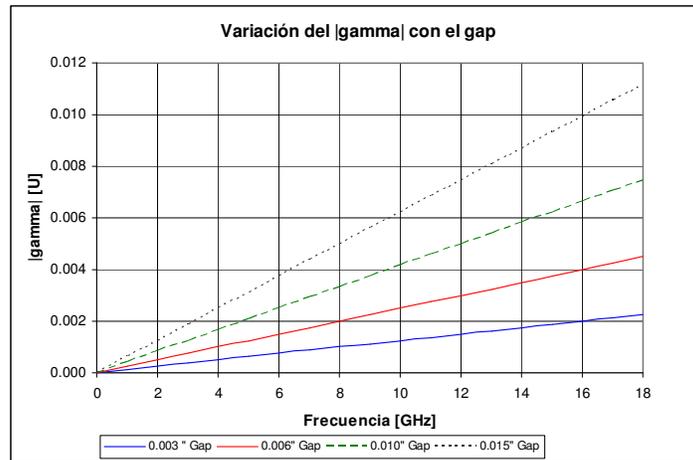


Gráfico 1: Variación del coeficiente de reflexión con el gap

8. Conector SMA

El SMA (Subminiature A) fue diseñado por la Corporación Bendix Scintilla en 1958 al cual lo llamó BRM. Posteriormente fue modificado por Omni Spectra en 1962, llamándolo en ese entonces OSM. Recién en 1968 se estandarizó dentro de la norma MIL-C-39012 bajo el nombre de Subminiature A. Es uno de los conectores de RF y microondas más usados en diseños por su bajo costo y tamaño. Como posee un dieléctrico de PTFE (politetrafluoroetileno) entre el conductor central y externo, no se lo puede considerar como un conector de precisión.

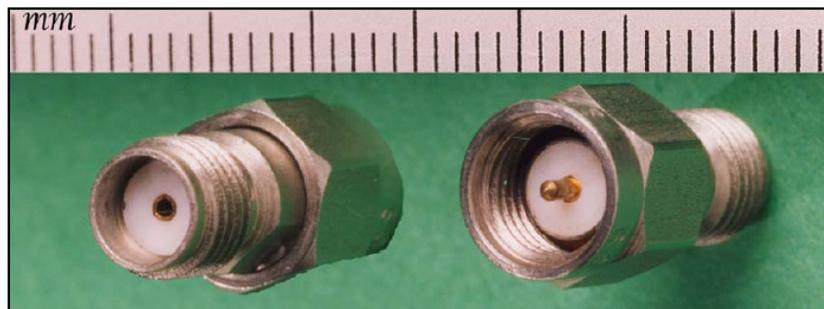


Figura 10: Conectores SMA hembra y macho

El SMA se lo suele utilizar en:

- Cables semi-rígidos de pequeño diámetro.
- Dentro de equipos para interconectar los distintos módulos de RF.
- En componentes que no son frecuentemente conectados y desconectados.

- En aplicaciones con líneas microstrip (por una cuestión de peso, precio y tamaño).

En la versión de laboratorio, los conectores SMA son de acero inoxidable (cuerpo y sistema de acople), con contactos de Cu-Be plateados con, al menos, 1 micrón de oro. Este conector tiene la particularidad que posee un ciclo de conexión / desconexión menor a 500 veces. Esto es debido a que posee una serie de problemas como la rotura del pin macho por una desalineación al conectarlo con su par hembra y además la salida del dieléctrico por afuera del plano de conexión debido a efectos del tiempo o de la temperatura, etc. El conector hembra generalmente posee 4 uñas.

Existe otra versión comercial de bajo costo, donde el conector es enteramente de latón (brass) con variantes de niquelado o plateado con oro en algunos casos. Esto reduce al menos un 30% su costo pero su vida útil se reduce a unas 250 conexiones / desconexiones, o menos. El conector hembra posee 2 uñas que generalmente están levemente deformadas.

La mayoría de los SMA tienen un coeficiente de reflexión más alto que los demás conectores hasta 26,5 GHz debido a la dificultad de sujetar el soporte dieléctrico pudiendo llegar a valores de ROE de 1,25 en algunos modelos. Actualmente están controlados bajo la norma MIL-C-39012 y existen diferentes versiones en el que varía la frecuencia máxima de trabajo desde los 12 GHz hasta los 24 GHz dependiendo del fabricante.

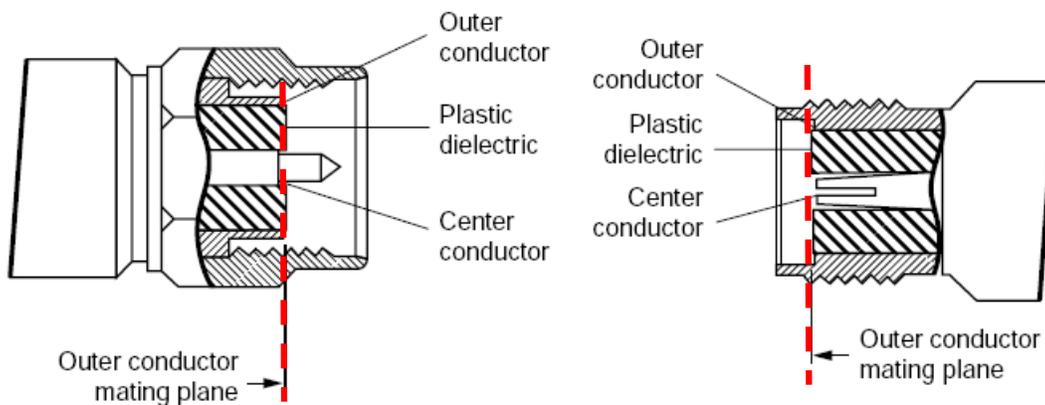


Figura 11: Corte transversal de un conector SMA macho y hembra

Cuando se deben conectar y desconectar repetidamente dos conectores SMA es suficiente ajustar simplemente con la mano. En el caso en que una vez ajustado a mano, se note un mal funcionamiento, será indicio de un daño mecánico o suciedad en alguno de los dos conectores.

Si se trata de una conexión definitiva o al realizar una medición o ensayo, se recomienda el uso de una llave torquimétrica de 5/16". Los torques recomendados son:

- 5 lb.in para la versión de latón (brass).
- 8 lb.in para la versión de acero inoxidable.

Un excesivo torque durante la conexión (> 15 lb.in) puede quebrar o deformar la parte tubular del pin central.

Pérdida de inserción: 0,03 dB (DC a 1 GHz)
0,10 dB (1 a 12 GHz)

El valor de offset del plano de referencia es de 0 mm con una tolerancia de 0,08 mm para la versión de instrumental y de 0,25 mm para la versión de propósitos generales.

Al tener un diámetro del conductor externo de 3,5 mm, es compatible mecánicamente con su versión metrológica, el conector 3.5 mm. Cuando se utilizan sistemas con SMA y se necesita tener coeficientes de reflexión más bajos, se recomienda conectarlos con la versión APC-3.5 (3.5 mm) en vez de SMA / SMA debido a tener un mejor desempeño [13] según el siguiente gráfico:

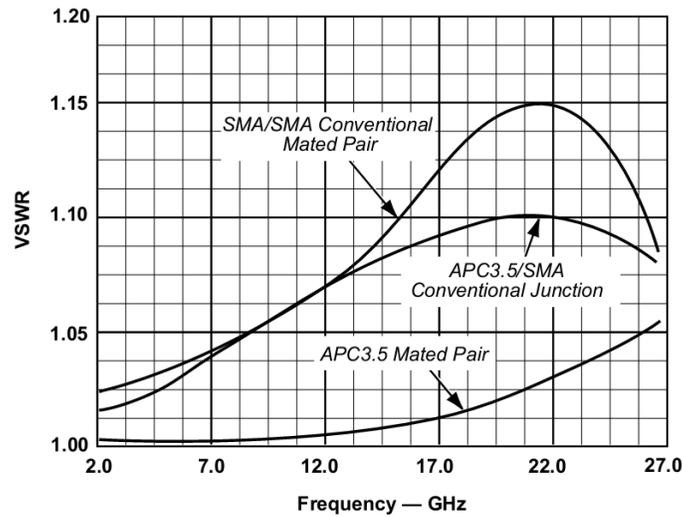


Figura 12: Variación de la ROE para distintos tipos de conexión con SMA y 3.5 mm

Los valores de blindaje son similares a los del conector tipo N.

9. Conector N

El conector N (Navy o Neil) de 50 ohm fue diseñado en 1942 para ser utilizado en sistemas militares en radio y radar durante la Segunda Guerra Mundial y reemplazó al conector UHF ya que para aplicaciones por encima de los 300 MHz este último conector no mantenía la Z_0 constante.

Pertenece a la familia de conectores de 7 mm ya que utiliza un conductor externo de 7 mm de diámetro igual que el APC-7, pero a diferencia de este último, el conector N puede ser macho o hembra. Este conector es robusto, es considerado más fácil de usar que otros tipos, posee dieléctrico de aire e inicialmente se diseñó para aplicaciones hasta 4 GHz. El conductor externo era ranurado (ídem al BNC) por una cuestión de tolerancias mecánicas de la época.



Figura 13a: Conductor externo ranurado (slotted)



Figura 13b: Conductor externo sin ranuras (slotless)

En 1962 el fabricante Maury creó una versión mejorada del conector al que llamó punto azul (blue dot). En 1965 diversos fabricantes aportaron mejoras que se incluyeron en las normas MIL de ese entonces, pudiendo elevar su desempeño hasta los 18 GHz con una ROE típica de hasta 1,08 para las versiones de laboratorio o no ranuradas (fig. 13b).

La versión ranurada hoy en día sigue siendo una opción mas barata y para aplicaciones generales y está contemplada en la normal MIL-STD-348A. La versión no ranurada, contemplada en la normal IEEE 287, se usa exclusivamente en laboratorios de medición o ensayos. En la actualidad existen versiones N de alta precisión (grado LPC) con el sistema de acople hexagonal (fig. 14) que permite el uso de llaves torquimétricas de 3/4" con un torque recomendado de 12 lb.in. El valor de la ROE es de 1,04 hasta los 18 GHz.



Figura 14: Conector N para uso metrológico

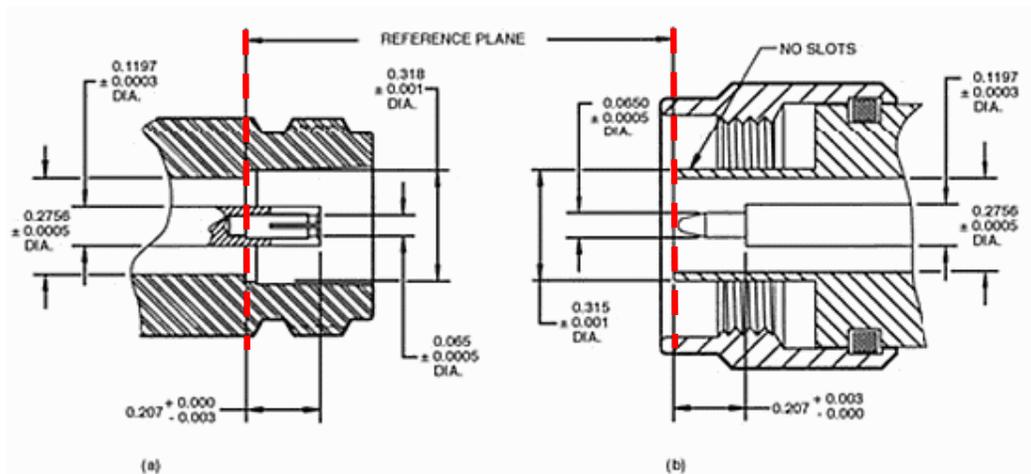


Figura 15: Corte transversal de un conector N hembra y macho

Plano de referencia:

El valor de offset en este conector es de 0,207" (5,258 mm). El valor del gap no debe superar los 0,006 " para los conectores N grado LPC y de 0,007 " para los conectores N grado GPC. Estos valores varían según la norma utilizada por el fabricante (IEE 287, MIL-STD-348A, MIL-C-71B).

N	Offset = 0,207 ''		
	Desvío ['']		Gap máximo total ['']
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,003 / -0,000	+0,000 / -0,003	0,006
GPC	+0,004 / -0,000	+0,000 / -0,003	0,007

Tabla 6: Tolerancias máximas del gap – conector N – IEEE 287

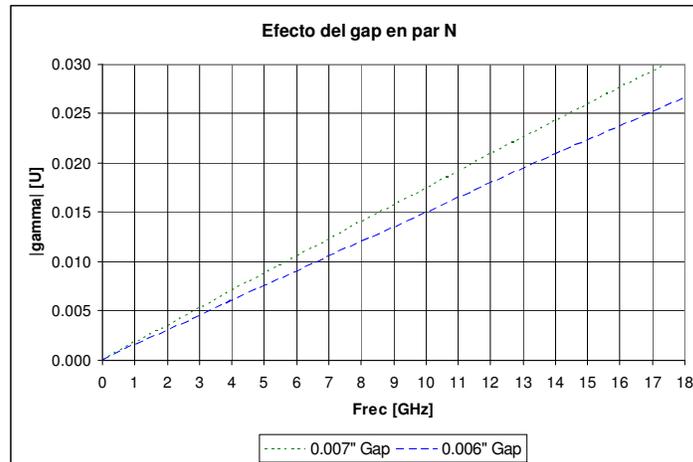


Gráfico 2: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector N

Conector hembra:

El pin hembra posee una cavidad en su interior para guiar al pin macho durante la conexión y generalmente es ranurado en forma de uñas (slotted fingers) para que estas se flexionen mecánicamente cuando se inserta el pin macho.

Existen distintas versiones:

- 2 ranuras: es la versión de más baja calidad de terminación y tolerancias mecánicas, pero también la de menor costo. El contacto de 2 uñas limita su uso en frecuencias por encima de algunos GHz.

- 4 ranuras: es una versión mejorada de la anterior, con un sistema de 4 uñas que poseen una elasticidad mecánica para adaptarse al pin macho en el momento de la conexión. Pero con el tiempo esa elasticidad va degradándose y el conector empieza a tener valores de desadaptación mayores.

La gran desventaja de estos tipos de pin ranurado es que la cantidad de conexiones / desconexiones no superan a veces las 1.000 antes de romperse alguna de las uñas, o varíe la geometría del pin hembra produciendo que el valor de repetibilidad y ROE aumenten considerablemente.

- 4 y 6 ranuras de precisión: el grosor de las uñas es mucho mayor y, como las tolerancias mecánicas son mucho menores, esto permite que las uñas de la hembra casi no se muevan en el momento de la conexión con el macho. Esto permite un mejor grado de precisión, ya que disminuye el efecto inductivo y mejora la repetibilidad en las conexiones. La terminación superficial del conductor central es de oro. Esto le da además una resistividad superficial mucho menor.

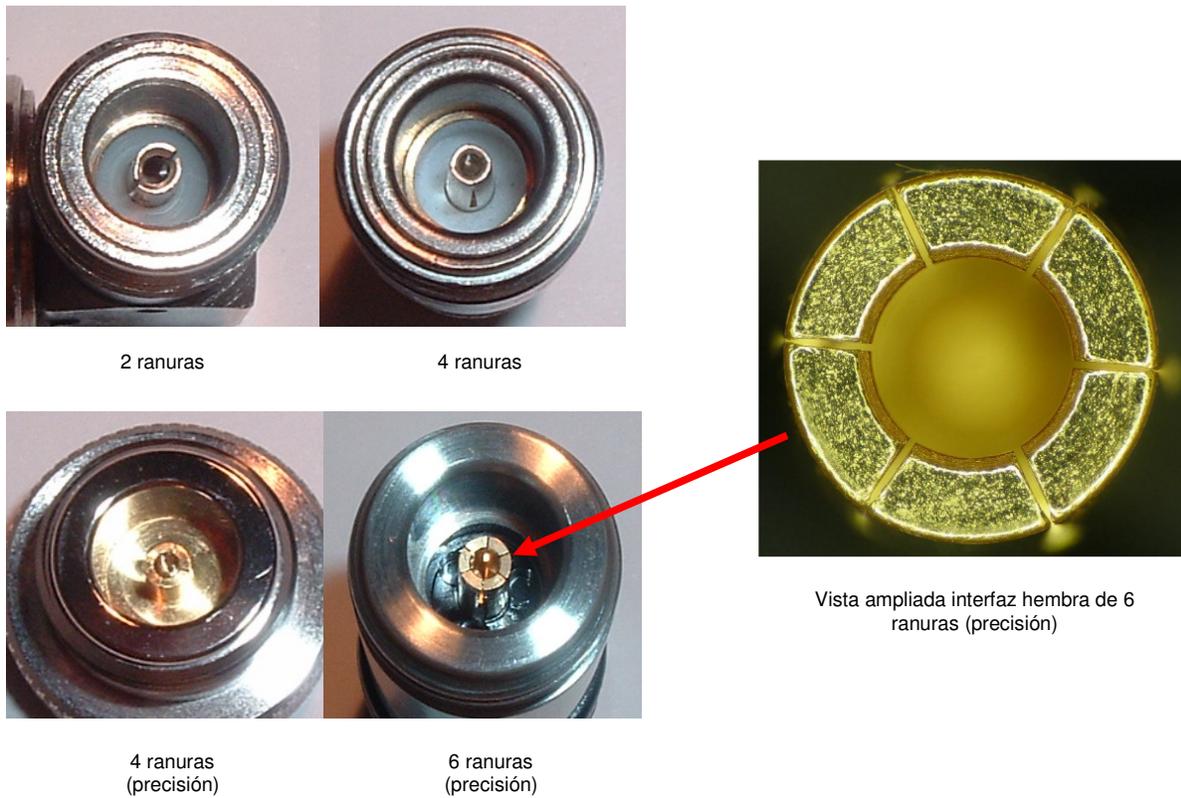


Figura 16: Diferentes tipos de conectores N hembra ranurados (slotted)

La versión sin ranura (slotless) solo se emplea en metrología. Son mucho más frágiles y más caras que su equivalente ranurado.

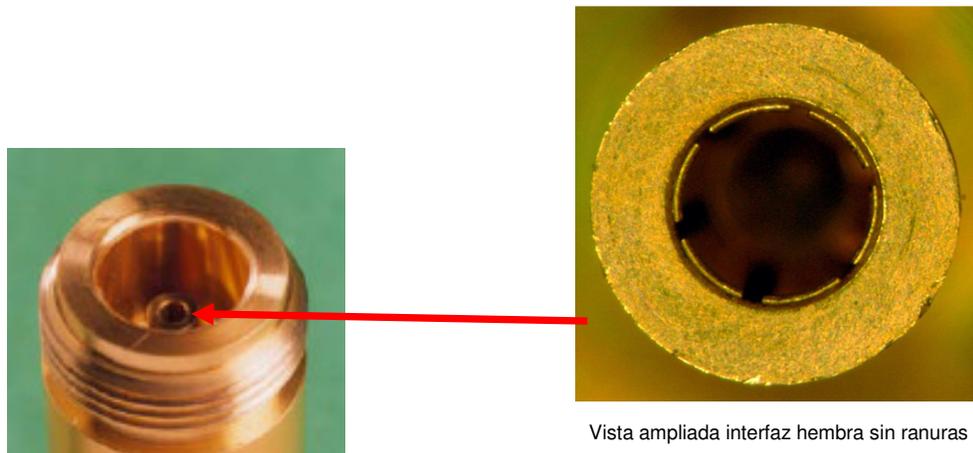


Figura 17: Conector N hembra sin ranuras (slotless) para uso metrológico

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 18 GHz	0 – 18 GHz
Pérdida de retorno	≥ 34 dB	≥ 42 dB
Pérdida de inserción	$\leq 0,04$ dB	$\leq 0,035$ dB
Blindaje	≤ -120 dB	≤ -120 dB
Vida útil	5.000 ciclos	
Rango de torque	1,3 a 1,7 N.m	

Tabla 7: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

Existen versiones de 50 y 75 ohm para conectores tipo N. La versión de 75 ohm es utilizada en algunos sistemas de RF y CATV y se la diferencia de la anterior debido a que el conductor central es mas fino. Por lo tanto no son compatibles mecánicamente entre ellos.

10. Conector DIN 7/16:

Fue desarrollado en Alemania durante la década de 1960. El nombre del conector hace referencia al diámetro nominal del conductor externo, es decir 16 mm, y al diámetro del conductor interno, 7 mm. No es un conector muy utilizado en laboratorios sino que se lo utiliza mucho en aplicaciones de telefonía y comunicaciones, especialmente en estaciones base. Es un conector muy robusto y debe usarse una llave para conectarlo. Posee buena repetibilidad y una alta capacidad de manejo de potencia y bajo valor de PIM. Su frecuencia máxima de operación es de 7,5 GHz.



Figura 19: Conector DIN 7/16 hembra y macho

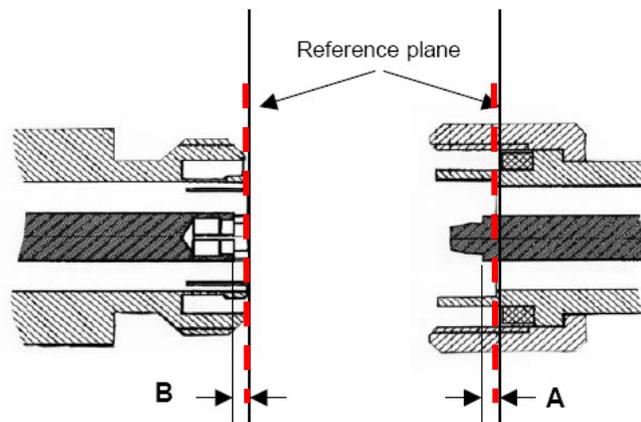


Figura 18: Corte transversal de un par hembra / macho

A pesar que es un conector que posee en la actualidad trazabilidad a patrones internacionales (NPL de Inglaterra), aún no se lo incluyó como conector de precisión en la normal IEEE 287.

DIN 7/16	Offset = 0,0697'' (1,77 mm)		
	Desvío ['']		Gap máximo total ['']
Grado	Macho	Hembra	
GPC	+0,010 / -0,000	+0,000 / -0,012	0,022
LPC	+0,0015 / -0,0000	+0,0000 / -0,0015	0,003

Tabla 8: Tolerancias máximas del gap – conector DIN 7/16 – IEC 169-4

11. Conector 14 mm (GR 900)

Fue el primer conector hermafrodita de precisión comercial. Fue creado por General Radio en 1962. El diámetro del conductor externo es de 14,29 mm (9/16"). Posee excelentes características de reflexión, pérdida de inserción y repetibilidad hasta 8,5 GHz (hasta 3 GHz en la versión de 75 ohm).

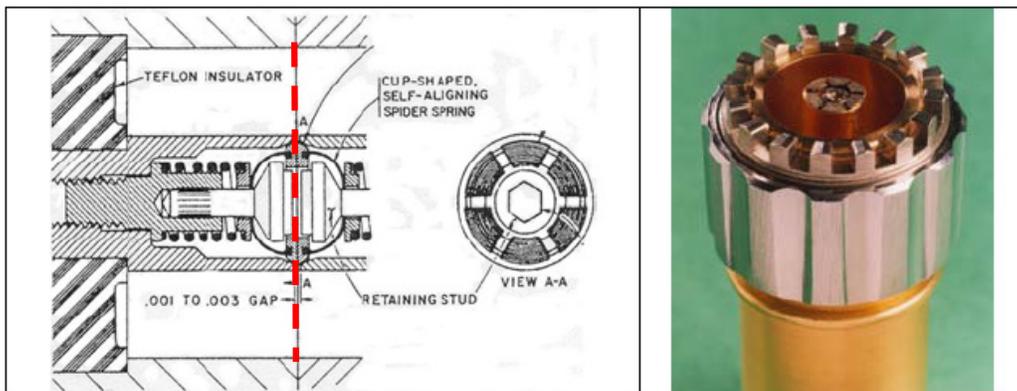


Figura 20: Conector 14 mm

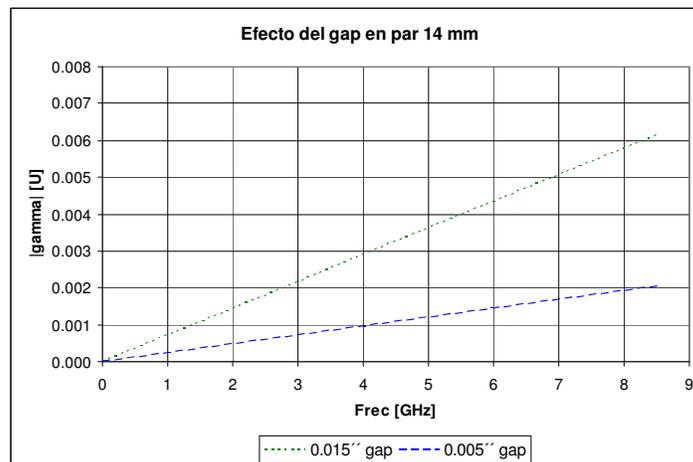


Gráfico 3: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 14 mm

Descripción	Fabricante	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 8,5 GHz	0 – 8,5 GHz	0 – 8,5 GHz
Pérdidas de retorno	ROE = 1,001 + 0,001.F(GHz)	≥ 39 dB	≥ 63 dB
Pérdidas de inserción	≤ 0,0025 dB	≤ 0,009 dB	≤ 0,009 dB
Blindaje	≤ -130 dB	≤ -130 dB	≤ -130 dB
Vida útil		5.000 ciclos	
Rango de torque		4,0 N.m	

Tabla 9: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

Al tratarse de un conector hermafrodita de gran precisión, los valores de repetibilidad son extremadamente bajos (< 0,002 dB). El blindaje de este conector es muy bueno con valores menores que -130 dB por debajo de la señal. Esto se debe a la acción del triple blindaje en el plano de contacto de los conectores externos y por la calidad de los materiales empleados:

- Los conductores interno y externo, y el contacto tipo resorte están hecho de aleación de plata sólida enchapada en oro.
- El soporte del conductor interno es de Teflón.
- El acople externo de tipo rueda dentada es de acero inoxidable.

El conductor interno es hueco pero posee una cuña cilíndrica de cabeza plana y ranurada llamada en inglés *collet*. Esta cuña o collet está adosada al interior del conductor central mediante un resorte, por lo que, en su estado de reposo, se encuentra sobresalida 0,025 mm respecto al plano de referencia. Este sistema asegura que en el momento de la conexión contra otro conector idéntico, ambos collets hagan fuerza uno contra otro asegurándose que el gap entre conductores internos sea entre 0,001" y 0,003" (fig. 20). Se evita así la aparición de reflexiones y aumenta considerablemente la vida útil del conector. Sin embargo, es un conector muy voluminoso y costoso.

El modelo GR900 fue un conector de referencia en metrología y en uso militar por muchos años hasta que fue desplazado por el conector N de precisión y el APC-7. Actualmente Maury Microwave Corp. los sigue fabricando bajo el nombre de 14 mm, pero solamente se usan en pocos laboratorios para algunas aplicaciones metrológicas.

12. Conector 7 mm (APC-7)

El APC-7 (Amphenol Precision Connector - 7 mm) ofrece el coeficiente de reflexión más bajo y la mayor repetibilidad en mediciones de todos los conectores hasta 18 GHz. El desarrollo de este conector fue un esfuerzo en conjunto entre Hewlett Packard y Amphenol y fue introducido en 1964.

Tiene un diseño hermafrodita y es el preferido para la mayoría de las aplicaciones en metrología y calibración hasta 18 GHz. El plano de referencia es coplanar para ambos contactos, con las interfases eléctricas y mecánicas en la misma ubicación.



Figura 21a:
Collet de 4 ranuras

Figura 21b:
Collet de 6 ranuras

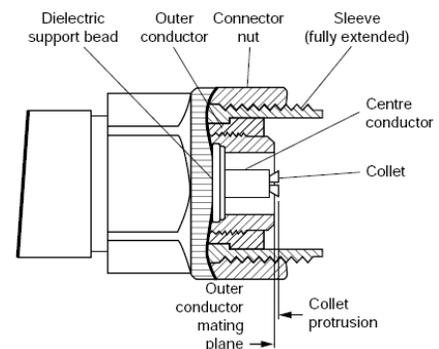


Figura 22: Corte transversal de un conector APC-7

El conductor central es hueco y posee en su interior un sistema de cuña o collet con una protrusión máxima de 0,015 mm similar al conector GR900. Este collet puede tener 4 ó 6 ranuras (fig. 22) dependiendo del grado de precisión que se quiera tener. La versión de 4 ranuras no debe emplearse por encima de los 10 GHz.

El APC-7 posee un ciclo de conexión / desconexión de unas 5.000 veces siempre y cuando se mantengan las superficies de contacto limpias y cuidadas.

Existen 2 versiones según el grado de repetibilidad y precisión que se requiera. La diferencia radica en cómo se sujeta el conductor central: los de uso general poseen un pequeño dieléctrico en su interior y los de uso metrológico tienen dieléctrico de aire.

Descripción	Fabricante	IEEE 287	
	Amphenol	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 18 GHz	0 – 18 GHz	0 – 18 GHz
Pérdida de retorno	$ROE = 1,003 + 0,002.F(\text{GHz})$	$\geq 34 \text{ dB}$	$\geq 63 \text{ dB}$
Pérdida de inserción	$0,007 \cdot \sqrt{F(\text{GHz})} \text{ (dB)}$	$\leq 0,03 \text{ dB}$	$\leq 0,03 \text{ dB}$
Blindaje	$\leq -120 \text{ dB}$	$\leq -120 \text{ dB}$	$\leq -120 \text{ dB}$
Potencia máxima	$10 / \sqrt{F(\text{MHz})} \text{ (kW)}$		
Vida útil	5.000 ciclos	5.000 ciclos	
Rango de torque		1,3 a 1,7 N.m	

Tabla 10: Especificaciones básicas según fabricantes y norma IEEE 287

7 mm	Offset = 0,000 ″ (0,00 mm)	
	Desvío [″]	Gap máximo total [″]
LPC	-0,0002 / -0,0025	0,002
GPC	-0,0002 / -0,0025	0,002

Tabla 11: Tolerancias máximas del gap – conector 7 mm

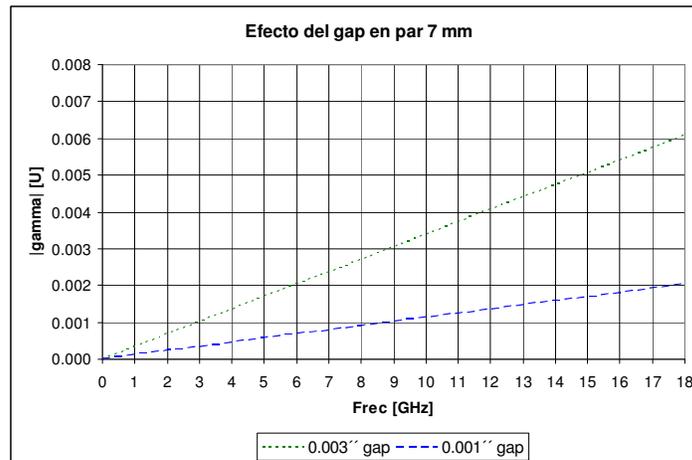
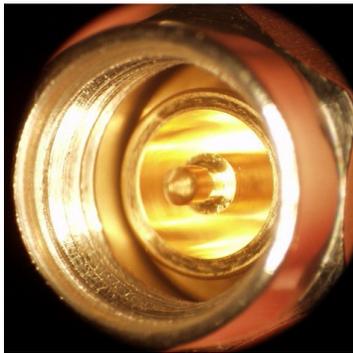
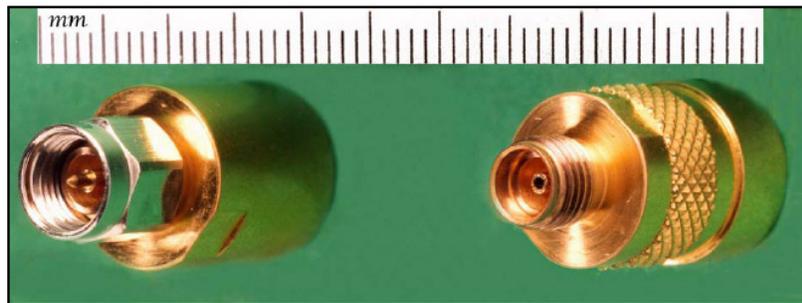


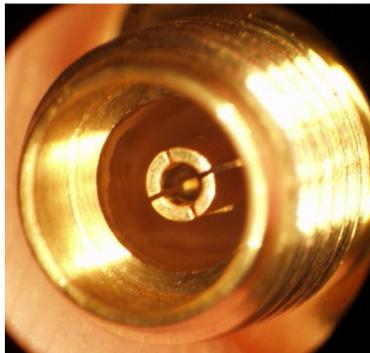
Gráfico 4: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 7 mm

13. Conector 3.5 mm (APC-3.5)

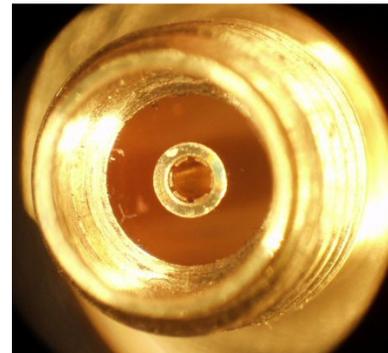
El APC-3.5 fue diseñado en Hewlett Packard en 1976 con la fabricación original en Amphenol para ser un conector de calidad compatible con el SMA. El diámetro del conductor externo es de 3,5 mm y posee un dieléctrico de aire y puede ser usado hasta los 26,5 GHz y en algunos casos hasta los 33 GHz.



Conector macho
Vista ampliada



Conector hembra 4 ranuras
Vista ampliada



Conector hembra sin ranuras
Vista ampliada

Figura 23: Conector 3.5 mm

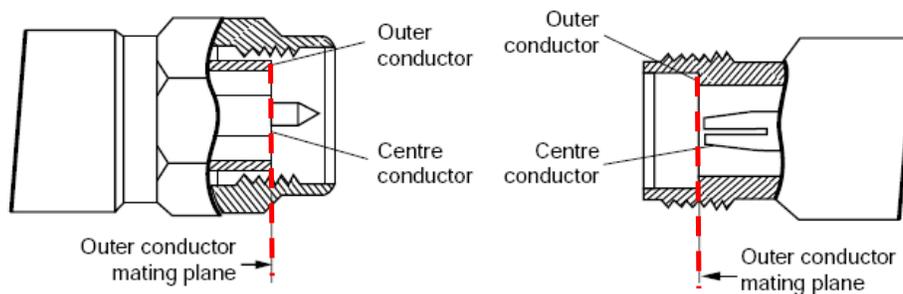


Figura 24: Corte transversal de un conector 3.5 mm

En forma similar al conector N, el conector hembra del modelo 3.5 mm tiene en la interfaz de conexión el conductor central ranurado si es para uso en laboratorio, o sino sin ranuras para uso netamente metrológico (ver fig. 23).

Descripción	Fabricante	IEEE 287	
	Amphenol	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 34 GHz	0 – 33 GHz	0 – 33 GHz
Pérdida de retorno	$ROE = 1,01 + 0,004.F(\text{GHz})$	$\geq 32 \text{ dB}$	$\geq 36 \text{ dB}$
Pérdida de inserción	$0,015.\sqrt{F}(\text{GHz}) \text{ (dB)}$	0,3 dB @ 33 GHz	0,3 dB @ 33 GHz
Blindaje		$\leq -100 \text{ dB}$	$\leq -100 \text{ dB}$
Potencia máxima	$2.500 / \sqrt{F}(\text{MHz}) \text{ (W)}$		
Vida útil		3.000 ciclos	
Rango de torque		0,6 a 1,0 N.m	

Tabla 12: Especificaciones básicas según fabricantes y norma IEEE 287

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 33 GHz	0 – 33 GHz
Pérdidas de retorno	$\geq 32 \text{ dB}$	$\geq 36 \text{ dB}$
Pérdidas de inserción	0,3 dB @ 33 GHz	0,3 dB @ 33 GHz
Blindaje	$\leq -100 \text{ dB}$	$\leq -100 \text{ dB}$
Vida útil	3.000 ciclos	
Rango de torque	0,6 a 1,0 N.m	

Tabla 13: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

3.5 mm	Offset = 0,000 '' (0,00 mm)		
	Desvío ['']		Gap máximo total ['']
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,0005 / -0,000	+0,0000 / -0,0005	0,001
GPC	+0,002 / -0,000	+0,000 / -0,002	0,004

Tabla 14: Tolerancias máximas del gap – conector 3.5 mm

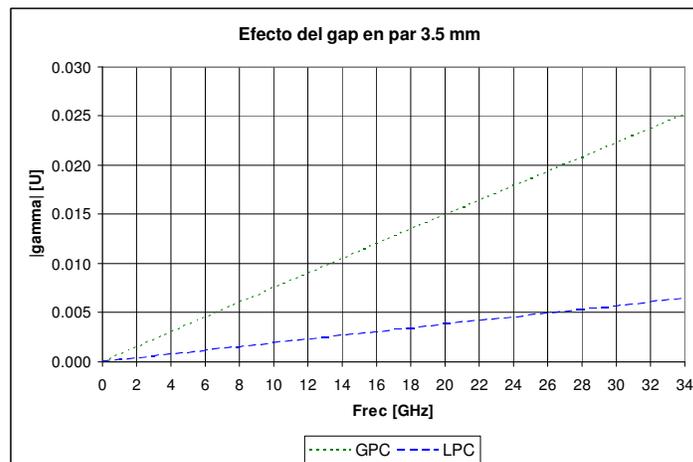


Gráfico 5: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 3.5 mm

14. Conector 2.92 mm (K)

En 1974 Maury desarrolló el conector 2.92 mm compatible mecánicamente con el SMA y llegaba hasta frecuencias de 40 GHz. Sin embargo, como aún no existían los instrumentos adecuados para poder utilizar este conector en forma comercial, se postergó su introducción en el mercado hasta 1983 cuando la empresa Wiltron lo reinsertó bajo el nombre de conector K conjuntamente con instrumental de medición hasta 40 GHz.

El conector 2.92 mm está basado en una geometría similar al APC-3.5mm pero con un diámetro de 2,92 mm y fue diseñado para ser compatible mecánicamente tanto con SMA como con 3.5 mm, pero se deberá considerar que existe una discontinuidad geométrica entre ambos (distintos diámetros internos). Esto puede representarse eléctricamente como un capacitor en paralelo de 8 fF en el plano de referencia [16].

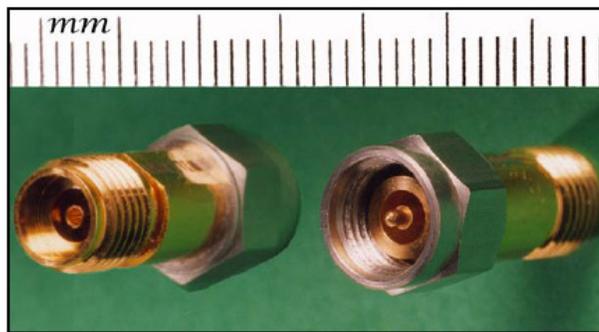


Figura 25: Conector 2.92 mm

El diseño en este conector incorporó mejoras en el uso respecto al SMA y 3.5 mm, como ser un pin macho más corto para reducir la fragilidad y daño en el momento de la conexión. Sin embargo, como es compatible con SMA, puede ser dañado con facilidad o degradado con el uso continuo con dicho conector.

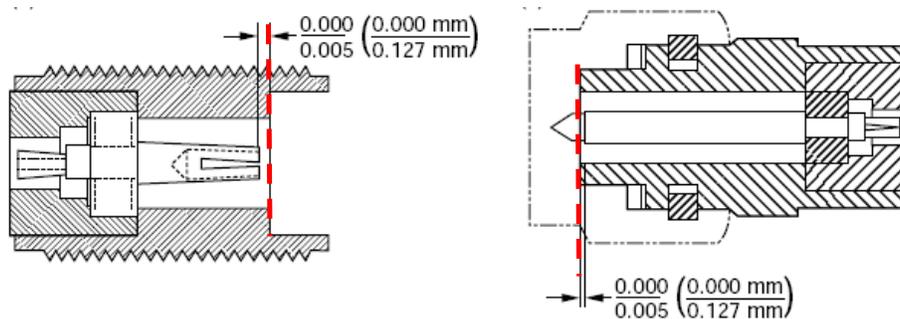


Figura 26: Corte transversal de un conector 2.92 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 40 GHz	0 – 40 GHz
Pérdida de retorno	≥ 30 dB	≥ 34 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,3 dB	≤ 0,3 dB
Blindaje	≤ -100 dB	≤ -100 dB
Vida útil	2.000 ciclos	
Rango de torque	0,6 a 1,0 N.m	

Tabla 14: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

2.92 mm	Offset = 0,000 " (0,00 mm)		
	Desvío ["]		Gap máximo total ["]
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,0005 / -0,000	+0,0000 / -0,0005	0,001
GPC	+0,002 / -0,000	+0,000 / -0,002	0,004

Tabla 15: Tolerancias máximas del gap – conector 2.92 mm

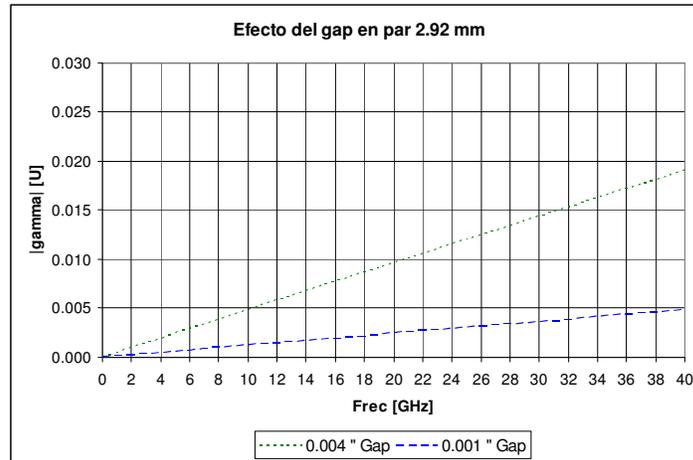


Gráfico 6: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 2.92 mm

15. Conector 2.4 mm (Q)

El conector 2.4 mm fue desarrollado por Hewlett Packard, Amphenol y M/A-COM Omni Spectra en 1986 para ser usado hasta 50 GHz pudiendo reemplazar el uso de las guía de onda hasta dicha frecuencia. Se lo conoce también como conector Q. Este diseño elimina la fragilidad de los conectores anteriores como el SMA o el 2.92 mm debido a su mayor robustez, incrementando el ancho de la pared externa y reforzando las uñas del conector hembra. El diámetro interno del conductor externo es de 2,4 mm.

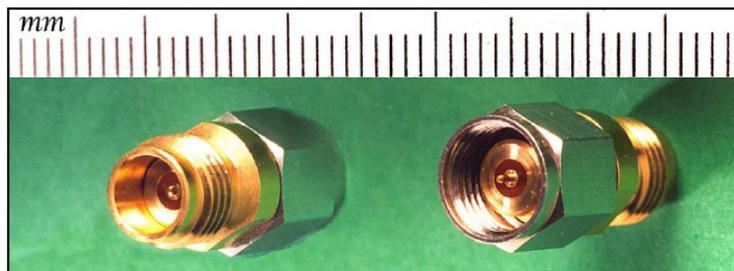


Figura 27: Conector 2.4 mm

Similarmente a los conectores anteriores, el conector 2.4 mm posee en el conector hembra el conductor central ranurado (4 ranuras) para uso en laboratorio y la versión sin ranuras para uso netamente metrológico.

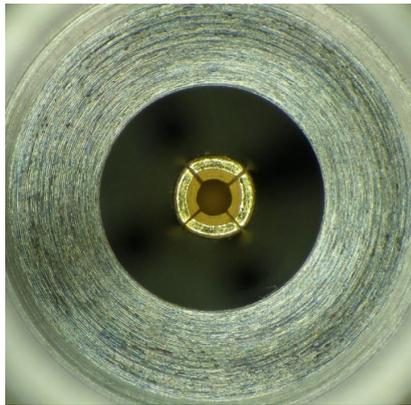


Figura 28a:
Versión de 4 ranuras

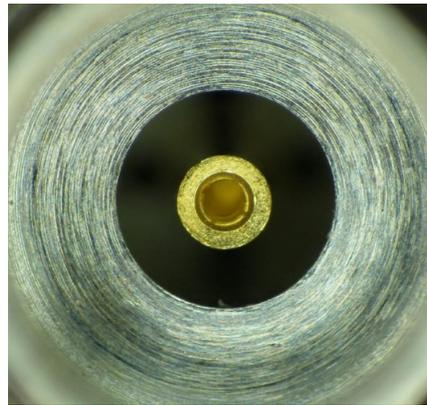


Figura 28b:
Versión sin ranuras

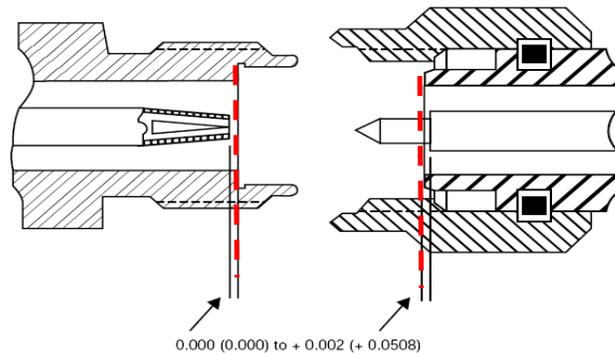


Figura 29: Corte transversal de un conector 2.4 mm

Descripción	Fabricante	IEEE 287	
	Amphenol	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 50 GHz	0 – 50 GHz	0 – 50 GHz
Pérdida de retorno	DC - 18 GHz: > 36 dB 18 – 26,5 GHz: > 32 dB 26,5 – 50 GHz: > 26 dB	≥ 24 dB	≥ 28 dB
Pérdida de inserción	0,06 dB	≤ 0,15 dB	≤ 0,135 dB
Blindaje		≤ -100 dB	≤ -100 dB
Potencia máxima	$1.000 / \sqrt{F(\text{MHz})}$ (W)		
Vida útil		5.000 ciclos	
Rango de torque	0,9 a 1,1 N.m	0,8 a 1,0 N.m	

Tabla 16: Especificaciones básicas según fabricantes y norma IEEE 287

2.4 mm	Offset = 0,000 '' (0,00 mm)		
	Desvío ['']		Gap máximo total ['']
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,0005 / -0,000	+0,0000 / -0,0005	0,001
GPC	+0,002 / -0,000	+0,000 / -0,002	0,004

Tabla 17: Tolerancias máximas del gap – conector 2.4 mm

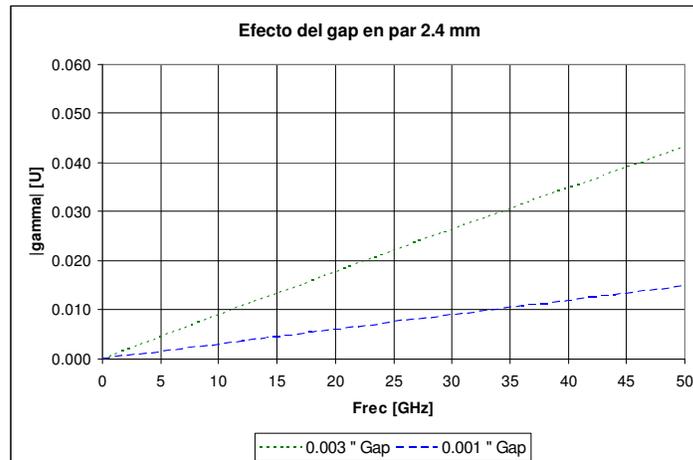


Gráfico 7: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 2.4 mm

Existen tres grados de calidad en este tipo de conector dependiendo de su utilización y costo:

Nivel de producción o propósito general: OS-50:

Es una versión económica y simple de montar. Es ofrecido por M/A-COM Omni Spectra, para ser usado en microstrip, componentes y cables donde se lo conecte y desconecte una reducida cantidad de veces con una repetibilidad media.

Nivel de instrumental: APC-2.4 mm:

Ofrecido por Amphenol Products está diseñado para ser usado en equipos de medición y prueba debiendo soportar numerosos ciclos de conexión / desconexión.

Nivel metrológico: Serie HP:

Diseñado para tener la mejor exactitud y trazabilidad a patrones nacionales de medición, se utiliza en toda aplicación relacionada con calibraciones de referencias o patrones. Su costo es elevado.

Como no es un conector compatible mecánicamente con los conectores SMA, 3.5 mm y 2.92 mm, se deberá utilizar adaptadores de precisión si se quiere adaptar con estos conectores.

16. Conector 1.85 mm (V)

Fue desarrollado originalmente por Hewlett Packard en 1986 pero insertado en el mercado por Anritsu en 1989. Está diseñado para funcionar hasta 65 GHz. El diámetro del conductor externo es de 1,85 mm pero es compatible mecánicamente con el conector 2.4 mm. Sin embargo se deberá considerar que existe una discontinuidad geométrica entre ambos (distintos diámetros internos). Esto puede representarse eléctricamente como un capacitor en paralelo de 10 fF en el plano de referencia [16].

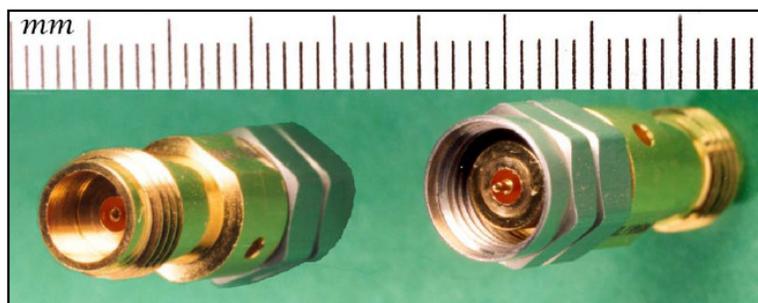


Figura 30: Conector 1.85 mm

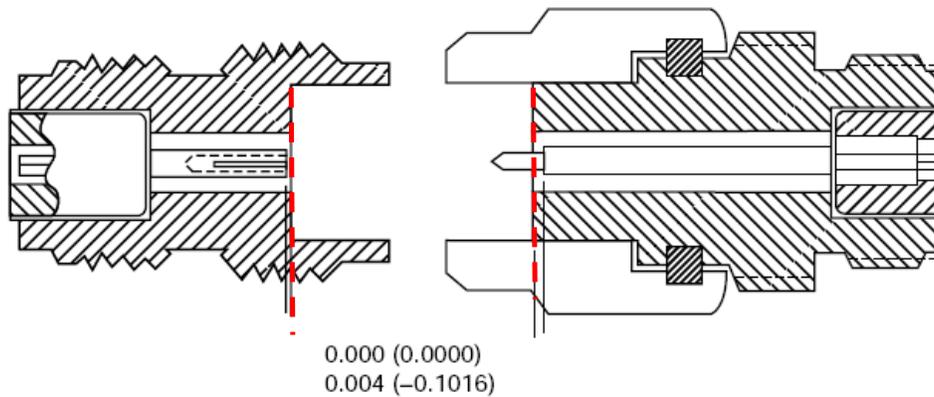


Figura 31: Corte transversal de un conector 1.85 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 65 GHz	0 – 65 GHz
Pérdida de retorno	≥ 22 dB	≥ 26 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,4 dB	≤ 0,4 dB
Blindaje	≤ -100 dB	≤ -100 dB
Vida útil	5.000 ciclos	
Rango de torque	0,8 a 1,0 N.m	

Tabla 18: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

1.85 mm	Offset = 0,000 ″ (0,00 mm)		
	Desvío [″]		Gap máximo total [″]
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,0005 / -0,000	+0,0000 / -0,0005	0,001
GPC	+0,002 / -0,000	+0,000 / -0,002	0,004

Tabla 19: Tolerancias máximas del gap – conector 1.85 mm

17. Conector 1.0 mm (W)

Fue diseñado por Hewlett Packard y está definido en la norma IEEE 287. El diámetro del conductor externo es de 1 mm y está diseñado para cubrir frecuencias hasta 110 GHz.

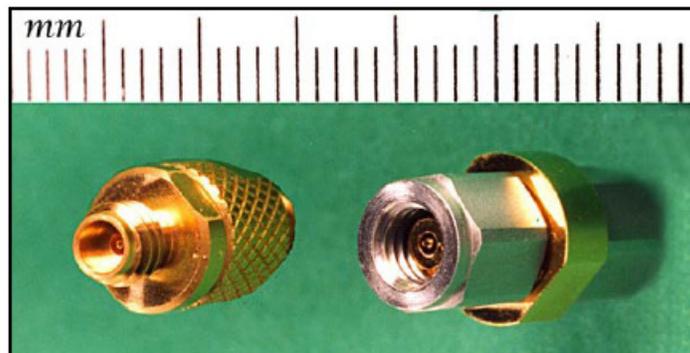


Figura 31: Conector 1.0 mm

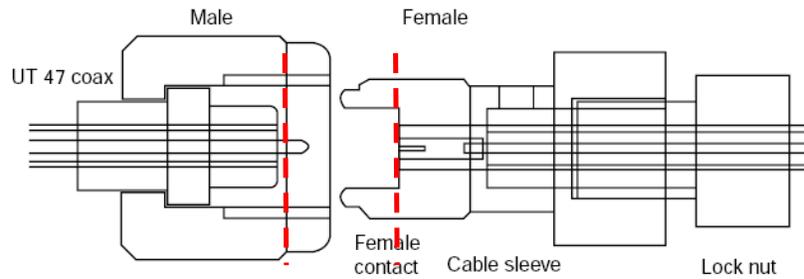


Figura 32: Corte transversal de un conector 1.0 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 110 GHz	0 – 110 GHz
Pérdida de retorno	≥ 18 dB	≥ 22 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,6 dB	≤ 0,6 dB
Blindaje	≤ -90 dB	≤ -90 dB
Vida útil	3.000 ciclos	
Rango de torque	0,4 a 0,5 N.m	

Tabla 19: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

1.0 mm	Offset = 0,000 '' (0,00 mm)		
	Desvío ['']		Gap máximo total ['']
Grado	Macho	Hembra	
LPC	+0,0005 / -0,000	+0,0000 / -0,0005	0,001
GPC	+0,002 / -0,000	+0,000 / -0,002	0,004

Tabla 20: Tolerancias máximas del gap – conector 1.0 mm

Conector GR 874:

El GR 874 fue diseñado por General Radio en 1949. Es un conector hermafrodita de encastrado (push-on) el cual tuvo gran aceptación en sus primeros años debido a sus características de reflexión superiores al resto de los conectores de aquella época entre DC y 9 GHz a tal punto que muchos instrumentos de laboratorio adoptaron este conector en especial para aplicaciones con pulsos y en osciloscopios de muestreo o TDR (Time domain Reflectometry).

Ambos conductores (externo e interno) son ranurados pero están posicionados de tal forma que, cuando son conectados a otro conector, el par forma una geometría circular en ambos conductores.



Figura 33: Conector GR 874

Este conector consta de dos versiones:

- Versión con traba (locking) para aplicaciones de alta performance. Tiene un acople con rosca que permite sujetar ambos conectores mecánicamente para una repetibilidad mayor, menor pérdida (blindaje ≤ -120 dB) y menor probabilidad de desconectarse por accidente.
- Versión sin traba (non-locking) para aplicaciones menos exigentes y más prácticas en la conexión y desconexión. En este caso el blindaje se degrada a unos 40 o 50 dB.

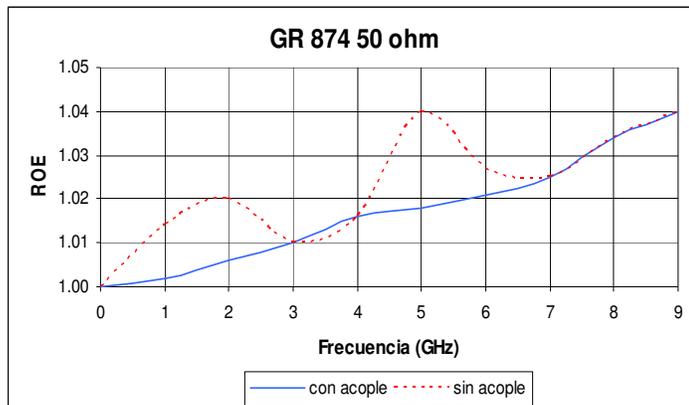


Gráfico 8: Variación de la ROE con la frecuencia – conector GR 874

Existe una versión de 75 ohm cuyo rango de frecuencias llega hasta 2 GHz y la ROE típica no supera 1,02. En la actualidad casi no se utiliza este conector excepto en equipamiento de la década del 70 o anterior. IET Labs Inc. y Delta Electronics Mfg. Corp. son de los pocos fabricantes que aun siguen fabricando este tipo de conector.

Conector Dezifix B:

Conector desarrollado por la empresa alemana Rohde & Schwarz en la década de 1960. Es un conector muy robusto y fácil de conectar y desconectar. Tiene una versión en 50, 60 y 75 ohm.

La versión de 50 ohm llega hasta 5 GHz con una ROE máxima de 1,02.

La versión de 75 ohm llega hasta 3 GHz con una ROE máxima de 1,03.



Figura 34: Conector Dezifix B

En la actualidad este conector se encuentra discontinuado.

19. Usos y cuidados en los conectores:

La vida útil de un conector depende mayoritariamente del grado de cuidado y limpieza que se le brinda a lo largo del tiempo. Un mal uso o descuido en el manejo del mismo podría dañar mecánicamente al conector con una degradación en sus especificaciones eléctricas.

Conexión y desconexión:

Los conectores de uso general pueden tener cualquiera de los siguientes tipos de acoples:

- Inserción o push-on (conectores SMB, SMC)
- Tipo bayoneta (conector BNC)
- Tipo tuerca / rosca externa

Todos los conectores de precisión poseen un sistema de acople tipo tuerca / rosca externa para lograr una buena conexión mecánica entre ambos conectores.

En el caso de conectores tipo macho / hembra, el conector macho posee una tuerca externa y la hembra una rosca. En caso de conectores hermafrodita, el mismo conector posee ambas cosas.

Independientemente del tipo de acople, la forma correcta de conexión entre dos conectores es insertar uno contra el otro sin rotar ninguno de los dos, o en el caso de tener tuerca, roscar la tuerca del macho sobre la rosca de la hembra siempre manteniendo los cuerpos de ambos conectores quietos. Nunca debe girar el conector y el cuerpo simultáneamente cuando se realice una conexión. Eso puede dañar severamente la superficie interna del mismo, provocando un deterioro mecánico y la posterior degradación de sus especificaciones. En el caso de los conectores hermafroditas, como ambos poseen tuerca y rosca, se debe ajustar manualmente solo uno de ellos hasta hacer tope, dejando la otra tuerca suelta. No es aconsejable ajustar primero una tuerca y después la otra a contratuerca.

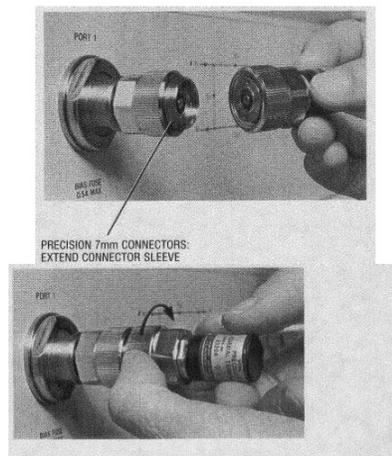


Figura 35: Forma correcta de conexión – conector 7 mm

El ajuste final en la conexión muchas veces es suficiente realizarlo solo con la fuerza de la mano. Sin embargo, en el caso de los conectores de precisión o aquellos que tengan acople hexagonal, se deberá utilizar una llave torquimétrica adecuada según el tipo de conector. Bajo ningún concepto se deben emplear pinzas de fuerza o llaves fijas ya que el exceso de torque puede dañar considerablemente a ambos conectores en el momento de la conexión.



Figura 36a: Llave torquimétrica para conector N



Figura 36b: Llave torquimétrica para conector 3.5 mm

Los valores normalizados de torque son los siguientes:

Tipo de conector	Torque típico recomendado	
	[lb.in]	[N.m]
DIN 7/16	20	2,26
14 mm	12	1,36
N	12	1,36
7 mm	12	1,36
SMA - Acero inox.	8	0,90
SMA - Brass	5	0,56
3.5 mm	8	0,90
2.4 mm	8	0,90
1.85 mm	8	0,90
1.0 mm	3	0,34

Tabla 21: Valores recomendados de torque

Medición de la discontinuidad (gap) entre conectores:

La forma de saber si un conector tiene recesión o protrusión es medirle la posición del conductor central respecto al valor nominal del offset. Esto se realiza con un medidor (connector gauge) que actúa como un micrómetro de profundidad y está calibrado en milésimas de pulgada (0,001 ′′). Existe un medidor distinto para cada tipo de conector. El valor del gap será la suma de los offsets (recesión / protrusión) de ambos conductores [4].

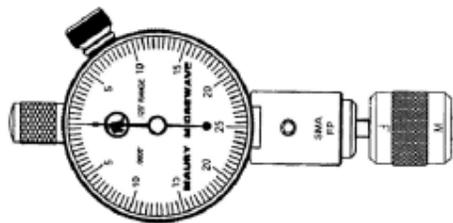


Figura 37: Medidor de recesión / protrusión

Inspección:

La inspección siempre es visual (se puede acompañar con una lupa o magnificador x3 ó mayor) comprobando el estado general del conector, que no tenga manchas, rayones y que el pin central no esté roto, deformado o descentrado.

Conectores de uso general:

En el caso de los conectores de uso general, muchas veces es suficiente con una inspección visual y limpieza periódica. En casos en que por algún motivo el conector sufra algún golpe, desgaste excesivo o deformación, se deberá reemplazar este conector por otro. De lo contrario, este conector empezará a dañar a todos los demás conectores a los cuales se conecte.



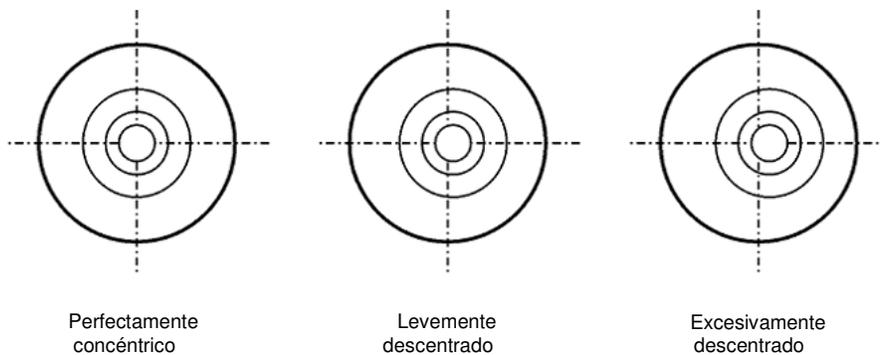
Figura 38: Conector BNC severamente dañado

En la fig. 38 se observa un conector BNC hembra de panel con una clara deformación en el conductor externo. Probablemente sea un golpe debido a una caída y un posterior arreglo con una pinza u otra herramienta de mano. Además el dieléctrico presenta rayones en su superficie. Por lo tanto, este conector es inservible para cualquier tipo de uso debido a que mecánicamente no permite su conexión a un conector BNC macho.

Conectores de precisión:

Al tratarse de conectores con tolerancias mecánicas más exigentes y valores de reflexión más bajos, se deberán tener especiales consideraciones a la hora de inspeccionarlos.

En los conectores machos, se debe observar la concetricidad del pin central respecto al conductor externo:



A simple vista no se puede distinguir la posición del pin central respecto al plano de referencia (recesión o protrusión). Sin embargo, en casos de daño severo al conector o sobrecalentamiento del soporte dieléctrico, puede provocar que el conductor central se desplace varios milímetros como muestra la siguiente figura.

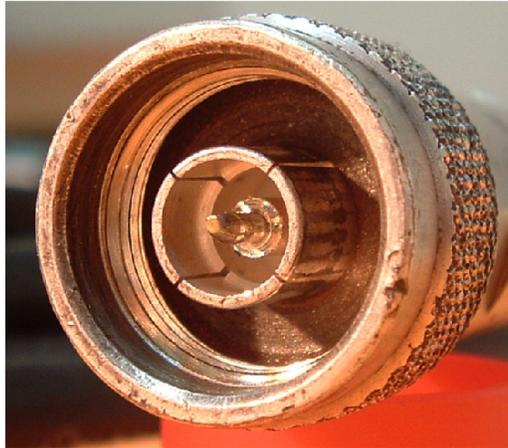


Figura 39a: Conector N
Dañado y desgastado

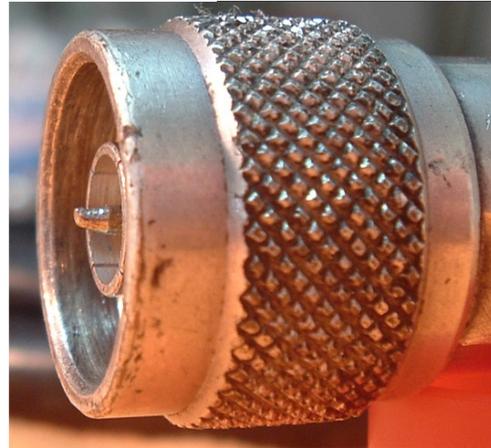


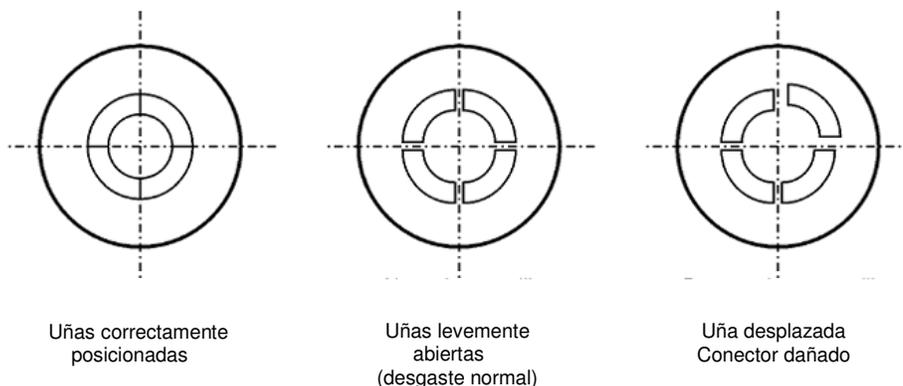
Figura 39b: Conector N
Conductor interno con excesiva protrusión

En las figuras 39a y 39b se observa un conector N macho a un extremo de un cable de medición. Después de realizarle una inspección visual se encuentran las siguientes anomalías:

- Conductor interno con rayones visibles en la superficie de contacto (fig. 39a).
- Conductor interno con una protrusión excesiva (fig. 39b) ya que el pin central sobresale del conector varios milímetros.
- Conductor externo con la superficie “manchada”.
- Sistema de acople con signos de deterioro por factores ambientales (uso y/o almacenamiento en la intemperie). Además se nota un desgaste del acople en la zona de nervaduras de ajuste, seguramente por el uso de alguna pinza al ajustar el conector.

De lo observado anteriormente se deduce que este conjunto cable – conector presenta un desgaste y deterioro severo provocado seguramente por un exceso de uso y bajo condiciones ambientales adversas.

En el caso de los conectores hembra, además de la concentricidad del conductor central (de 4 o 6 uñas) es importante observar la simetría y la posición de cada uña. Una conexión forzosa puede desplazar una de las uñas del conductor central, provocando una variación de la Z_0 en esa zona (efecto capacitivo) con el riesgo que dicha uña se pueda quebrar en una futura conexión.



Si se pretende usar un conector con alguna de las irregularidades anteriores, se recomienda su inmediato reemplazo para evitar mayor daño hacia los demás conectores. En el caso extremo de ser imposible su reemplazo, se pueden usar temporalmente adaptadores macho/hembra que estén en buenas condiciones

Limpieza:

Para la limpieza de un conector debe usarse aire a baja presión y un hisopo de algodón con alcohol isopropílico puro (99,5 %) libre de solvente para no causar daño en el dieléctrico y soporte plástico del conector. Se debe limpiar suavemente sobre las superficies de ambos conductores y también en la rosca del acople.

Es muy importante nunca tocar con los dedos dentro de un conector. La piel de los dedos tiene un pH de 5,5. Esto en conjunto con la humedad, bacterias y suciedad, produce un ácido graso que, en contacto repetido con la superficie de los conductores del conector, puede causar manchas y degradar la conductividad superficial y/o la resistencia de contacto en la transición de los conductores.

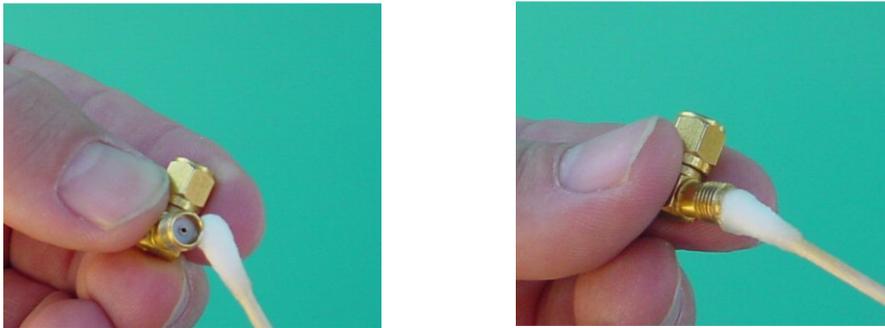


Figura 40: Limpieza de un conector

En el caso de limpiar conectores de paneles de equipos o instrumentos, es recomendable realizarlo con el equipo apagado y usando una pulsera ESD anti estática para evitar posibles daños en el equipo.

Este procedimiento de limpieza hay que repetirlo periódicamente o cada vez que se note suciedad en cualquier parte del conector. Es muy común que las roscas de conexión se ensucien fácilmente (suciedad o limaduras) y con el tiempo pueden causar que se dificulte el roscado y en casos extremos, que se produzcan falsos topes de roscado. En estos casos el conector queda aparentemente conectado en forma correcta pero sin embargo, como el sistema de acople no hizo tope, internamente el conector queda flojo. En consecuencia, el gap de la conexión será mas grande y la desadaptación mucho mayor al valor esperado.

Cuando se guardan los conectores, ya sea como parte de adaptadores, cables o conectores de instrumentos, es aconsejable taparlos con tapitas plásticas como muestra la siguiente figura.



Esto protegerá al conector de factores ambientales, polvo y con alguna suerte, en caso de caídas accidentales contra el piso.

20. Normas y especificaciones:

Los primeros conectores coaxiales se diseñaron durante la Segunda Guerra Mundial a principio de la década de 1940 para propósitos militares. Para lograr una uniformidad en las tolerancias y características mecánicas y eléctricas, se creó un comité militar / naval llamado ANRFCCC (Army-Navy RF Cable Coordinating Comitee) el cual desarrolló las primeras normas militares para cables y conectores coaxiales.

Durante la década de 1950 debido a la poca experiencia y falta de tecnología y equipamiento de medición adecuados para desarrollar conectores en el rango de los GHz, las normas y especificaciones militares se basaban en dibujos y despieces muy detallados mecánicamente pero con muy pocas especificaciones desde el punto de vista de las microondas. En aquella época el conector de RF por excelencia era el tipo N y su norma asociada era la MIL-C-71.

En 1960 se formó un Subcomité en RF llamado C83.2 dentro del ANSI (American National Standards Institute) para poder desarrollar nuevos conectores de RF para ser usados con cables flexibles, y además mejorar las especificaciones y performance de los ya existentes. La primera norma que apareció entonces fue la MIL-C-39012 en 1964 aportando a los fabricantes nuevas mejoras en el diseño y es la norma primaria de conectores en los EEUU en la actualidad.

En 1962 la IEEE creó por otro lado un subcomité de conectores coaxiales de precisión llamado P287, orientado netamente a las líneas de aire. con un primer informe en el cual se planteaban los conceptos de diseño de conectores de 14 mm y 7 mm hermafroditas. Dicho informe fue finalmente revisado y publicado en 1968 como norma 287. Posteriormente al aparecer aplicaciones a frecuencias superiores a los 18 GHz, se fueron agregando a este documento nuevos tipos de conectores.

Actualmente la norma IEEE 287 es la que regula las especificaciones eléctricas, mecánicas y tolerancias de los conectores coaxiales de precisión LPC (laboratory precision connector) y GPC (general precision connector) hasta 110 GHz. La última revisión es del 2007 y se espera una nueva revisión para el 2012.

Por otro lado la Comisión Electrotécnica Internacional (IEC) generó un par de normas similares a las anteriores que son la publicación 169 y 457. Estas son aplicables a diversas líneas de transmisión y conectores.

La mayoría de los conectores mencionados en este informe están contemplados en alguna de estas normas (ANSI, IEEE o IEC). Sin embargo en algunos casos no hay un 100% de compatibilidad entre normas por lo que a la hora de buscar especificaciones y tolerancias eléctrico-mecánicas de un conector en particular, se deberá conocer la marca de dicho conector y averiguar bajo cuál norma se rige.

Referencias:

- [1] Kuester E. (2007), "Common Coaxial Connectors", University of Colorado.
- [2] Maury M. Jr. (2005), "Microwave Coaxial Connector Technology", Maury.
- [3] Skinner D. (2007), "Guidance on using Precision Coaxial Connectors in Measurement", NPL.
- [4] Henze A. (2010), "Gap en Conectores Coaxiales", INTI.
- [5] MackKenzie, Sanderson (1966), "Some Fundamental Design Principles for the Development of Precision Coaxial Standards and Components", IEEE, Vol. MTT-14 NO. 1.
- [6] Skinner D. (2005), "Connector Care", NPL.
- [7] IEEE P287 (2007), IEEE Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz), (Rev. 2007), IEEE.
- [8] Collier, Skinner (2007), "Microwave Measurements 3rd edition", IET.
- [9] Catálogo General Radio, Edición 1973.
- [10] Henrie J., Christianson A. and Chappell W. (2009), "Engineered passive nonlinearities for broadband passive intermodulation distortion mitigation", Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 19, pp.614-616.

- [11] Ruefenacht J., Hoffmann J. (2010), "2.4 mm Slotless Connector Investigations", METAS
- [12] Weinschel B. (1967), "Standardization of Precision Coaxial Connectors", IEEE Vol. 55, pp. 923-932.
- [13] Maury M. Jr. (1999), "Improving SMA Tests with APC3.5 Hardware", Maury.
- [14] White D. (1999), "Will the Real TNC Connector Please Stand Up ?", Microwave Journal.
- [15] Grosman M. (1976), "Focus on RF Connectors", Electronic Design.
- [16] Ridler N. (2005), "Connectors, Air Lines and RF Impedance", IEE.