

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

Junio, 2011

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

1. Introducción

En la industria se pueden encontrar numerosos tipos de conectores coaxiales para aplicaciones de audio, video, digitales y también para RF y microondas. En la actualidad se pueden conseguir diferentes tipos de conectores coaxiales, cada uno de ellos diseñado, en general por alguna compañía fabricante de equipos de medición para una aplicación y propósito determinado, hasta una frecuencia de 110 GHz, prevaleciendo en cada caso algún parámetro en especial.

Un conector actúa físicamente como la interfaz entre líneas de transmisión, equipos o entre distintos tramos que forma un sistema generador / medidor. En RF y microondas la correcta elección de un conector coaxial es, en algunos casos, fundamental para evitar una incorrecta medición o una mala performance de todo el sistema. Esta elección dependerá de los parámetros que tenga el conector. Para el buen manejo y entendimiento de los conectores es necesario estudiarlos eléctrica y mecánicamente.

Parámetros de un conector:

Los parámetros que caracterizan a un conector se pueden dividir en 3 grupos:

Parámetros del sistema:

- Impedancia característica
- Frecuencia máxima de trabajo
- ROE máxima

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

Parámetros intrínsecos:

- Interfase 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.

Parámetros de diseño:

- Tamaño y peso
- Robustez mecánica, potencia, etc.
- Costo

Tienen importancia cuando el conector es parte de un diseño (Ej. conector para una placa de RF).

2. Conectores de uso general

En la actualidad existen numerosos tipos de conectores de uso general variando según su aplicación. La mayoría de estos se encuentran definidos en la norma MIL-C-39012. También varían dependiendo de que si son para usarse con cables coaxiales flexibles, semirrígidos, para ser montados en un panel o soldados sobre una placa. En este informe se describirán solo algunos modelos para aplicaciones de laboratorio.

Impedancia característica:

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

$$Z_0 = \frac{59,9586}{\sqrt{\epsilon_r}} \cdot \ln \frac{D}{d} \quad [\Omega]$$

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)

Frecuencia máxima de trabajo:

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

$$f_c = \frac{194,8}{\sqrt{\epsilon_r} (d + D)} \quad [\text{GHz}]$$

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 teórica 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

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 siendo un valor típico de -55 dB.

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 típico 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.

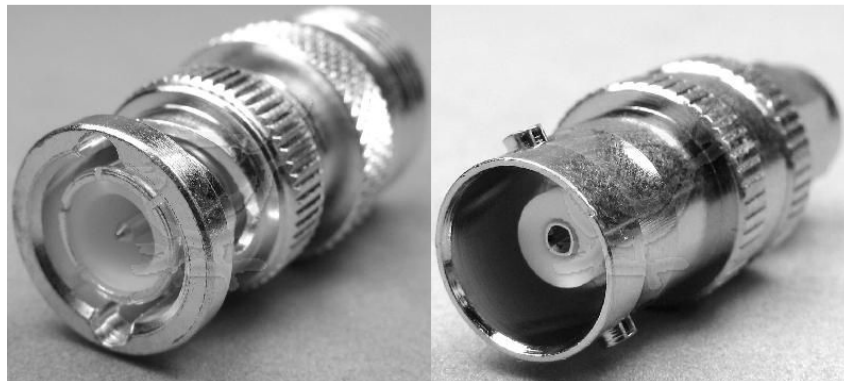


Figura 1: BNC macho y hembra de 50 ohm

Impedancia característica	50 ohm	75 ohm
Rango de frecuencia	0 – 4 GHz	0 – 1 GHz
ROE	$\leq 1,3$	$\leq 1,3$
Blindaje	≤ -55 dB	≤ -55 dB
Pérdida de inserción	$\leq 0,2$ dB	$\leq 0,2$ dB

Tabla 2: Características del conector BNC

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 provoca un aumento de la frecuencia máxima a unos 12 GHz. Se utiliza mayormente en telefonía celular y en antenas.



Figura 2: Conector TNC macho y hembra de 50 ohm

Existen distintos tipos de TNC en la actualidad con algunas diferencias mecánicas. Esto se debe mayormente a que existen varias normas que no son 100% compatibles entre sí. La versión de 75 ohm tiene una frecuencia máxima de 1 GHz.

Impedancia característica	50 ohm	75 ohm
Rango de frecuencia	0 – 12 GHz	0 – 1 GHz
ROE	≤ 1,3	≤ 1,3
Blindaje	≤ -55 dB	≤ -55 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,2 dB	≤ 0,2 dB

Tabla 3: Características del conector TNC

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 3: 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.

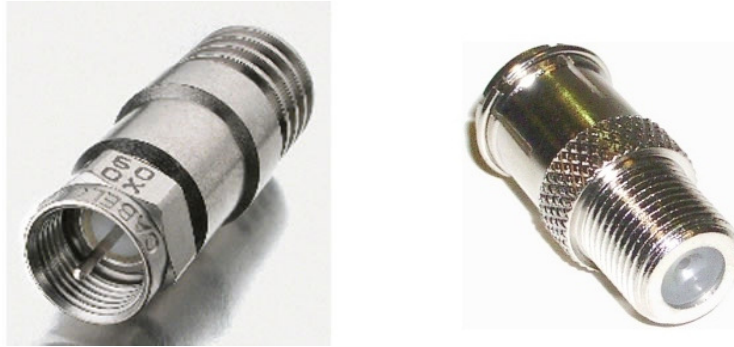


Figura 4: Conector F macho y hembra

7. Conectores de precisión

El uso de conectores de precisión se justifica a la hora de realizar mediciones que tengan incertidumbres y trazabilidad a patrones metrológicos nacionales. Se deben considerar especificaciones adicionales y se especifican valores de coeficiente de reflexión (en dB) en vez de ROE.

Para lograr este tipo de conectores se debe primero poder construirlos sin el uso de dieléctrico plástico alguno y después poseer tolerancias mecánicas mucho menores que aquellos de uso general.

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 de baja reflexión.

LPC (Laboratory Precision Connector): posee dieléctrico de aire.

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 (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.

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]		
GR 900	0,001 (DC a 0,5 GHz)	0,002 (0,5 a 8,5 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 4: 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:

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

Los conectores de uso general tienen una repetibilidad pobre y esta se degrada notablemente a las frecuencias más altas. En el caso 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, 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.

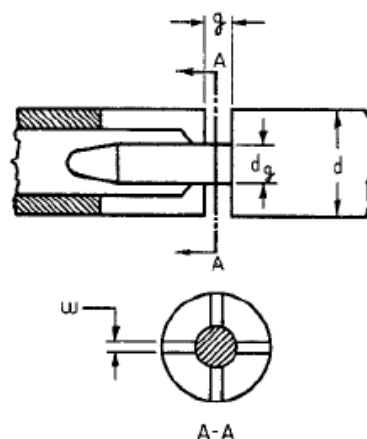


Figura 5: Discontinuidad en la conexión de un par de conectores macho / hembra

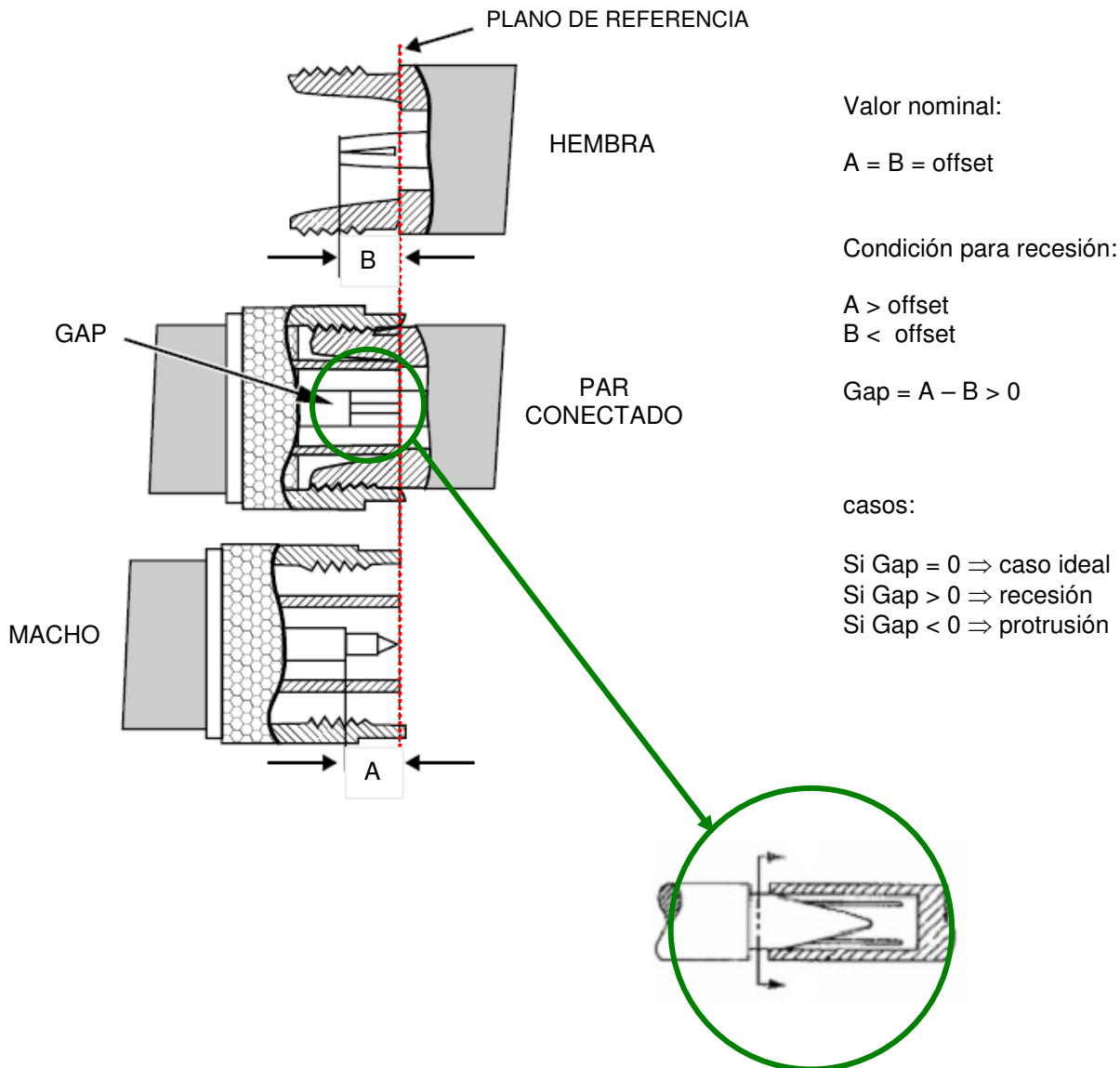


Figura 6: Plano de referencia – Corte transversal

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:

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

Donde, en base a la figura 5, 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.

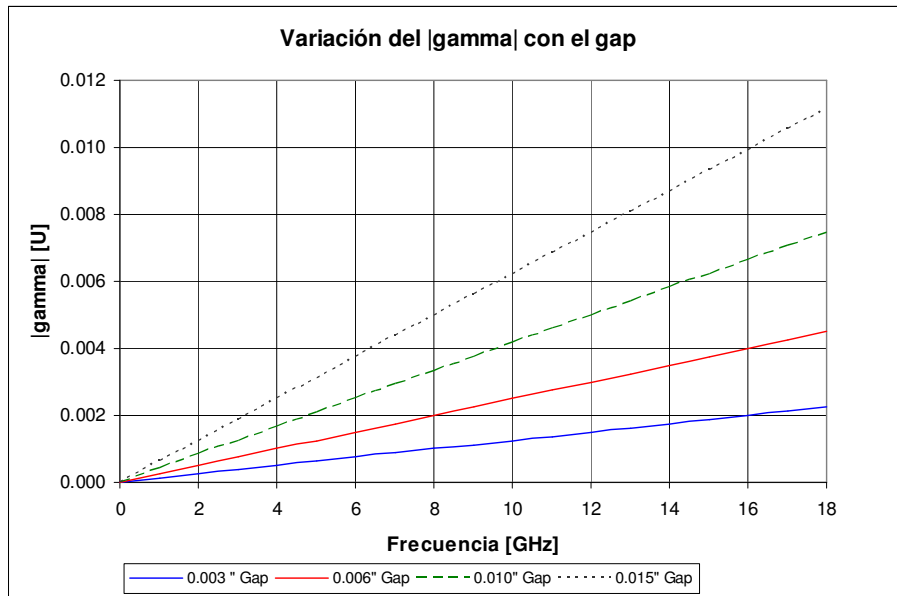


Gráfico 1: Variación del coeficiente de reflexión con el gap

8. Conector SMA

El SMA (Subminiature A) fue diseñado por la Corporación Bendix Scintilla en 1958 el cual lo llamó BRM. Posteriormente fue modificado por Omni Spectra en 1962, llamándolo 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 por su bajo costo y tamaño. A diferencia de otros, este posee un dieléctrico de Teflón entre el conductor central y externo y al tener una geometría más pequeña se lo puede usar normalmente hasta los 24 GHz.

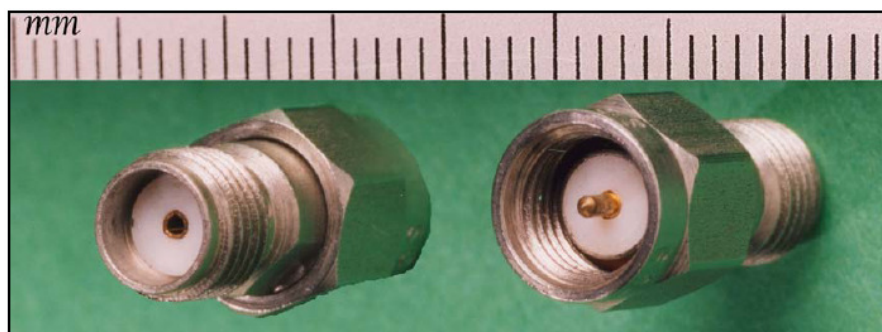


Figura 7: Conectores SMA hembra y macho

El SMA es considerado un conector de semi-precisión y 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).

Este conector tiene la desventaja 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, salida del dieléctrico por afuera del plano de conexión debido a efectos del tiempo o de la temperatura, etc.

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.

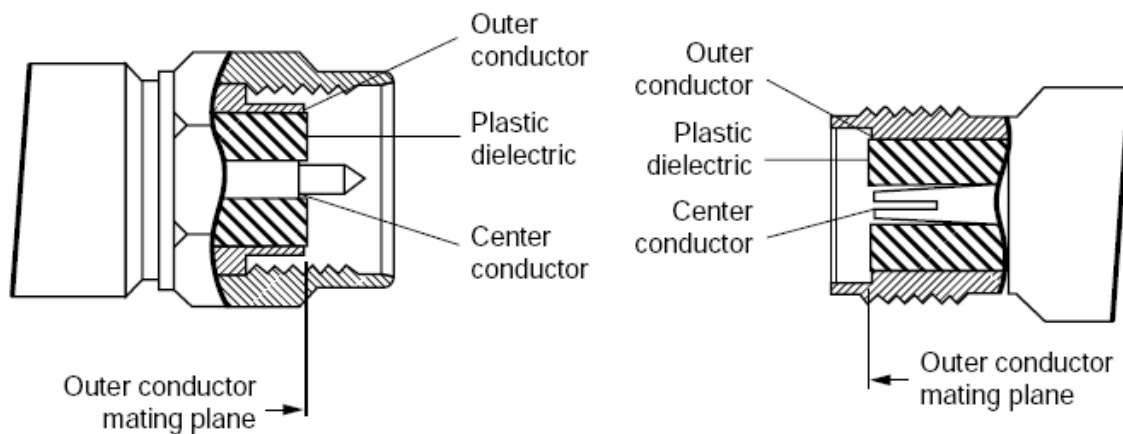


Figura 8: Corte transversal de un conector SMA macho y hembra

Cuando se conectan dos conectores SMA es suficiente muchas veces ajustar simplemente a 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. Dependiendo del fabricante, existen distintos valores recomendados de torque, siendo el torque mas usado de 5 lb.in (libras.pulgada). 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)

SMA	Offset = 0,000 '' (0,00 mm)		
	Discontinuidad (Gap) ['']		
Grado	Macho	Hembra	Máximo total
Standard	+0,005 / -0,000	+0,005 / -0,000	0,010
Precisión	+0,005 / -0,000	+0,005 / -0,000	0,010

Tabla 5: Tolerancias máximas del gap – conector SMA

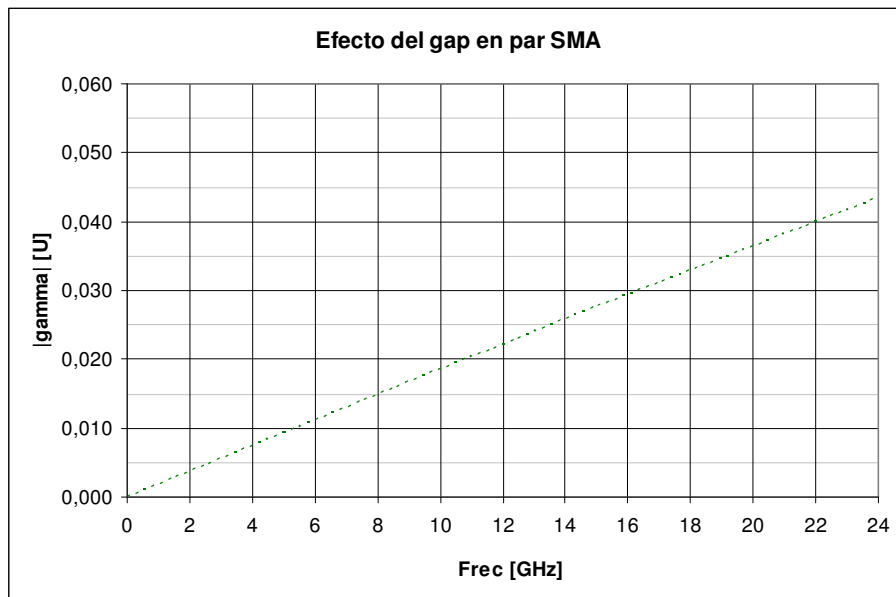


Gráfico 2: Variación del coeficiente de reflexión con un gap típico de 0,010" – conector SMA

Cuando se utilizan sistemas con SMA y se necesita tener coeficientes de reflexión más bajos, se recomienda conectarlos con una versión mejorada llamada APC-3.5 (3.5 mm) en vez de SMA / SMA debido a tener un mejor desempeño según el siguiente gráfico:

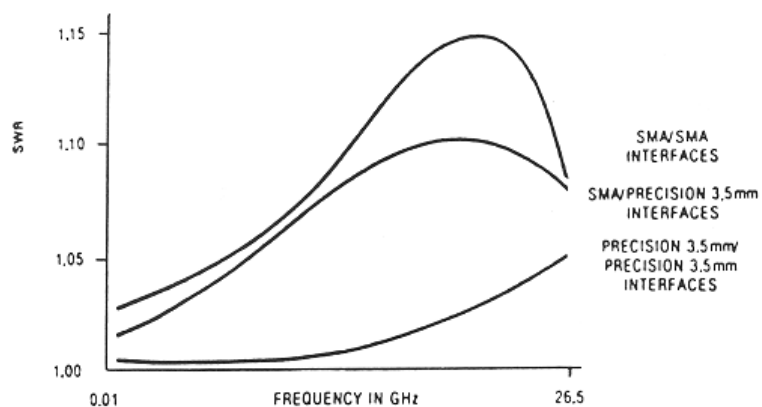


Figura 9: Variación de la ROE para distintos tipos de conexión con SMA y 3.5 mm

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 era el más adecuado. Tiene un diseño más robusto, con un 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 10a: Conductor externo ranurado (slotted)



Figura 10b: 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 precisión o no ranuradas (slotless). Sin embargo, para aplicaciones generales en microondas se siguió utilizando el conector SMA por una cuestión de costos y tamaños, dejando el conector N para usos metrológicos. En la actualidad existen versiones N de alta precisión con ROE de 1,04 hasta los 18 GHz.

El conector N 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 tiene macho y hembra. Este conector es robusto y es considerado más fácil de usar que otros tipos. No posee dieléctrico entre los conductores.



Figura 11: Conector N de precisión

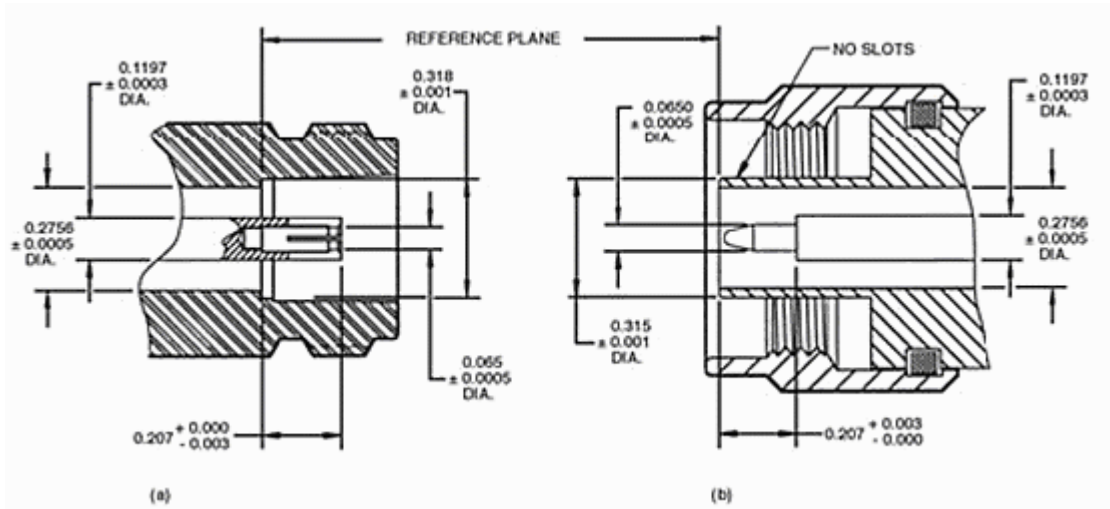


Figura 12: Corte transversal de un conector N hembra y macho

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 de precisión y de 0,007 '' para los conectores N de uso general. Estos valores varían según la norma utilizada por el fabricante.

N	Offset = 0,207'' (5,258 mm)		
	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

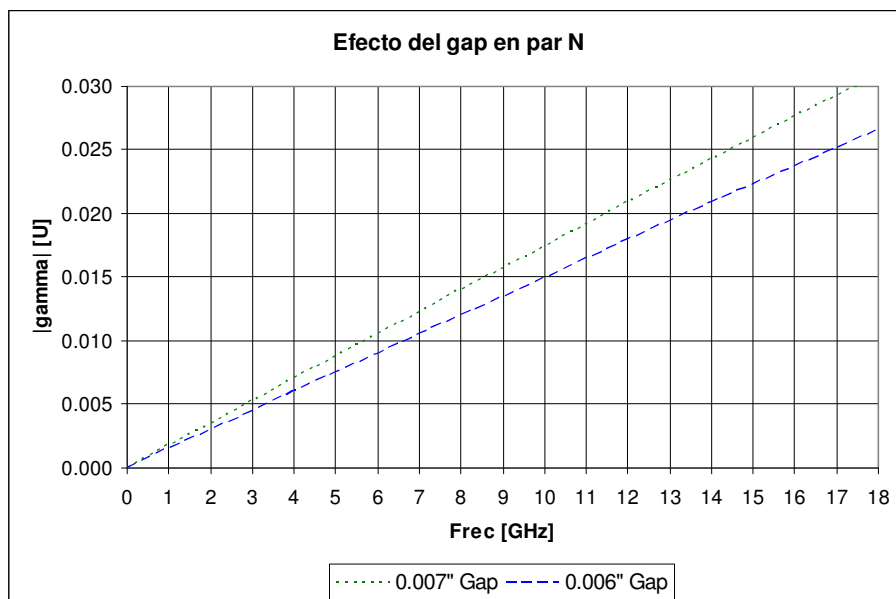
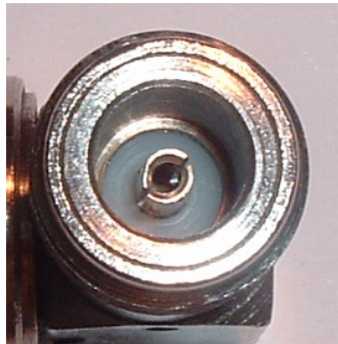


Gráfico 3: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector N

Conector hembra:

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

Existen versiones de 2, 4 y 6 uñas, siendo estas últimas las que permiten un mejor grado de precisión, ya que disminuyen el efecto inductivo y mejoran la repetibilidad en las conexiones. La versión sin ranura (slotless) solo se usa como referencia metrológica.



2 ranuras



4 ranuras
N standard



4 ranuras
N precisión



6 ranuras



Sin ranuras

Figura 13: Diferentes tipos de conectores N hembra

La gran desventaja de este tipo 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.

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 18 GHz	0 – 18 GHz
Pérdida de retorno	≥ 34 dB	≥ -42 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,04 dB	≤ 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, 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. Su frecuencia máxima de operación es de 7,5 GHz.

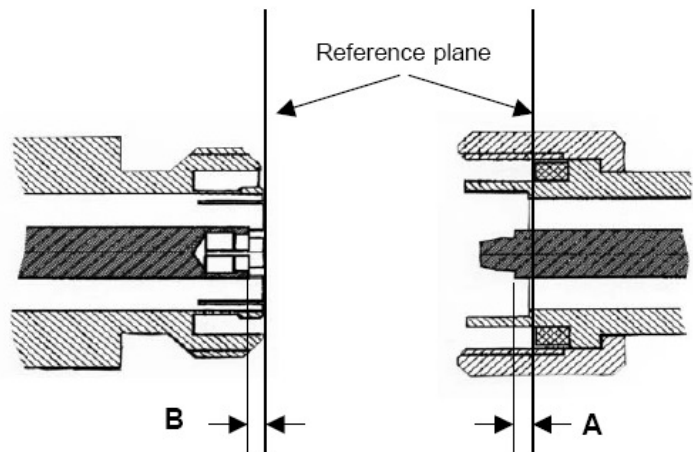
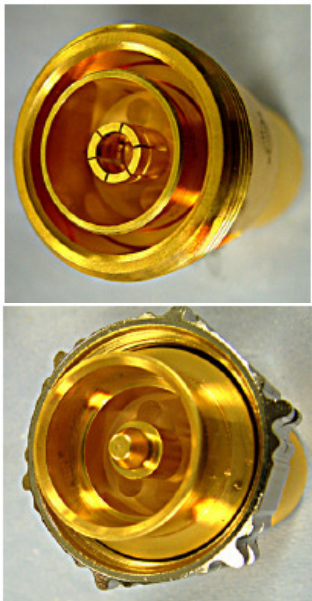


Figura 14: Corte transversal de un par hembra / macho

Figura 15: Conector DIN 7/16 hembra y macho

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

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 mm. Posee excelentes características de reflexión, pérdida de inserción y repetibilidad hasta 8,5 GHz (hasta 3 GHz en la versión de 75 ohm).

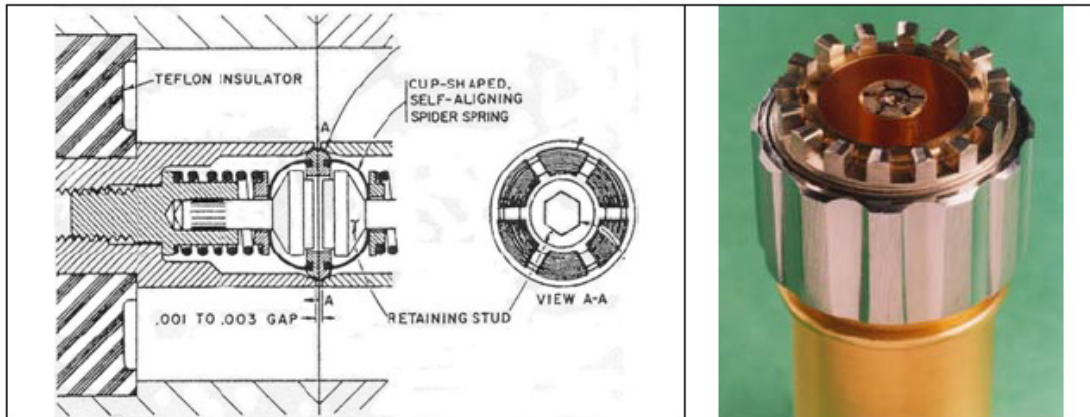


Figura 16: Conector 14 mm

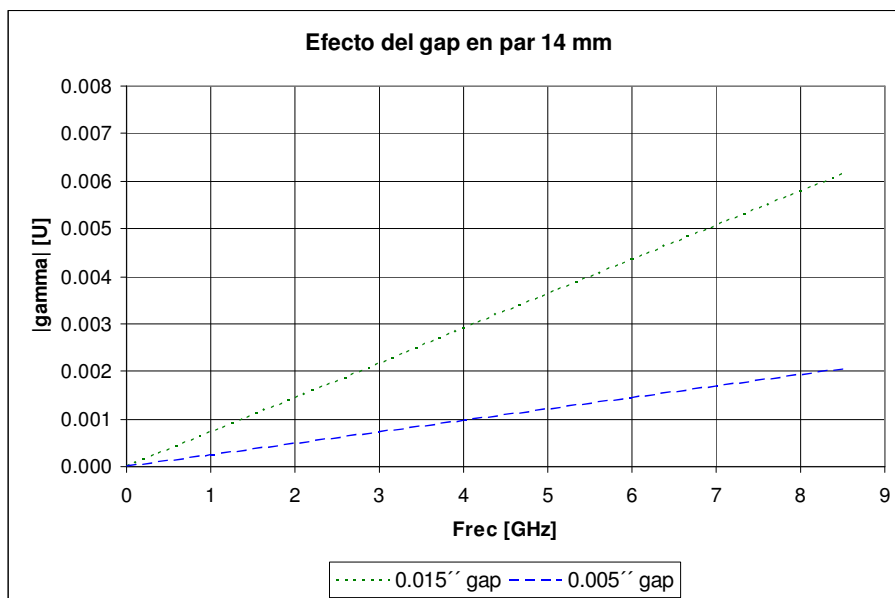


Gráfico 4: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 14 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 8,5 GHz	0 – 8,5 GHz
Pérdidas de retorno	≥ 39 dB	≥ 63 dB
Pérdidas de inserción	≤ 0,009 dB	≤ 0,009 dB
Blindaje	≤ -130 dB	≤ -130 dB
Vida útil	5.000 ciclos	
Rango de torque	4,0 N.m	

Tabla 9: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

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:

- El conductor interno, 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.

Al tratarse de un conector hermafrodita de gran precisión, los valores de repetibilidad son extremadamente bajos ($< 0,002$ dB). Además, la superficie frontal del conductor interno está sobresalida $0,025$ mm ($0,001$ ") respecto al plano de referencia del conector externo para asegurar el contacto externo. Este diseño permite librarse del uso de ranuras en los conductores internos y externos evitando así la aparición de reflexiones, aumentando considerablemente la vida útil y la repetibilidad. Sin embargo, es un conector muy voluminoso y costoso.

Fue un conector de referencia por muchos años hasta que fue desplazado por el conector N de precisión y el APC-7. Actualmente se sigue fabricando en forma reducida 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. 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.

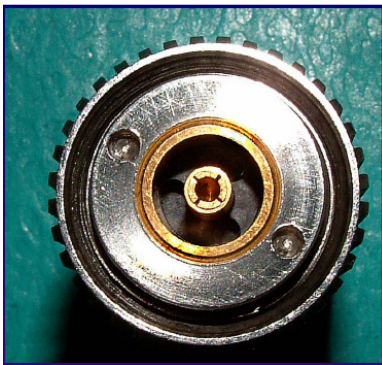


Figura 17a:
Versión de 4 uñas

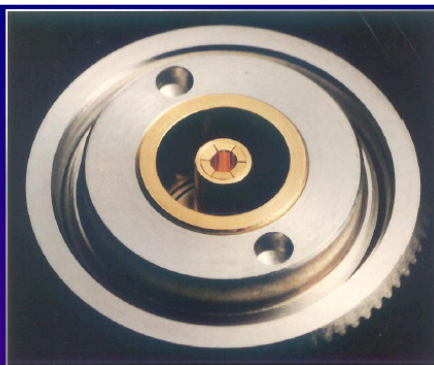


Figura 17b:
Versión de 6 uñas

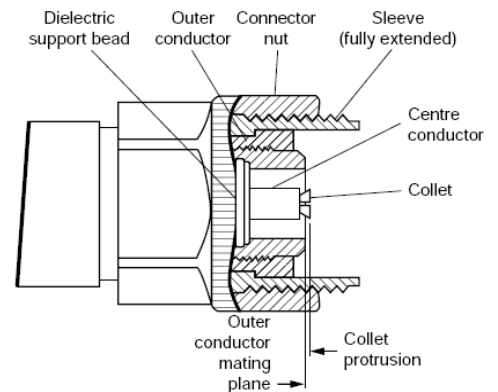


Figura 18: Corte transversal de un conector APC-7

El conductor central posee en su interior, a la altura del plano de referencia, una suspensión a resorte con un sistema de contactos ranurados (collet) similar al del GR900. Este puede ser de 4 ó 6 ranuras o uñas 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	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 18 GHz	0 – 18 GHz
Pérdida de retorno	≥ 34 dB	≥ 63 dB
Pérdida de inserción	$\leq 0,03$ dB	$\leq 0,03$ dB
Blindaje	≤ -120 dB	≤ -120 dB
Vida útil	5.000 ciclos	
Rango de torque	1,3 a 1,7 N.m	

Tabla 10: Especificaciones básicas según norma IEEE 287



Gráfico 5: 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 para instrumentación 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.

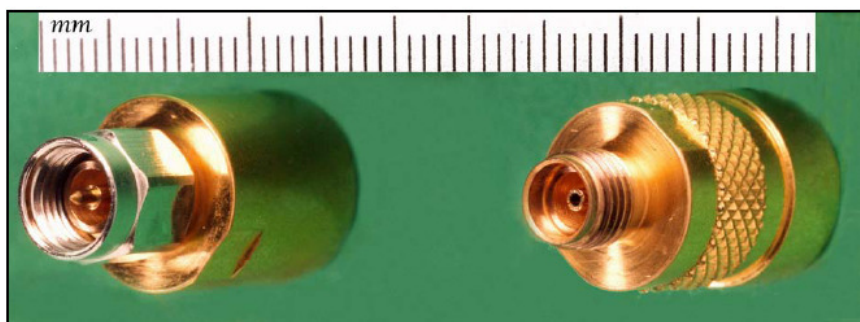


Figura 19: Conector 3.5 mm

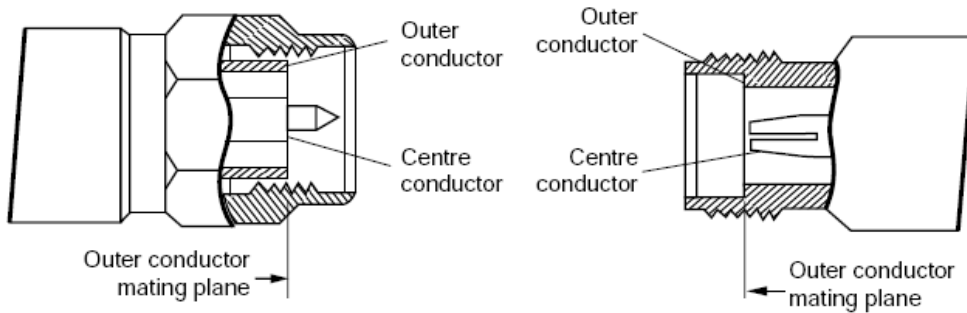


Figura 20: Corte transversal de un conector 3.5 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 33 GHz	0 – 33 GHz
Pérdidas de retorno	≥ 32 dB	≥ 36 dB
Pérdidas de inserción	0,3 dB @ 33 GHz	0,3 dB @ 33 GHz
Blindaje	≤ -100 dB	≤ -100 dB
Vida útil	3.000 ciclos	
Rango de torque	0,6 a 1,0 N.m	

Tabla 11: 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 12: Tolerancias máximas del gap – conector 3.5 mm

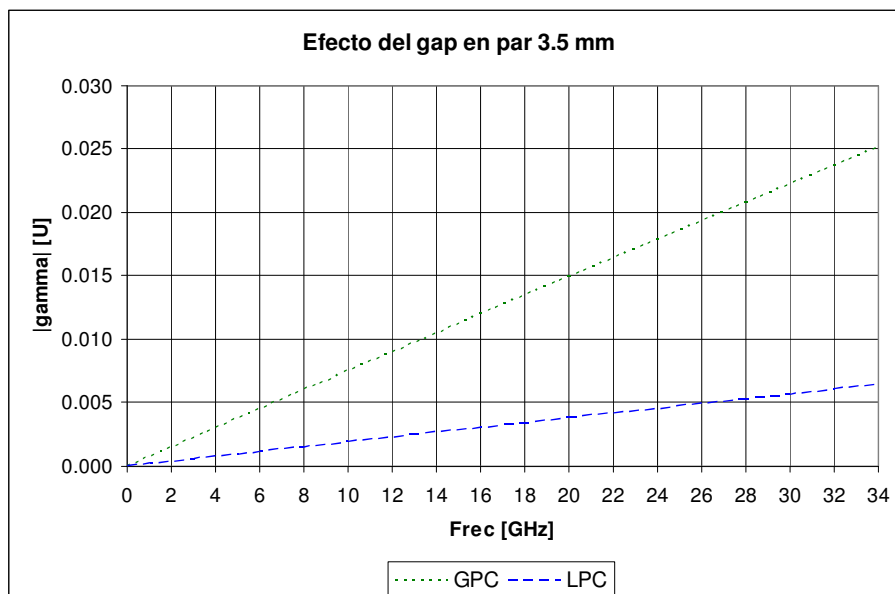


Gráfico 6: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 3.5 mm

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 tanto con SMA como con 3.5 mm, pero se deberá considerar que existe una discontinuidad geométrica entre ambos en el plano de referencia.

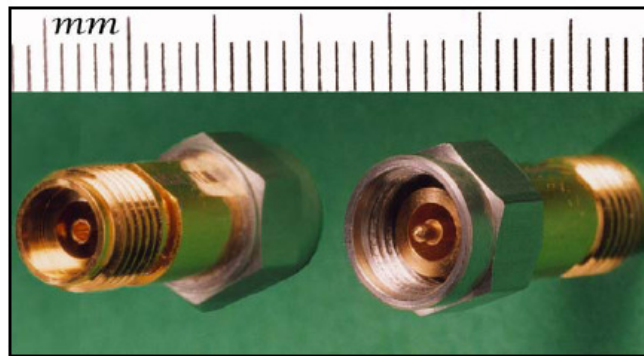


Figura 21: Conector 2.92 mm

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.

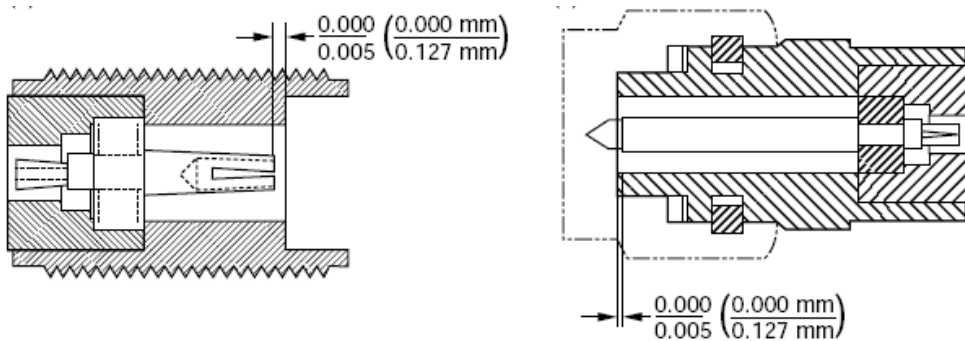


Figura 22: Corte transversal de un conector 2.92 mm

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 13: Especificaciones básicas según norma IEEE 287

2.92 mm	Offset = 0,000 '' (0,00 mm)		Gap máximo total ['']
	Desvío ['']		
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 2.92 mm

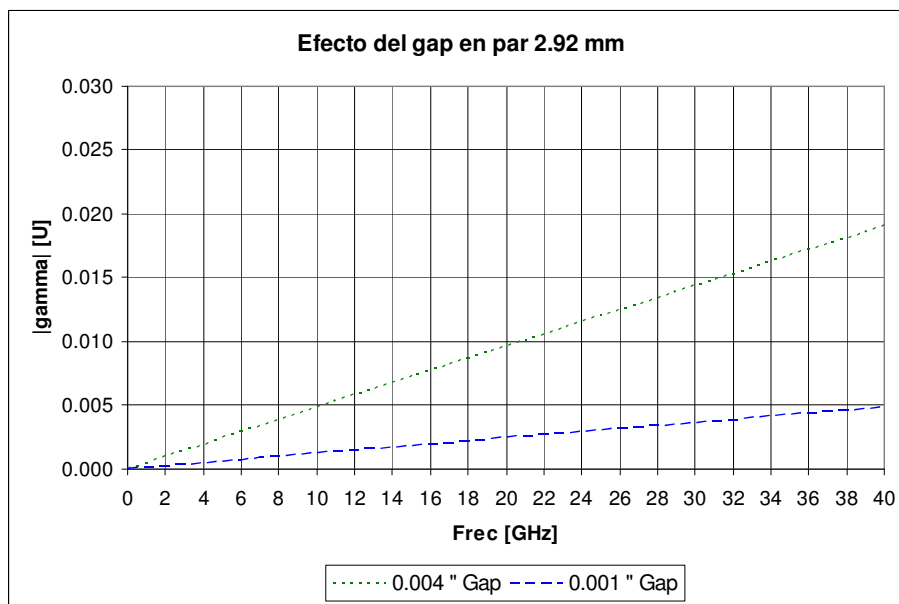


Gráfico 7: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 2.92 mm

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.

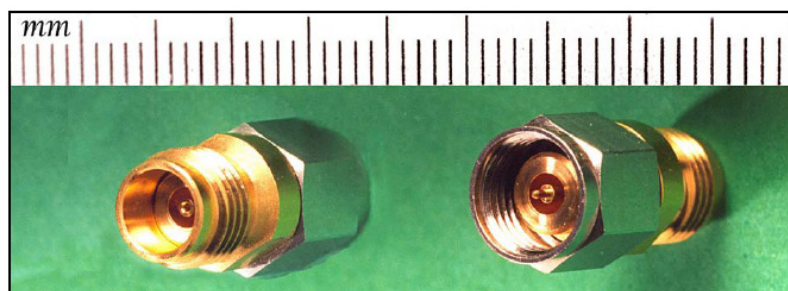


Figura 23: Conector 2.4 mm

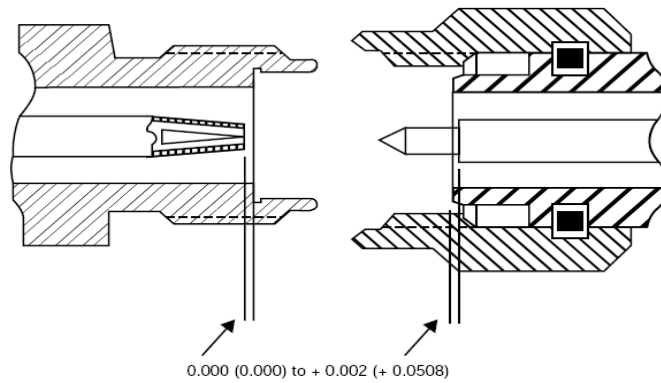


Figura 24: Corte transversal de un conector 2.4 mm

Descripción	GPC	LPC
Rango de frecuencia	0 – 50 GHz	0 – 50 GHz
Pérdida de retorno	≥ 24 dB	≥ 28 dB
Pérdida de inserción	≤ 0,15 dB	≤ 0,135 dB
Blindaje	≤ -100 dB	≤ -100 dB
Vida útil	5.000 ciclos	
Rango de torque	0,8 a 1,0 N.m	

Tabla 15: Especificaciones básicas según 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 16: Tolerancias máximas del gap – conector 2.4 mm

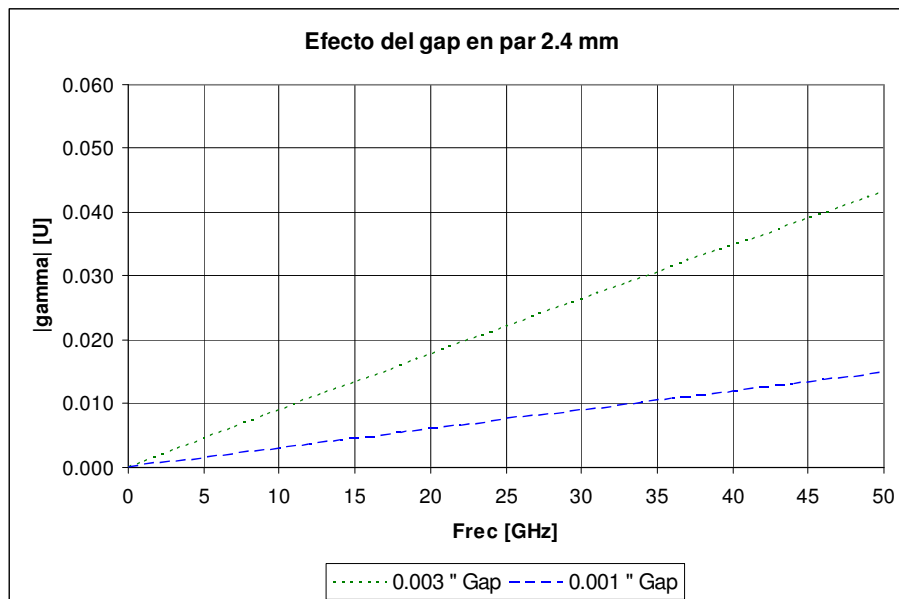


Gráfico 8: Variación del coeficiente de reflexión con el gap – conector 2.4 mm

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. El diámetro del conductor externo es de 1,85 mm pero es compatible mecánicamente con el conector 2.4 mm. Está diseñado para funcionar hasta 65 GHz.

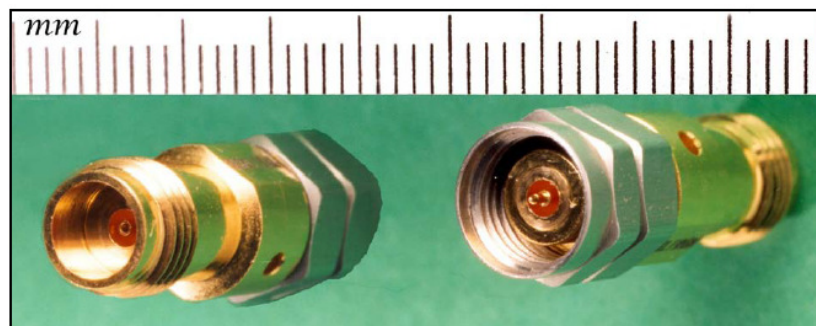


Figura 25: Conector 1.85 mm

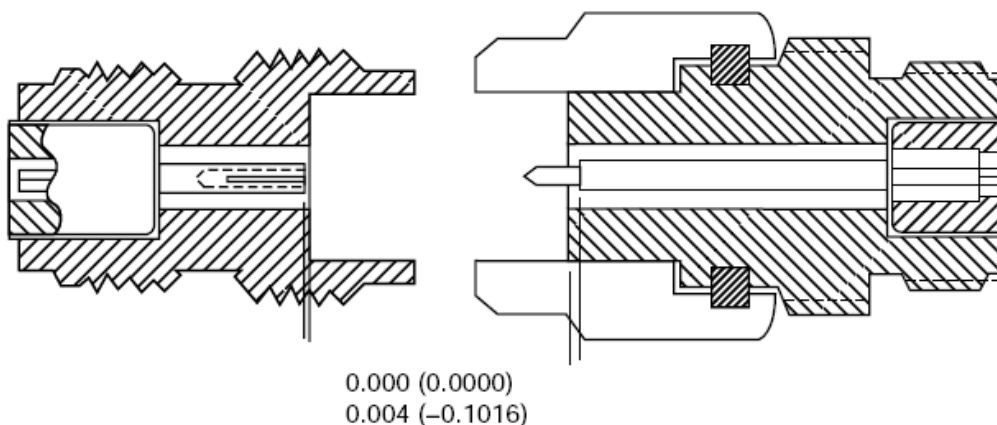


Figura 26: Corte transversal de un conector 1.85 mm

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 17: 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 18: 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.

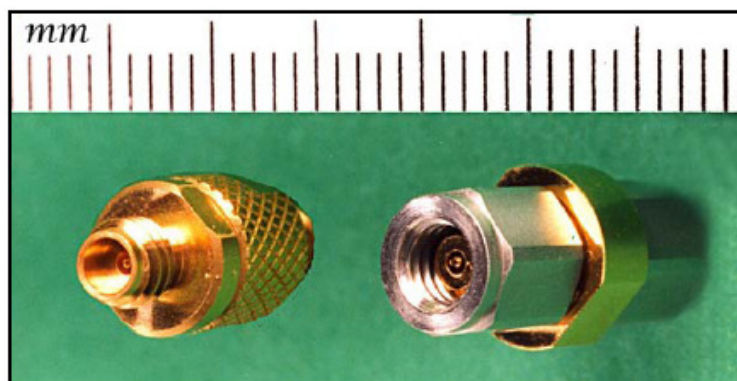


Figura 27: Conector 1.0 mm

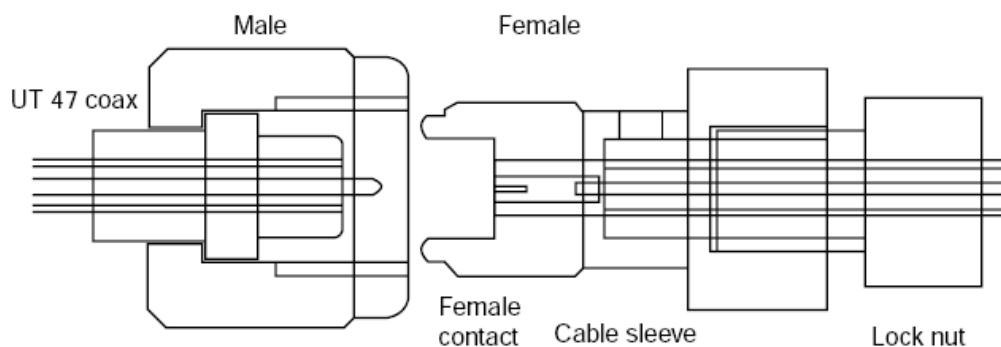


Figura 28: Corte transversal de un conector 1.0 mm

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

18. Conectores discontinuados

A continuación se detallan otros tipos de conectores históricos o que en la actualidad se encuentran discontinuados.

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 29: 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.

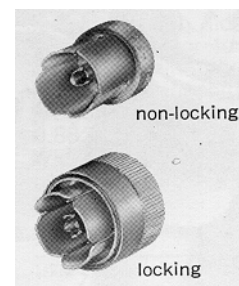
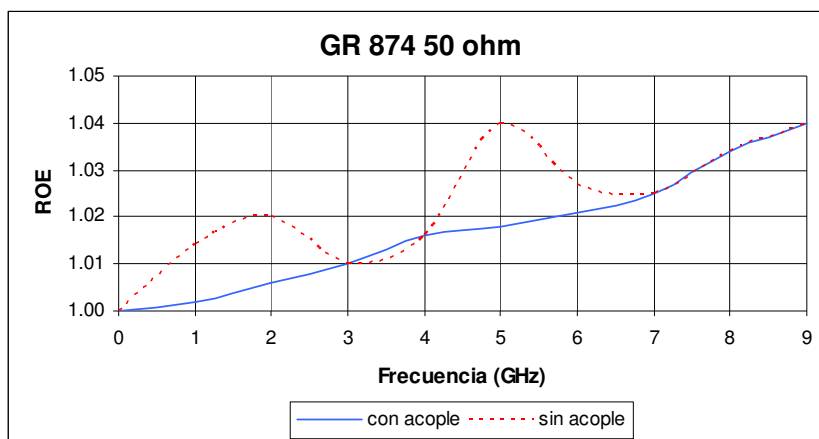


Gráfico 9: Variación de la ROE con la frecuencia – conector GR 874

Existe una versión de 75 ohm cuyo rango de frecuencias llega hasta 2 GHz y la ROE típica no supera 1,02.

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 ohm y de 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.

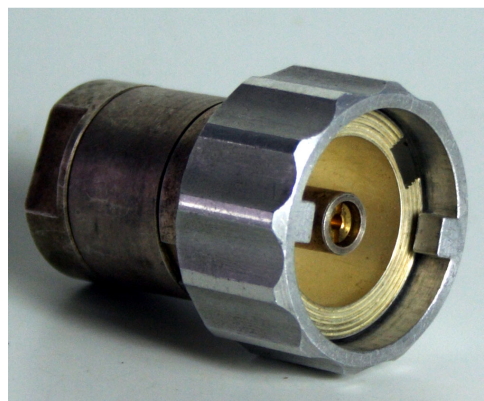


Figura 30: Conector Dezifix B

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.

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. Se comentan a continuación algunos casos de conectores en mal estado de uso.



Figura 31: Conector BNC severamente dañado

En la fig. 31 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.

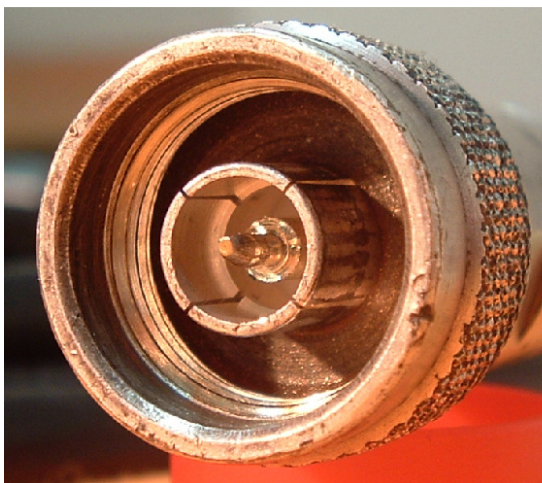


Figura 32a: Conector N
Dañado y desgastado

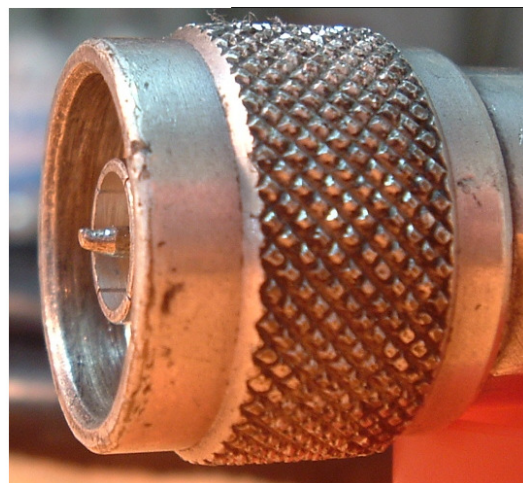


Figura 32b: Conector N
Conductor interno con excesiva protrusión

En las figuras 32a y 32b se observa un conector N macho en 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. 32a).
- Conductor interno con una protrusión excesiva (fig. 32b) 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.

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.

Conexión y desconexión:

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.

La forma correcta de conexión entre dos conectores es apoyar uno contra el otro y 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.

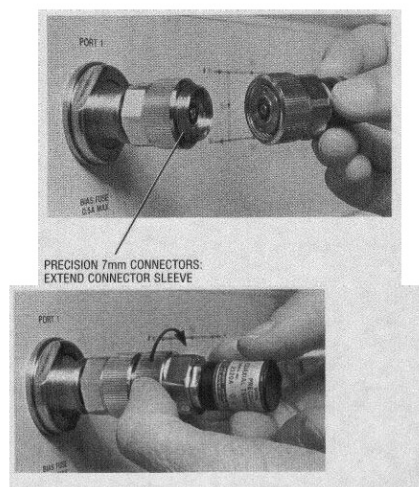


Figura 33: Forma correcta de conexión – conector 7 mm

El ajuste final en la conexión muchas veces es suficiente solo con el torque de la mano. Sin embargo, en el caso de los conectores de precisión que tengan acople hexagonal, se deberá utilizar una llave torquimétrica adecuada según el tipo de conector.



Figura 34a: Llave torquimétrica para conector N



Figura 34b: Llave torquimétrica para conector 3.5 mm

Los valores normalizados de torque son los siguientes:

Tipo de conector	Torque recomendado	
	[lb.in]	[N.m]
7/16	20	2,26
14 mm	12	1,36
N	12	1,36
7 mm	12	1,36
SMA	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 ′′). El valor del gap será la suma de la recesión de ambos conductores [4].

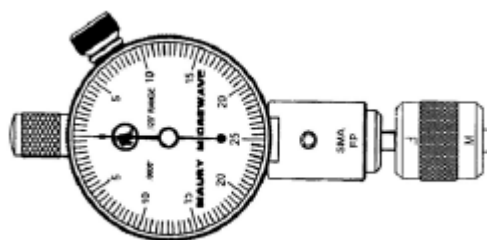


Figura 35: Medidor de recesión / protrusión

Limpeza:

Para la limpieza de un conector debe usarse aire a baja presión y un hisopo de algodón con alcohol isopropílico 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. Se debe acompañar este procedimiento con una lupa o magnificador x3 ó mayor para una correcta visualización.

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 el Subcomité en RF llamado C83.2 dentro del ANSI (American National Standards Institute) para poder desarrollar nuevos conectores de RF y 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 un subcomité de conectores coaxiales de precisión llamado P287 con un 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.

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] Edward Kuester, "Common Coaxial Connectors", University of Colorado, 2007
- [2] M. Maury Jr, "Microwave Coaxial Connector Technology", Maury, 2005
- [3] D. Skinner, "Guidance on using Precision Coaxial Connectors in Measurement", NPL, 2007
- [4] A. Henze, "Gap en Conectores Coaxiales", INTI, 2010
- [5] MackKenzie, Sanderson, "Some Fundamental Design Principles for the Development of Precision Coaxial Standards and Components", IEEE, Vol. MTT-14 NO. 1, 1966
- [5] Connector Care, D. Skinner, NPL, 2005
- [6] Standard for Precision Coaxial Connectors (DC to 110 GHz), IEEE 287, 2007
- [7] Collier, Skinner, "Microwave Measurements 3rd edition", IET, 2007
- [8] Catálogo General Radio, 1973