

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE VALENCIA

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE GANDIA

I.T. Telecomunicación (Sist. de Telecomunicación)



UNIVERSIDAD
POLITECNICA
DE VALENCIA



“Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz”

TRABAJO FINAL DE CARRERA

Autor/es:

Alfredo Boscá Bataller

Director/es:

José Ignacio Herranz Herruzo

GANDÍA, 2011

ÍNDICE

0.-Abstract.....	4
1.-Objetivos.....	6
2.-Introducción.....	8
2.1.- Descripción de la banda de trabajo (legislación, aplicaciones).....	9
2.2.- Posibles tecnologías de antenas directivas.....	12
2.2.1.- Reflectores.....	12
2.2.2.- Agrupación de antenas.....	12
2.2.3.- Reflectarrays.....	15
2.3.- Comparativa de agrupaciones de antenas frente a reflectores.....	17
2.4.- Motivación para el diseño de una RLSA.....	18
3.- Descripción de una antena RLSA.....	20
4.- Diseño de una antena RLSA en la banda de 18GHz.....	31
4.1.- Cálculos preliminares.....	31
4.1.1.- Elección del substrato.....	31
4.1.2.- Diseño de la sonda.....	32
4.1.3.- Diseño de las ranuras.....	35
4.2.- Estudio de los parámetros de la antena con el apuntamiento.....	36
4.2.1.- Sin modificar la posición de las ranuras.....	39
4.2.2.- Modificación la posición de las ranuras.....	56
5.- Resultados del diseño final.....	73
5.1.- Antes y después de optimizar.....	73
5.2.- Según la longitud de la ranuras.....	75
6.-Aplicaciones.....	80
7.-Referencias.....	87

LISTA DE SÍMBOLOS Y ACRÓNIMOS

- ε_{eff} - Permitividad dieléctrica efectiva
- ε_0 - Permitividad dieléctrica en espacio libre
- ε_r - Permitividad dieléctrica relativa
- λ - Longitud de onda
- λ_g - Longitud de onda en la guía
- λ_0 - Longitud de onda en el espacio libre
- D - Directividad
- dB - Decibelios
- f - Frecuencia
- UHF* - Ultra High Frequency
- SHF* - Super High Frequency
- EHF* - Extremely High Frequency
- W_{in} - Potencia de entrada
- VSWR* - Voltage Standing Wave Ratio (Coeficiente de Onda Estacionaria)
- S_{11} - Coeficiente de reflexión
- η_{tx} - Eficiencia de transmisión
- η_{il} - Eficiencia de iluminación
- η_T - Eficiencia Total
- P_{rec} - Potencia recibida
- P_{tx} - Potencia transmitida
- L_p - Altura de la sonda
- RLSA* - Radial-Line Slot-Array Antenna
- DL-RLSA* - Double-Layer Radial- Line Slot-Array Antenna
- SL-RLSA* - Single-Layer Radial- Line Slot-Array Antenna
- DBS* - Direct Broadcast Satellite
- TEM* - Transverse Electromagnetic
- LNB* - Low Noise Block
- η_{tx} - Eficiencia de transmisión: energía que es capaz de radiar la antena en función de la entregada a su entrada
- η_{il} - Eficiencia de iluminación: uniformidad del campo en la apertura que describe lo bien que se aprovecha la superficie de la antena

Capítulo 0

ABSTRACT

En este informe técnico vamos a demostrar de forma teórica y práctica la importancia que tiene la aparición de un tipo de antenas planas ranuradas conocidas como RLSA (Radial Linear Slot Antenna) en el campo de la transmisión de datos. Las antenas RLSA se dan a conocer en la aplicación DBS (Direct Broadcasting Satellite)[1], ya que para la recepción de señal de vídeo, audio o datos transmitidos por el satélite se necesitaban antenas de alta ganancia y directividad. Esta aplicación, muy común en Tokyo y Japón opera en el rango de frecuencias 11.7-12.2 GHz.

El estudio que vamos a presentar está pensado para utilizar las RLSA con una polarización lineal y en la banda de 18GHz [17.7 – 19.7] ya que al subir de frecuencia, mejora la directividad y se reducen las dimensiones convirtiéndose en una antena más atractiva para el mercado. Por contra, los parámetros básicos de una antena como son la eficiencia de transmisión, empeora debido a que las ranuras están muy cercanas unas de otras y se produce un acople de potencia que viaja hacia el centro de la antena, en dirección contraria a la radial.

Para mejorar esta desventaja presentamos dos métodos como son ranuras canceladoras y modificación del haz. En nuestro caso nos decantamos por el segundo método ya que facilita el diseño de la antena RLSA, reduciendo a la vez costes de fabricación.

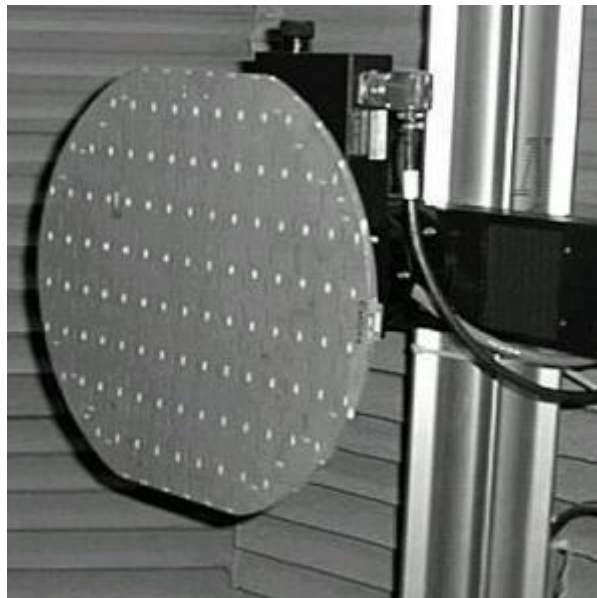


Figura 0.1 RLSA dentro de una cámara anecoica.

Capítulo 1

OBJETIVOS

Nuestro objetivo es conseguir diseñar un prototipo de antena que nos permita transmitir información de forma muy fiable y a alta velocidad en radioenlaces que puedan soportar cualquier adversidad meteorológica.

Este documento persigue la incorporación de las antenas planas ranuradas en el mundo de las telecomunicaciones en el marco europeo. Substituyendo las antenas convencionales como son los reflectores. Al mismo tiempo también se intenta que dichas antenas se comporten correctamente a frecuencias elevadas. Las antenas planas tienen la ventaja de que son muy directivas, ofrecen unas ganancias alrededor de los 35dB y permiten su instalación en cualquier tipo de superficies como techos, paredes, balcones...

Objetivo principal:

Diseñar una antena plana directiva formada por una agrupación de ranuras en una guía radial (RLSA) que opere en la banda K de microondas, concretamente desde 17.7GHz a 19.7GHz. Este rango de frecuencias, conocido como banda de los 18GHz, tiene un gran potencial futuro para aplicaciones de satélite o radioenlaces. El carácter plano del dispositivo, con un grosor alrededor de 1cm, permitiría reducir su impacto visual, en incluso integrarlo en la estructura de un edificio. La ventaja de este tipo de antenas frente a otras tecnologías planas radica en su alta eficiencia, pudiendo competir directamente con los habituales reflectores parabólicos.

Objetivos secundarios:

- Diseñar la antena de tal forma que opere en toda la banda objetivo, que abarca las frecuencias de 17.7GHz a 19.7GHz.
- Conseguir un diagrama altamente directivo con una ganancia máxima, manteniendo el ancho de banda requerido tanto en ganancia como en adaptación. Para ello se inclinará el haz respecto de la dirección broadside, lo cual proporciona mejores resultados de adaptación.
- Desarrollar un software en Matlab (aplicación de cálculo numérico complejo) que dé lugar a una antena con los parámetros de diseño que ofrezcan los mejores resultados, sin necesidad de la intervención del usuario.
- Fabricar un prototipo de una antena diseñada con el software anterior. Realizar en el laboratorio las medidas de adaptación correspondientes así como de los diagramas de radiación y ganancia.

Capítulo 2

INTRODUCCIÓN

A finales del año 1950 K.C. Kelly empezó a hablar sobre las antenas RLSA (Radial Linear Slot Array) hasta que en 1980 apareció la estructura de dos capas DL-RLSA (Double Layer Radial Linear Slot Array) diseñada en Japón por el profesor del instituto de Tecnología de Tokyo, Akio Yamamoto[3] y Naohisa Goto[4]. El modelo inicial de antenas RLSA rápidamente sería substituido por el prototipo de antenas RLSA formadas por una única capa, debido al bajo coste, fácil construcción e instalación rápida en cualquier tipo de estructura (techos, paredes...).

Generalmente este tipo de antenas son muy utilizadas en la Difusión Directa por Satélite (DBS) por su alta eficiencia y alta ganancia. Estas antenas pertenecen a la familia de agrupaciones de ranuras siendo la mejor candidata a alcanzar ganancias elevadas, teniendo la sonda muy pocas pérdidas.

En la actualidad aparece la necesidad de obtener antenas cada vez más pequeñas, con mayor ganancia, de poco peso y de fácil instalación. Las RLSA son antenas circulares que cumplen dichos requisitos y están formadas por una serie de ranuras y a su vez cada agrupación de ranuras del mismo tamaño formando anillos. Cada ranura transmite potencia convirtiéndose como una antena independiente, formando una agrupación de antenas. Estas antenas tan peculiares representan una de las antenas planas más interesantes en el campo de las ondas microondas y milimétricas para las comunicaciones punto a punto debido a su bajo coste y alta eficiencia (alrededor 85%). Junto con las agrupaciones de parches *microstrip* (microstrip patch array) (antenas empleadas para los radares en aeropuertos) la RLSA fue un claro competidor del reflector parabólico plano.



Figura 2.1 Agrupación de parches.

2.1.- Descripción de la banda de trabajo.

En este proyecto nos hemos centrado en la banda de 18GHz que abarca desde 17.7 hasta 19.7GHz. Es una banda que no ha sufrido apenas modificaciones desde su origen ya que se ofrecen escasas aplicaciones en su espectro. Esta banda de frecuencias es común en países como Hong-Kong para los servicios fijos por satélite. El rango de frecuencias empleadas en los enlaces “uplink” y “downlink” es distinto, siendo más altas las frecuencias en el enlace de subida ya que a mayor frecuencia hay más atenuación y el satélite dispone de una potencia limitada que es la que aportan los paneles solares.

En la actualidad hay menos restricciones para esta banda favoreciendo la aparición de futuras aplicaciones.

En la siguiente tabla se recogen los datos técnicos de la banda de trabajo indicada anteriormente:

	Parámetro	Datos técnicos
1	Frecuencia/ Banda de frecuencias.	17,7 GHz a 19,7 GHz.
2	Canalización/ Anchura de banda.	Se dispone de los siguientes canales y canalizaciones: 7 canales de 110 MHz; 15 canales de 55 MHz; 35 canales de 27,5 MHz.
3	Modulación.	Digital.
4	Separación dúplex.	1010 MHz.
5	Nivel de potencia.	En el título habilitante se indica la potencia máxima autorizada en cada caso.
6	Servicio radioeléctrico/ tipo de dispositivo.	Servicio fijo punto a punto.
Parámetros de información opcional		
7	Licencia/uso.	El uso de estas frecuencias requiere licencia.
8	Evaluación/ notificación.	Clase II.
9	Norma técnica de referencia.	ETSI EN 301 751 v1.2.1. ETSI EN 301 128. ETSI EN 302 127-3. ETSI EN 302 127-2-2. ETSI EN 302 127-4-2. Decisión CEPT ERC/DEC/(00)07.
10	Otras observaciones.	Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias. UN-69.

Tabla2.1 Datos técnicos de la banda 18GHz.

Tal y como aparece en el *Real Decreto 424/2005*, después de unas largas discusiones entre países como USA, Francia, Rusia, Corea y Japón se llegó a la conclusión que es necesaria la protección de los servicios fijos geoestacionarios de los no geoestacionarios (órbitas altamente inclinadas). Algunas de las medidas que se tomaron para el uso eficiente de la banda 18GHz [17.7-19.7GHz] fueron las siguientes:

- Redistribuir las frecuencias separando los servicios ofertados por satélites fijos geoestacionarios y por satélites con órbitas muy inclinadas. Según el plan Nacional de atribución de Frecuencias la banda de trabajo se atribuye para redes públicas, o para radioenlaces de conexión de sistemas de telefonía móvil [REC. UIT-R F.595-6].

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Banda de frecuencias	Servicio*	Límite en dB(W/m ²) para ángulos de llegada δ por encima del plano horizontal			Anchura de banda de referencia
		0°-5°	5°-25°	25°-90°	
...					
17,7-19,3 GHz ^{7,8}	Fijo por satélite (espacio-Tierra) Meteorología por satélite (espacio-Tierra)	-115 ^{13,21} o -115 - X ¹²	-115 + 0,5(δ - 5) ^{13,21} o -115 - X + ((10 + X)/20) (δ - 5) ¹²	-105 ^{13,21} o -105 ¹²	1 MHz
17,7-19,3 GHz ^{7,8}	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	0°-3° -120 ²²	3°-12° -120 + (8/9) (δ - 3) ²²	12°-25° -112 + (7/13) (δ - 12) ²²	-105 ²² 1 MHz
19,3-19,7 GHz	Fijo por satélite (espacio-Tierra)	0°-3° -120 ²²	3°-12° -120 + (8/9) (δ - 3) ²²	12°-25° -112 + (7/13) (δ - 12) ²²	-105 ²² 1 MHz

Tabla 2.2 Cuadro de atribución de servicios para la banda 18GHz.

- Limitación de la densidad de flujo de potencia para servicios que se ofrecen a través de satélites con órbitas muy inclinadas con una altitud de apogeo (punto más lejano a la órbita de la tierra) superior a 18000Km y con una inclinación entre 35° y 145° de -115/-

$$105 \frac{\left(\frac{dBW}{m^2} \right)}{MHz}.$$

- Se acordó emplear la banda de frecuencias de 18GHz para dar soporte a los siguientes servicios:

Frecuencia (GHz)	Ancho Banda(MHz)	Servicios que se ofrecen en esta banda
17.7275 -17.7825	55	Services with smaller bandwidth requirement, share with the existing 18 GHz fixed link
17.7825 -17.8925	110	Services without frequency duplex requirement
17.8925 - 18.1125	220	Shared-use with fixed-satellite services
18.1125 -18.2775	165	Shared-use with the existing 18 GHz fixed link and
18.2775 - 18.6075	330	No further assignment until ITU can formulate sharing criteria for satellite and terrestrial services.
18.6075 -18.6625	55	Services with smaller bandwidth requirement, share with the existing 18 GHz fixed link
*18.7375 - 18.7925	55	Services with smaller bandwidth requirement, share with the existing 18 GHz fixed link
*18.7925 - 18.9025	110	Low Power Devices (LPD)
*18.9025- 19.1225	220	Shared-use with fixed-satellite services
*19.1225 - 19.2875	165	Shared-use with the existing 18 GHz fixed link and other services
*19.2875 - 19.6175	330	No further assignment until ITU can formulate sharing criteria for satellite and terrestrial services.
*19.6175 - 19.6725	55	Services with smaller bandwidth requirement, share with the existing 18 GHz fixed link

Tabla2.3.Servicios en al banda 18GHz.

En la tabla3 las frecuencias marcadas con () indica que pertenecen al enlace de subida "uplink".

Además de los servicios que aparecen en la tabla anterior, también se ofrecen servicios pertenecientes a las redes inalámbricas en el rango de frecuencias de 18.82-18.87 GHz.

2.2.- Posibles tecnologías de antenas directivas

Con el fin de evitar realizar un cableado excesivo necesario para ofrecer cualquier servicio a los clientes aparecen las antenas de alta ganancia que nos permiten ahorrar costes. Dichas antenas deben de estar en visión directa, es decir en el enlace entre antena transmisora receptora no puede haber ningún obstáculo.

Las antenas más extendidas son los reflectores que llevan muchos años liderando el mercado de las comunicaciones y son las más usadas en los radioenlaces terrestres.

2.2.1.- Reflectores

Para aplicaciones donde la distancia entre antenas transmisora y receptora son elevadas, es imprescindible el uso de antenas de alta ganancia. Tradicionalmente esta necesidad ha sido cubierta por los reflectores, los cuales tienen una serie de inconvenientes como son su alto peso y volumen que dificulta su instalación y el impedimento a la hora de conseguir haces conformados debido a la difícil fabricación de su forma curva a altas frecuencias. Además cuando se añade a la antena un desfaseador para conseguir escanear un ancho de haz bastante grande se necesitan los dispositivos formador de haces y el módulo amplificador que hacen que la antena tenga un coste elevado.

Los reflectores más conocidos son las antenas parabólicas utilizadas extensamente en radioenlaces terrestres para las bandas de UHF y en las de SHY y EHF a partir de unos 800MHz. Esto es debido al bajo coste, dimensiones relativamente reducidas, sencillez de construcción y a la elevada direccionalidad que presentan.

La forma más habitual del reflector es la de un paraboloide ya que de este modo se cumple la teoría de rayos haciendo que todos los “rayos” incidentes en el reflector se concentre en un único “rayo” saliente que será la entrada del LNB (Low Noise Block) proporcionando una alta directividad.

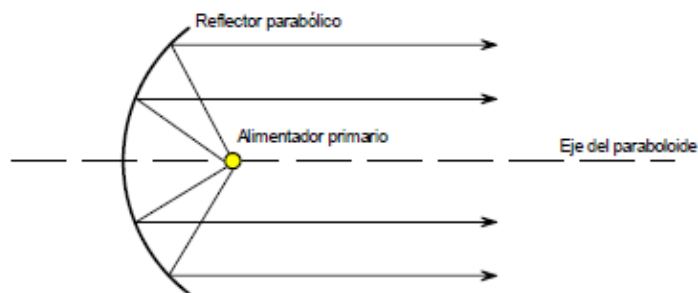


Figura 2.2 Teoría de Rayos.

Uno de los grandes inconvenientes de los reflectores es que para antenas con un diámetro de longitud igual o inferior a 0.6m se produce una considerable apertura de bloqueo (especie de sombra), cuya solución sería emplear un reflector offset (foco desplazado).

2.2.2.- Agrupaciones de Antenas

Con la aparición de los sistemas de comunicaciones inalámbricas y la tendencia a transmitir en bandas de frecuencias elevadas surge la necesidad de que la transmisión de datos en un enlace entre distintos puntos sea cada vez más concisa y segura. Para ello ya no es suficiente con las antenas parabólicas sino que se necesitan agrupaciones de antenas (Phased array, Patch array) ya que presentan una alta ganancia y efectividad.

El ancho de haz de estas antenas es muy estrecho debido a la alta ganancia requerida, por tanto alguno de los inconvenientes son que además de ser antenas pesadas y de dimensiones considerables se suelen utilizar exclusivamente en comunicaciones fijas ya que el haz se desapunta fácilmente.

Las antenas *phased array* consisten en una agrupación de antenas iguales, separadas entre ellas por la misma distancia, con la misma orientación y desfase de corriente entre cada par de antenas constante para conseguir que todas estén alimentadas con la misma corriente. Este tipo de antenas se suelen emplear para obtener diagramas de radiación muy concretos, ya que variando con la distancia de separación entre las antenas conseguiremos anchos de haz distintos. Una de las aplicaciones más común es el radar o las antenas de comunicaciones móviles que son arrays de antenas rectangulares.



Figura 2.3 Antena phased array Zhuk-AE.

En la figura 2.3 podemos observar una agrupación de antena plana y de dimensiones reducidas, instalada en la nariz del avión ruso MIG-35.

El Zhuk-AE en su presente forma es un radar multifunción que opera en banda X, con una longitud de onda de 3cms, con capacidad aire-aire, aire-tierra y aire-mar, su alcance es de 130 kms contra aviones cazas de $5m^2$ de RCS (Radar Cross Section), a esa distancia, puede seguir 30 objetivos en modo TWS (Track-While Scan) y atacar 6 simultáneamente a distancia con misiles BVR (Beyond Visual Range). Según Fazotron, la orientación del haz alcanza 70 grados a cada lado (Azimut) sin lóbulos laterales parásitos.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

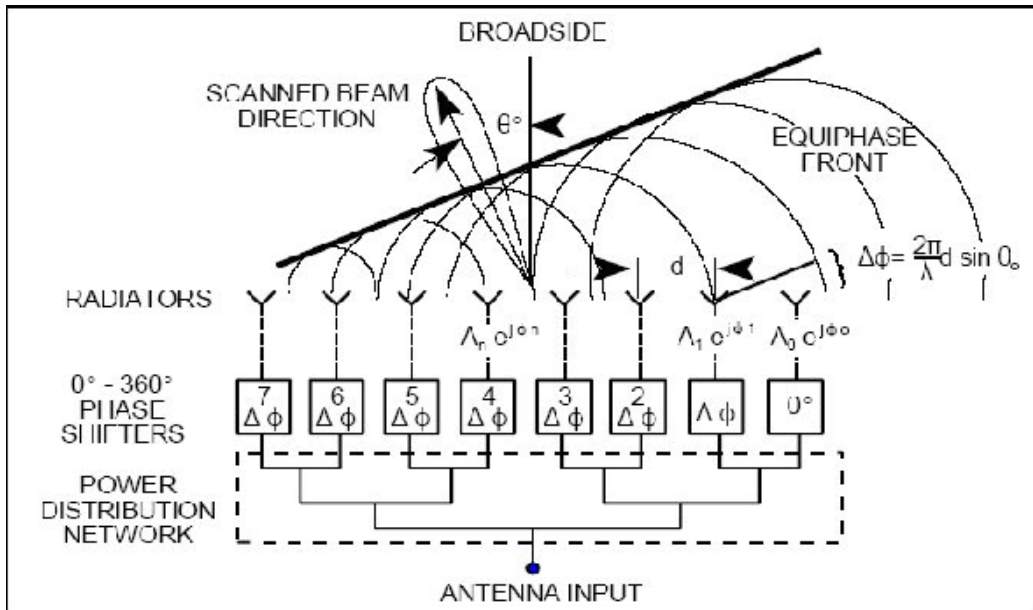


Figura 2.4 Funcionamiento Antena radar.

En la imagen de la figura 4 podemos observar el funcionamiento de una antena *phased array* que consiste en desfase la corriente entre cada par de antenas para conseguir el diagrama de radiación deseado del haz. De este modo se consigue hacer barridos sin necesidad de movimiento.

Según el desfase deseado la distancia entre cada par de antenas será distinta. Por ejemplo para conseguir un haz broadside (90°) las antenas deben de estar en fase ($\Delta\phi = 0$).

$$\Delta\phi = kd \sin \theta = \frac{2\pi}{\lambda} d \sin \theta$$

El punto débil de los *phased arrays* es la imposibilidad de dirigirlo correctamente en ángulos cercanos al plano en el que están los elementos radiantes. Para hacer una cobertura de 360° se suelen disponer 3 arrays en las paredes de una superficie piramidal.



Figura 2.5 Antenas phased array (barrido360°).

Las antenas *patch array* son una forma sencilla y económica de implementar antenas de alta ganancia, aunque en general no suelen ser reconfigurables. Han sido substituidas por las antenas RLSA ya que tienen comportamientos similares con la única diferencia de que las ranuras son cambiadas por un conjunto de parches radiadores.

El caso más sencillo sería el siguiente:

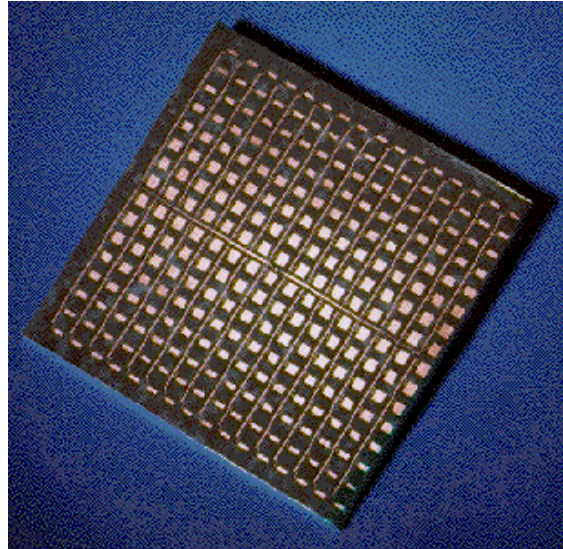


Figura 2.6 Agrupación de parche 24GHz.

2.2.3.- Reflectarrays

Finalmente aparecen los reflectarrays, híbridos entre agrupaciones de antenas y reflectores convencionales, que nos permite una fácil instalación en cualquier superficie (paredes, techos) ya que es una antena plana. La superficie reflectarray está iluminada por una antena de la alimentación, al igual que un reflector parabólico, eliminando así la necesidad de distribuir la energía a los elementos de la antena individual a través de líneas de transmisión.

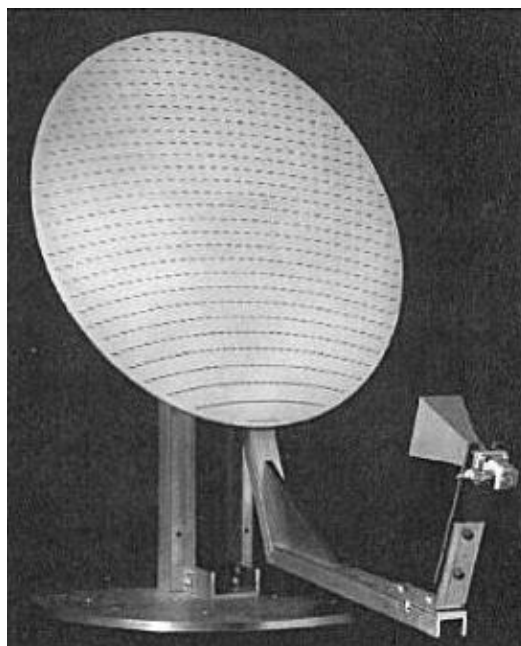


Figura 2.7 Reflectarray.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Por último presentamos una tabla donde se pueden visualizar de forma rápida las ventajas e inconvenientes de las tres antenas básicas:

Antena	Ventajas	Desventajas
Lentes	<ul style="list-style-type: none">• No bloqueo en la alimentación• Mejor barrido del espacio	<ul style="list-style-type: none">• Grandes en aplicaciones de baja frecuencia• Errores en la apertura
Reflectores	<ul style="list-style-type: none">• Simples• Ligeros• Diseño consolidado	<ul style="list-style-type: none">• Necesario offset para evitar el bloqueo del alimentador• Pobre barrido del espacio
Phased Array	<ul style="list-style-type: none">• Distribución de la potencia en niveles de radiación elementales• Fiable• No tiene pérdidas de desbordamiento• No hay bloqueo en la apertura	<ul style="list-style-type: none">• Complejidad• Pesado• Grandes pérdidas en la red de formación del haz.

Tabla 2.4. Antenas comerciales para la banda de 18GHz.

2.3.- Comparativa de agrupaciones de antenas frente a reflectores.

Después de realizar algunos cálculos teóricos, tomamos medidas de los parámetros básicos de los dos tipos de antenas con ayuda de nuestro medidor de campo FSM-400 para la banda de 18GHz: reflectores y agrupación de antenas.



Especificaciones	
Banda de Frecuencia	17.7-19.7GHz
Ganancia	25dB
ROE	1:2
Polarización	Única
Eficiencia Total(G(dB)-D(dB))	65%

Figura2.8 Reflector parabólico.

Estructura	
Dimensiones	0.6m

En la figura 2.8 podemos ver la antena más utilizada para radioenlaces distancias entre emisor-receptor elevadas. Podemos ver como la antena está cubierta por un radomo para se protegida ante adversidades meteorológicas.

Las dimensiones de los reflectores parabólicos no son dependientes de la frecuencia de operación y por esto pueden ser usados para cualquier frecuencia. La ganancia máxima que puede ofrecer un reflector es de 26dB.

Por otro lado tenemos uno de los modelos de antena plana más extendido en el mercado en los 10 últimos años.

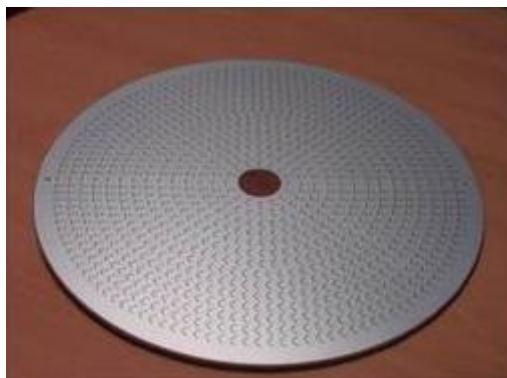


Figura2.9 Antena RLSA.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

A continuación exponemos los valores obtenidos con la antena plana ranurada suponiendo que el diámetro de dicha antena es de 0.4m y que opera en la banda de 18GHz.

NN	Lr0(cm)	θ_t	S11(dB)	D(dB)	G(dB)	Ef	Efil	EfT
10	0.442	12°	-21.07	29.54	29.2	92.41%	46.42%	42.9%

Teniendo en cuenta que:

$$G = D * E_{f_{lx}}$$

$$G(dB) = D(dB) + E_{f_{lx}}(dB)$$

$$D_{teo} = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_{geo}$$

Una de las ventajas más importantes es que las antenas RLSA tienen un área geométrica inferior a los reflectores convencionales, pero aún así, ofrecen una directividad superior gracias a las ranuras radiantes que en su conjunto se comportan como una agrupación de antena.

Como conclusión, indicar que después de comprar las antenas planas con los reflectores, decidimos utilizar la antena ranurada ya que puede trabajar a frecuencias más altas que los reflectores, presenta directividades más altas, no necesita ningún soporte para su instalación y está adaptada prácticamente en toda la banda de trabajo.

2.4.- Motivación para el diseño de una RLSA

En este documento hemos decidido diseñar una antena RLSA para la banda de los 18GHz porque las frecuencias más bajas empiezan a saturarse como es el caso del rango de frecuencias en DBS (10.7-12.75) y además al aumentar la frecuencia se dispone de mayor ancho de banda que permite fusionar más servicios.

Se observa para el futuro una clara tendencia a seguir subiendo en frecuencia. Ello es debido a que hay muchos servicios de telecomunicaciones que utilizan las bandas bajas (DBS, WI-FI...) y están saturadas. Otras ventajas que presenta subir en frecuencia es que se dispone de mayor ancho de banda, aumenta la directividad (85%) y los elementos de captación de la señal son de dimensiones reducidas (entre 0.4m-0.6m), de poco peso y fácil instalación.

Se requiere que la antena tenga polarización lineal porque están pensadas para aplicaciones futuras en Europa. En Europa no se suele utilizar la polarización circular como en Tokyo y Australia [4], por ello la mayoría de reflectores para DBS son con polarización horizontal o vertical.

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DE UNA ANTENA RLSA

La RLSA (Radial Linear Slot Antenna) es una antena de microondas que fue inventada por el profesor del instituto tecnológico de Tokyo Naohisa Goto en 1980. Apareció para dar soporte al servicio popular de Japón que opera en los 12GHz y consiste en la difusión directa por satélite (DBS). Es una antena que permite una excelente captación de las señales por satélite ya que presenta una alta ganancia, alta directividad, buena eficiencia y un ancho de haz estrecho.

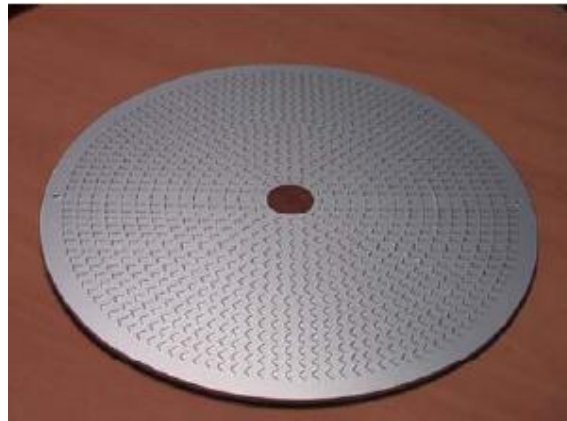


Figura 3.1 Antena RLSA con polarización lineal.

La estructura básica de una RLSA consiste en una agrupación de ranuras situadas en el metal de la parte superior de una guía radial con un diámetro de 0.4-0.6m. La potencia es inyectada mediante una sonda situada en el centro del substrato y viaja de forma radial alcanzando todas las ranuras. Estas antenas soportan las polarizaciones lineal, circular o elíptica, siendo una u otra en función de la orientación de las ranuras. En la actualidad es muy utilizada en Australia y Tokyo para aplicaciones que trabajan en la banda Ku (12-12.75GHz).

Las longitudes de las ranuras variarán en función de la frecuencia de trabajo de la antena y además las ranuras cercanas al centro radiante serán más pequeñas que las cercanas a los extremos de la antena para conseguir que el acople sea lo menor posible. Cada agrupación de ranuras de idéntica longitud forman un anillo, de modo que los anillos que contienen aquellas ranuras más grandes son los que están más alejados del centro de la capa. La longitud de las ranuras tiene una longitud máxima conocida como *longitud de resonancia* (L_{r0}), a partir del cual es contraproducente para el comportamiento de dicha antena.

Nos vamos a centrar en las antenas RLSA con polarización lineal [4] ya que es la más empleada en Europa. El inconveniente que nos encontramos es que se producen acoples de potencia entre las ranuras radiantes.

Hay dos posibles soluciones dependiendo de la configuración de la antena RLSA:

Dos capas (DL-RLSA): Fue el modelo inicial que presentaron las antenas RLSA en su aparición, ya que tenía un diseño más fácil y no se producían acoples de potencia entre las distintas ranuras. La capa de arriba contiene las ranuras radiantes mientras que la capa trasera contiene las ranuras que cancelan las reflexiones producidas por las ranuras transmisoras. Tiene un diseño más sencillo pero no nos permite obtener ganancias del entorno de los 36dBi. Para conseguir ganancias altas se emplea antenas RLSA con estructura de una sola capa.

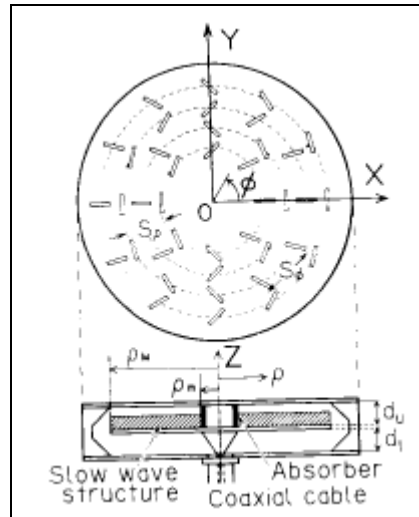


Figura3. 2 DL-RLSA.

Una única capa (SL-RLSA): Es un modelo con un diseño más complejo que el anterior y está compuesto por dos láminas de metal separadas por una distancia d que será el grosor del material absorbente que se utilice. Esa distancia d se rellena de un material dieléctrico con $\epsilon_r > 1$. De este modo se consigue que la longitud de onda de la guía sea menor que la longitud de onda en el espacio libre, permitiendo reducir al máximo los lóbulos secundarios en el diagrama de radiación de la antena.

$$\lambda_g = \frac{\lambda_0}{\sqrt{\epsilon_r}}$$

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

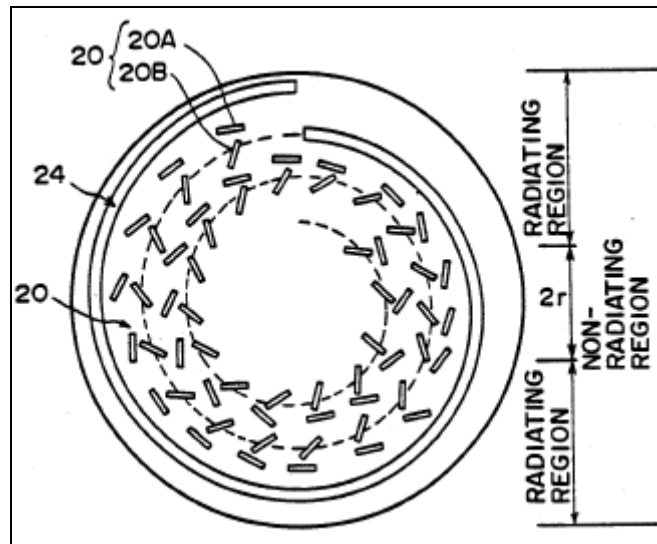


Figura 3.3SL-RLSA

En la lámina superior se colocará las ranuras encargadas de transmitir la potencia que entrega el coaxial en el material absorbente. Las ranuras están colocadas en una inclinación determinada para conseguir la polarización deseada (lineal, circular, elíptica). Las ranuras se colocan en la lámina de arriba para así la potencia residual que no se transmita que la absorba el material dieléctrico.

Las antenas RLSA fueron pensadas para la polarización circular ya que su origen está en Japón, pero en nuestro caso vamos a emplear la polarización lineal ya que es la más utilizada en Europa. Ambas estructuras soportan polarización lineal, circular y elíptica.

A partir de aquí nos vamos a centrar en la organización geométrica de las ranuras radiantes y las canceladoras dentro de cada uno de los anillos que componen la antena.

Después del estudio exhaustivo por parte de Paul W. Davis y Marek E. Bialkowski del comportamiento de la antena RLSA con polarización lineal con ranuras canceladoras en los anillos se obtuvo el siguiente procedimiento de diseño optimizado.

El **inconveniente** que presenta utilizar la polarización lineal en esta estructura es que las ranuras radiantes reflejan una potencia residual en sentido contrario a la de transmisión, es decir hacia la sonda. Esto impide que toda la potencia que entrega el coaxial sea transmitida y por tanto la antena pierde eficiencia de transmisión. Este mal comportamiento aparece porque los anillos de ranuras radiantes están espaciados radialmente una distancia de $\lambda_g/2$, lo que provoca que las reflexiones de todas las ranuras se sumen en fase en el punto de alimentación.

Este fenómeno puede ser eliminado de manera efectiva utilizando alguno de los dos métodos que explicamos a continuación:

➤ **Ranuras canceladoras**

El método más extendido es el presentado por los ingenieros de Japón Ando M., Numata, Takada y Goto N. en 1988[5]. Consiste en añadir por cada ranura transmisora una ranura canceladora a una distancia radial de $\frac{\lambda_g}{4}$, formando así una pareja de ranuras. De esta manera se consigue que gran parte de las reflexiones de las ranuras radiantes se cancelen con las reflexiones de las ranuras canceladoras ya que las ondas llegan en contrafase debido a la separación.

También se debe situar las ranuras radiantes con un desfase de 0° ó 180° , por lo tanto la separación entre ranuras radiantes será de $\frac{\lambda_g}{2}$. Sabiendo la ubicación exacta de las ranuras radiantes ya podemos expresar el coeficiente de reflexión de las 2 ranuras radiantes más cercanas.

El coeficiente de transmisión de la ranura transmisora y de la canceladora es el siguiente:

$$\tau \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} + \\ - \end{bmatrix} \sin \theta \begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix} \quad (3.1)$$

De las 2 ecuaciones anteriores se llega a la conclusión de que la componente copolar (radiación en la polarización deseada) y componente contrapolar (afecta a la polarización deseada).

A partir de las ecuaciones generales presentadas por Ludwig:

$$E_{CP}(\theta, \phi) = E_\phi(\theta, \phi) \text{sen} \phi + E_\theta(\theta, \phi) \text{cos} \phi \quad (3.2)$$

$$E_{XP}(\theta, \phi) = E_\phi(\theta, \phi) \text{cos} \phi - E_\theta(\theta, \phi) \text{sen} \phi \quad (3.3)$$

Teniendo en cuenta los coeficientes de transmisión de las ranuras, aparecen las siguientes contribuciones del diagrama de radiación:

Componente copolar:

$$\text{sen} \theta_1 \text{sen}(\theta_1 + \phi) - \text{sen} \theta_2 \text{sen}(\theta_2 + \phi) = 1 \quad (3.4)$$

Componente contrapolar:

$$-\sin \theta_1 \cos(\theta_1 + \phi) + \sin \theta_2 \cos(\theta_2 + \phi) = 0 \quad (3.5)$$

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Interesa que el diagrama de radiación de una antena sólo tenga componente copolar, pero en la realidad siempre tendremos parte de componente contrapolar.

Para ello:

$$\theta_1 = \pi/2 - \phi/2 \quad ; \quad \phi = 0$$

$$\theta_2 = -\phi/2$$

De las ecuaciones anteriores se deduce que las ranuras transmisoras adyacentes deben de ser independientes. Se podrá observar de forma ilustrativa en la figura 3.4.

Como podemos comprobar en las ecuaciones anteriores siempre nos interesará que el diagrama de radiación de una antena sólo tenga componente copolar, pero en la realidad siempre tendremos parte de comportamiento contrapolar que lo que hace es desplazar el haz para la frecuencia deseada, además la componente contrapolar es el diagrama de radiación con la polarización no deseada.

Siendo ϕ la posición angular donde están colocadas la pareja de ranuras respecto al eje de la polarización (eje x) y θ el ángulo de la ranura respecto el eje radial de la antena.

Centrándonos en las ranuras canceladoras, quedarían de la siguiente forma:

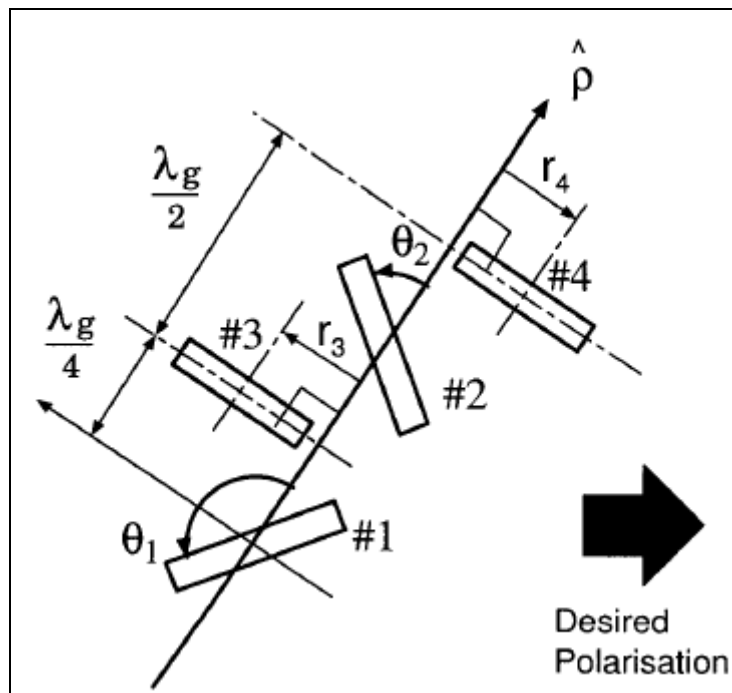


Figura 3.4 Posición de las ranuras canceladoras..

Por tanto la posición de las ranuras adicionales será:

$$r_3 = \frac{S_\phi}{2} - \frac{\lambda_g}{4} \tan \varepsilon \quad (3.6)$$

$$r_4 = S_\phi / 2 + \lambda_g / 4 \tan \varepsilon \quad (3.7)$$

Donde:

$$\varepsilon = \pi - \phi / 2 \quad \text{para} \quad -\pi / 2 < \phi < \pi / 2$$

$$\varepsilon = \phi / 2 - \pi / 2 \quad \text{para} \quad \pi / 2 < \phi < 3\pi / 2$$

Como podemos comprobar en la figura 3.4 la polarización de cada ranura es perpendicular a la posición de dicha ranura, siendo la polarización deseada la suma de las polarizaciones aportada por las antenas transmisora y canceladora.

Sin embargo, la presencia de las ranuras canceladoras proporciona algunas desventajas como son que la capa de radiación contiene un exceso de ranuras que aumenta el coste de la antena y obliga a tener gran precisión a la hora de diseñar la antena. Además, en nuestro caso, al disponer de una única capa, el acople que se produce entre los dos tipos de ranuras puede comprometer seriamente la pureza de polarización de la antena.

A pesar de que la radiación hacia atrás se redujo y la eficiencia fue óptima, las desventajas mencionadas para este caso no fueron completamente salvadas.

Debido a que es necesario que la longitud de la sonda sea igual a $\lambda_g / 2$ para una operación correcta, se elige la altura de la cavidad inferior a dicho valor. Los conectores típicos para las antenas RLSA son los SMA.

La potencia acoplada por la ranura radiante depende de la orientación de dicha ranura. Para que el conjunto de las ranuras radiantes creen una polarización lineal, éstas deben estar separadas

$d < \lambda_g / 2$ y con una fase de 0° ó 180° .

Una antena está formada por distintos anillos y cada anillo contiene un número determinado de pares de ranuras, por tanto la separación entre ranuras contiguas de pares distintos tendremos una separación de $\lambda_g / 4$ para que se cumplan las condiciones detalladas anteriormente.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

En la siguiente figura se muestra un ejemplo de RLSA con polarización lineal.

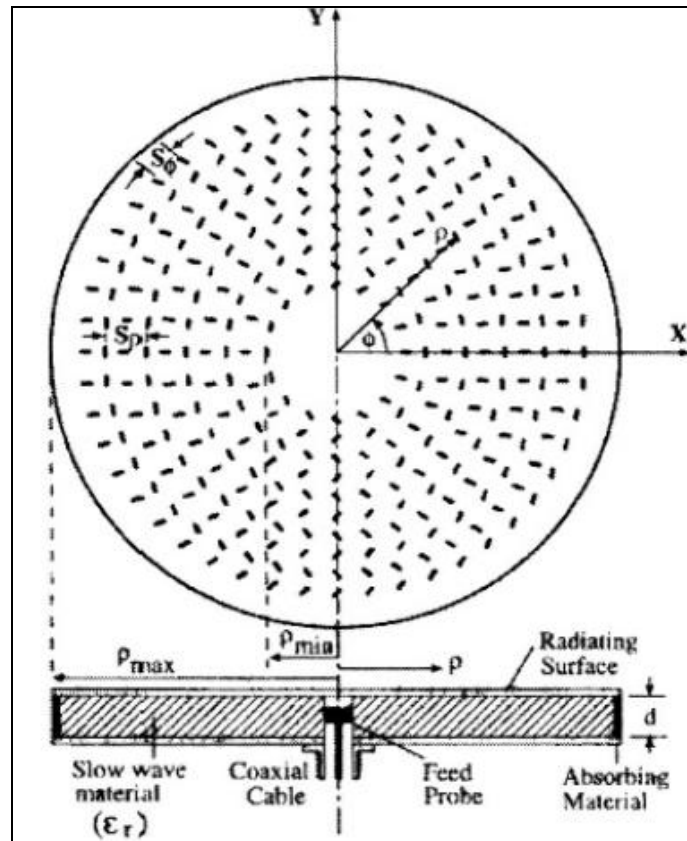


Figura 3.5 Configuración típica de RLSA para las bandas Ku y Ka.

El diseño expuesto para una antena de una sola capa le saca el máximo rendimiento a la potencia incidente permitiendo alcanzar altas eficiencias entre 70-87% con diámetros de 0.2-0.6m para poder ser utilizado en aplicaciones DBS.

La mejora del comportamiento de la ROE obtenida con las ranuras canceladoras se produce independientemente de su colocación en la cara superior o inferior de la guía radial. Sin embargo, si las ranuras canceladoras se sitúan en la misma superficie que las ranuras radiantes, la radiación proveniente de ellas puede afectar seriamente a la pureza de polarización de la antena. Por otra parte cuando las ranuras canceladoras se añaden en la cara inferior de la guía radial, la pureza de polarización se preserva pero con el coste de asumir una pérdida de potencia en la dirección trasera, lo que implica una reducción de la eficiencia.

Nosotros vamos a emplear la segunda estructura de antenas con el método de modificación del haz debido a las altas ganancias que presenta y su fácil diseño. La RLSA es la principal candidata para sustituir la antena de parche, entre otros motivos porque las pérdidas en el conductor (coaxial) son prácticamente insignificantes y por tanto presenta mayor nivel de eficiencia de radiación para ganancias entorno a 30dB.

Por otra parte cuando las ranuras canceladoras se añaden en la cara inferior de la guía radial (figura 3.5), la pureza de la polarización se preserva pero con el coste de asumir una pérdida de potencia en la dirección trasera, lo que implica una reducción de la eficiencia.

Además cabría tener en cuenta que si la antena se va a montar sobre una estructura sólida como una pared, se tendría que añadir una capa de material absorbente entre la pared y la antena para que las ranuras canceladoras actuaran de manera adecuada.

➤ **Modificación del haz**

Éste es el método que vamos a emplear para el diseño de la antena RLSA en la banda de los 18GHz ya que mejora la eficiencia de transmisión, reduciendo la VSWR y simplifica su diseño [6].

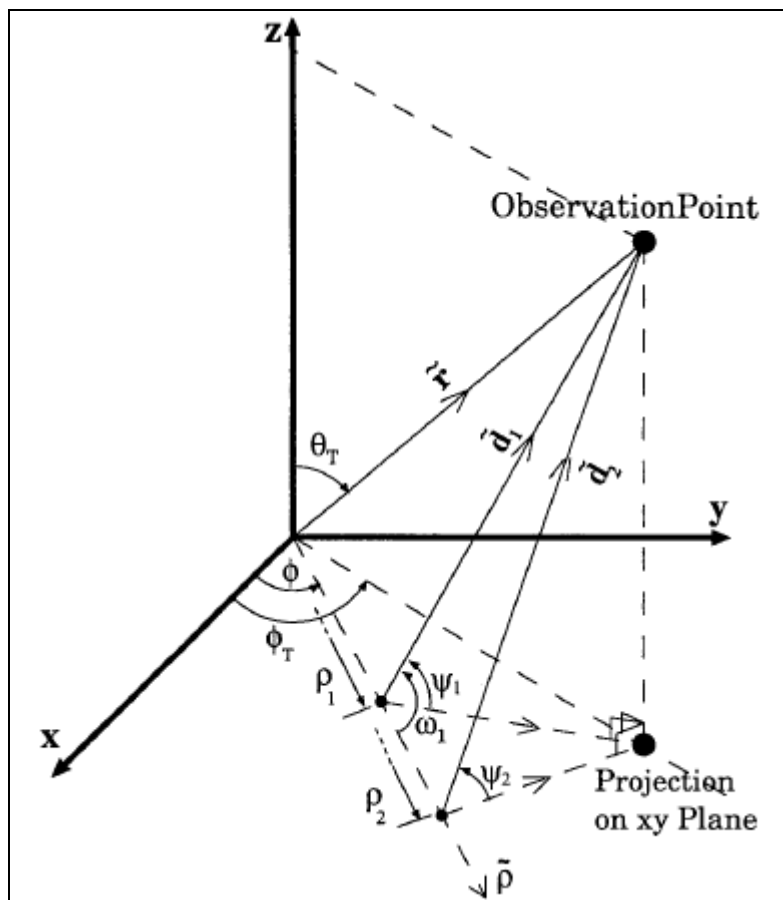


Figura 3.6 Modificación de haz.

Como podemos observar en la figura 3.6 consiste en variar el apuntamiento de la antena hasta conseguir que la antena esté totalmente adaptada, es decir que la VSWR esté por debajo de -20dB. En este caso sólo tendremos un tipo de ranuras que serán las transmisoras. Además de variar el apuntamiento también será necesario modificar la posición de las ranuras para compensar las variaciones que se producen en la directividad. De este modo obtendremos una eficiencia óptima sin tener que aumentar la potencia de entrada (W_{in}).

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

A continuación detallamos el procedimiento para diseñar una RLSA mediante la modificación del apuntamiento:

$$\theta_1 = \pi/4 + 1/2\{\arctan(\cos\theta_T / \tan\phi_T) - (\phi - \phi_T)\} \quad (3.8)$$

$$\theta_2 = 3\pi/4 + 1/2\{\arctan(\cos\theta_T / \tan\phi_T) - (\phi - \phi_T)\} \quad (3.9)$$

Siendo θ_1 y θ_2 la inclinación de las ranuras que dependen del apuntamiento de la antena.

Para cambiar la inclinación de las ranuras también se necesita modificar el espaciado radial entre 2 ranuras consecutivas

$$S_\rho = \frac{\lambda_g}{1 - \zeta \sin\theta_T \cos(\phi - \phi_T)} \quad (3.10)$$

Siendo,

$$\zeta = 1/\sqrt{\epsilon_r} = cte$$

Dicha constante tendrá un valor otro dependiendo del índice de permitividad del sustrato que se elija para su diseño.

Cómo se puede comprobar en la ecuación 3.10 nos interesará que el espaciado radial sea lo más grande posible para que exista el mínimo acople de potencia entre ranuras consecutivas.

Si se cumple los requisitos expuestos anteriormente se demuestra que en el mejor de los casos el VSWR puede llegar a caer en 10dB.

Para comprobar la validez de los métodos explicados anteriormente, se construyeron 3 prototipos en los cuales se tomaron medidas de los parámetros más significativos de la RLSA (ganancia, eficiencia, directividad). En ambos métodos se comprobó que la eficiencia de transmisión mejoraba significativamente. También se comprobó que el método de ranuras canceladoras funciona mejor en una RLSA de 2 capas, ya que así no hay un exceso de ranuras en la misma capa, quedando las ranuras canceladoras en la capa de atrás. En este caso la ganancia empeora, pero puede mejorar empleando un sustrato más grueso en la superficie de las ranuras radiantes. La ganancia en el método de modificación del haz no se ve reducida [7].

Por último presentamos de forma cronológica en la siguiente tabla el desarrollo continuo sucedido desde el descubrimiento de las antenas RLSA por parte de sus promotores arquitectos que formaban parte del Instituto de Tecnología de Tokyo y ya nombrados anteriormente, Akio Goto y Naohisa Yamamoto.

Event	Year	Budget, Commercial Products
Invention	1980	
1981	\$ 4 0 , 0 0 0	NHK Foundation
First operation	1984	
TOPPAN printing	1985	
High efficiency 80%	1987	\$40,000 Ministry of Education
ANTEN Coop.	1987-Present	\$200,000 Company
	1988-1991	\$200,000 Ministry of Education
market (Double-layer)	1989	NEC, TOSHIBA
Patent (Slot Design)		(Patent Application 1981)
market (Single-layer)	1990	Panasonic
Computer design code		
U. S. Patent (Double layer)	1991	Fujitsu (Patent Application 1982)

Tabla 3.1 Período de investigación

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Capítulo 4

DISEÑO DE UNA ANTENA RLSA EN LA BANDA DE 18GHz

A continuación vamos a desarrollar la parte práctica del proyecto que consiste en presentar un diseño real de la RLSA basándose en unos cálculos previos que nos aseguren el correcto comportamiento de la antena en la banda de los 18GHz [17.7-19.7] GHz, es decir, que el acople esté por debajo de -10dB y que presente una ganancia alrededor de los 30dB.

Para realizar el diseño deseado nos hemos ayudado de una herramienta científica muy potente que nos permite realizar cálculos matemáticos complejos y la visualización gráfica de los

mismos como es **MATLAB V7.2.0.232 (R2006a)** .

4.1.- Cálculos preliminares

Antes de empezar con el diseño real de la antena [8] vamos a realizar unos cálculos previos basándonos con los cálculos teóricos descritos anteriormente. Para agilizar dichos cálculos, creamos ficheros con *extensión matlab* ya que en algunos casos los cálculos son muy complejos.

4.1.1- Elección del sustrato

Un aspecto importante es la elección del material sobre el que se van a fabricar las ranuras. En este caso se opta por una guía circular hecha de material dieléctrico como es la fibra de vidrio PTFE (*polytetrafluoroethylene*). Dicho sustrato es inerte y funciona en un ancho rango de temperaturas (comprende desde -328°F hasta $+500^{\circ}\text{F}$).

En nuestro caso nos fijaremos en los sustratos que están dentro de la serie Nelco N9000 que son fibras de vidrio reforzadas cuya permitividad realitva oscila entre 2.08 y 2.33 mientras que el factor de dispersión DF, conocido como tangente de pérdidas ($\tan \delta$), está entre 0.0006 y 0.0011. Todos estos valores son para frecuencias alrededor de 10GHz.

Nelco N9000 Series - Typical Engineering Values		9208	9217	9220	9233
Typical Parameter	Test Method				
Dielectric Constant at 10 GHz (Dk)	IPC-TM-650, 2.5.5.5	2.08±.02	2.17±.02	2.20±.02	2.33±.02
Dissipation Factor at 10 GHz (Df)	IPC-TM-650, 2.5.5.5	0.0006	0.0008	0.0009	0.0011
Passive Intermodulation Formulation Availability				Yes	
Passive Intermodulation Performance				-155 dBc	
Dielectric Breakdown	IPC-TM-650, 2.5.6			50kV	
Volume Resistivity	IPC-TM-650, 2.5.17			10 ⁹ M / cm	
Surface Resistivity	IPC-TM-650, 2.5.17			10 ⁷ M	
Arc Resistance	ASTM D-495			180 sec.	
Flexural Strength Lengthwise	IPC-TM-650, 2.4.4			82.7 MPa	
Flexural Strength Crosswise	IPC-TM-650, 2.4.4			68.9 MPa	
Copper Peel Strength	IPC-TM-650, 2.4.8			2.33 kN/m	
18, 35, and 70µm copper (1/2 oz, 1 oz, and 2 oz copper)					
After Thermal Shock (30 sec. at 260°C)				2.31 kN/m	
Moisture Absorption	IPC-TM-650, 2.6.2.1			0.02%	
Specific Gravity	ASTM D-792, A			2.23 g/cm ³	
Thermal Conductivity	ASTM E-1225			0.272 W/m/K	
Coefficient of Thermal Expansion (CTE)	IPC-TM-650, 2.4.41				
X				25 ppm/°C	
Y				35 ppm/°C	
Z				260 ppm/°C	
Flammability	IPC-TM-650, 2.3.10			V-0	

Tabla 4.1 Características Serie N9000.

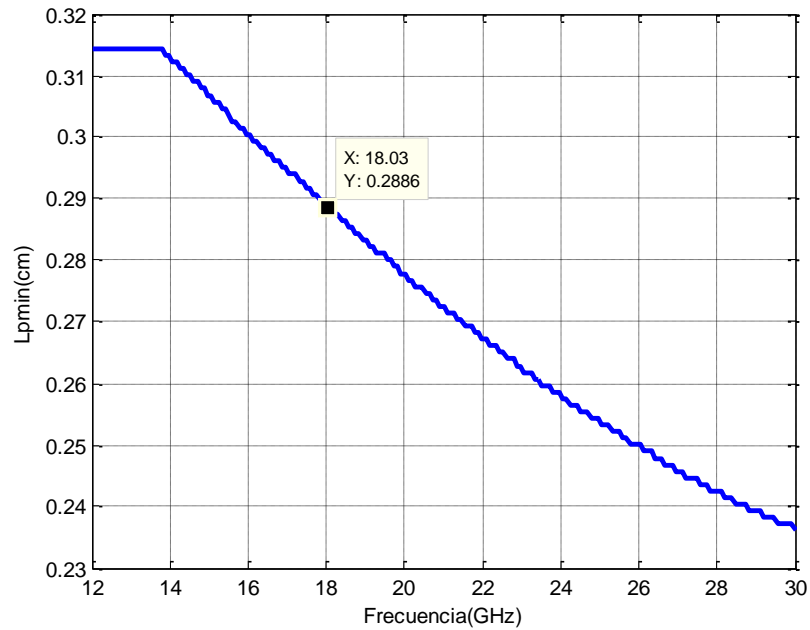
Como se puede comprobar en la tabla anterior existen distintos tipos de sustrato, dependiendo del índice de permitividad, cada uno con un comportamiento distinto.

Finalmente, tal y como se indica en la tabla, escogeremos para realizar el diseño de la antena RLSA el sustrato NY9220, que presenta un índice de permitividad de 2.2 y una tangente de pérdidas igual a 0.0009, con un grosor de 3.175mm.

4.1.2.- Diseño de la sonda

El primer aspecto a tener en cuenta en el diseño de la antena es la transición sonda-guía. El coeficiente de reflexión debe ser bueno en la banda de trabajo, eligiendo la longitud de sonda óptima.

A continuación determinaremos cual es la *altura de la sonda (lp)* óptima para conseguir que la potencia llegue por igual a todas las ranuras, mejorando de este modo la eficiencia de transmisión de la antena.



Gráfica 4.1 Altura de la sonda en función de la frecuencia.

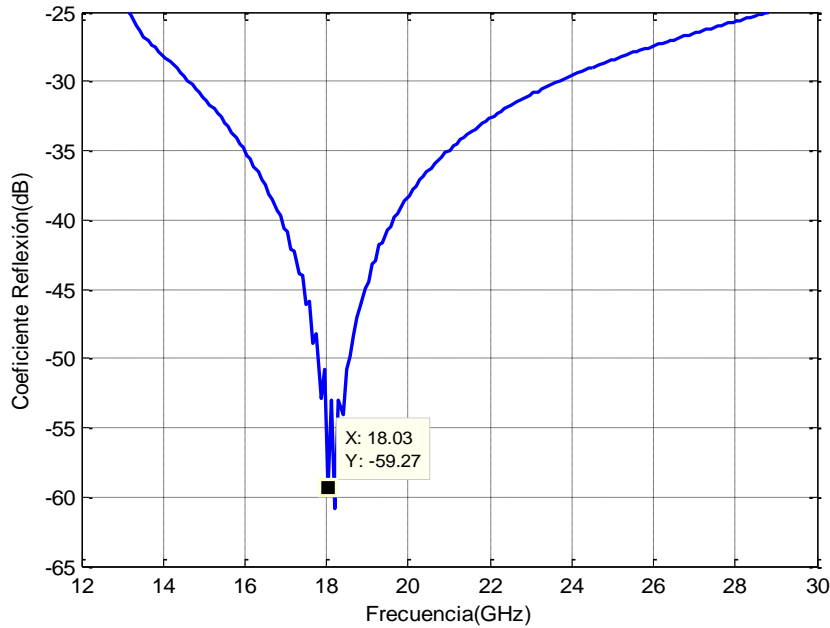
En la gráfica 4.2 podemos comprobar como conforme se sube en frecuencia la altura de la sonda disminuye ya que las pérdidas son mayores aunque sí mejora la directividad. Por tanto para nuestro caso la altura de la sonda será de 0.2886cm.

Uno de los parámetros que nos va a delimitar el comportamiento de la antenna va ser la frecuencia de trabajo, ya que la frecuencia nos indica el ancho de banda que presenta la antenna.

La banda de trabajo es un margen de frecuencias en el cual la antenna se va a comportar de manera más o menos óptima, es decir presentará elevada directividad, alta ganancia, coeficiente de reflexión (S_{11}) bajo.

En nuestro caso para asignar una banda de frecuencias válidas para nuestra antenna RLA, hemos realizado un barrido de frecuencias que va desde 12GHz hasta 30GHz, y se toman las medidas de los S_{11} para distintas frecuencias comprendidas en dicho rango.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.2 Coeficiente de reflexión en función de la frecuencia.

Según la gráfica anterior nos va a interesar diseñar la antena para la banda de frecuencias llamada 18GHz [17.7 19.7] ya que presenta un coeficiente de reflexión que es prácticamente nulo. Debemos tener en cuenta que este coeficiente de reflexión aparece sin considerar el efecto de las ranuras, por ello nos interesan valores inferiores a -20dB para estar seguros de que no aparecerán cuando tengamos construida la antena.

A continuación presentamos los dos tipos de sondas que hemos tenido en cuenta a la hora de realizar algunas mediciones básicas.

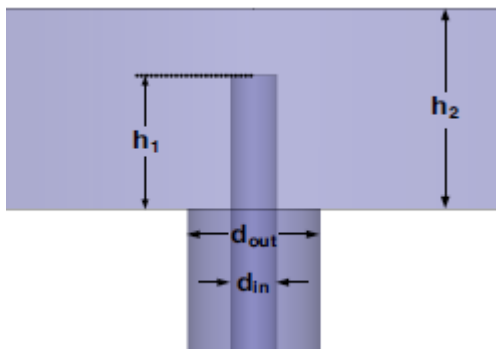


Figura 4.3 Sonda convencional

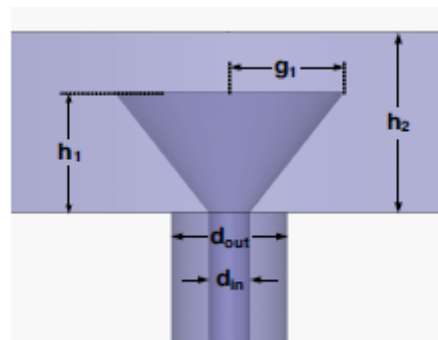


Figura 4.4 . Sonda cónica

La diferencia entre ambas sondas es que la sonda cónica permite obtener una antena con mayor ancho de banda con menor grosor de sustrato. La sonda cónica tiene un área mucho mayor que la convencional y permite disminuir la S_{11} en unos 30dB dejando la antena adaptada.

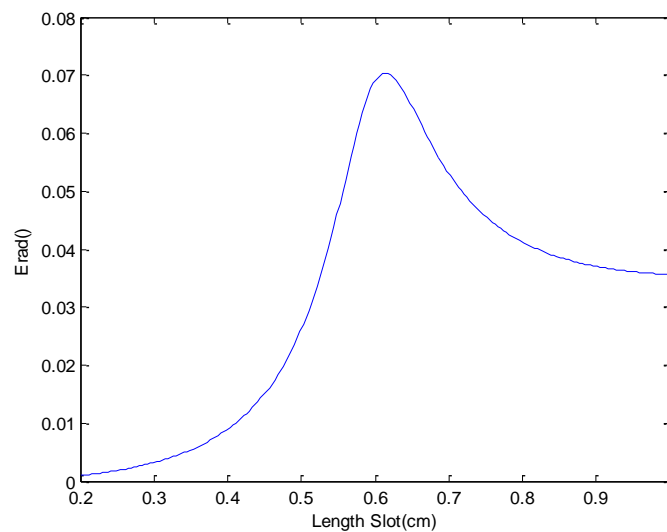
En nuestro caso emplearemos coaxial que es una sonda convencional (Figura 4.3) ya que no pretendemos que la antena sea de banda ancha sino más bien nuestro objetivo principal es que presente alta ganancia.

4.1.3.- Diseño de las ranuras

Una vez diseñada la sonda, el estudio se centra en la longitud de las ranuras. Hemos considerado que todas las ranuras tienen una anchura idéntica de 0.5mm.

En un principio se tuvo en cuenta que la longitud de las ranuras era la misma para todos los anillos que componen la antena pero se comprobó que se desperdicia mucha potencia, ya que no se entrega la misma potencia en el centro de la antena donde está la sonda que en el extremo de la antena. Por ello finalmente se pensó que la longitud de las ranuras debía de ser distinta, y a la vez mayor conforme se acercara al extremo de la antena.

Seguidamente observamos cuál es la *longitud de la ranura óptima* que nos va a aportar mayor campo radiado (E_r).



Gráfica 4.5 Campo radiado

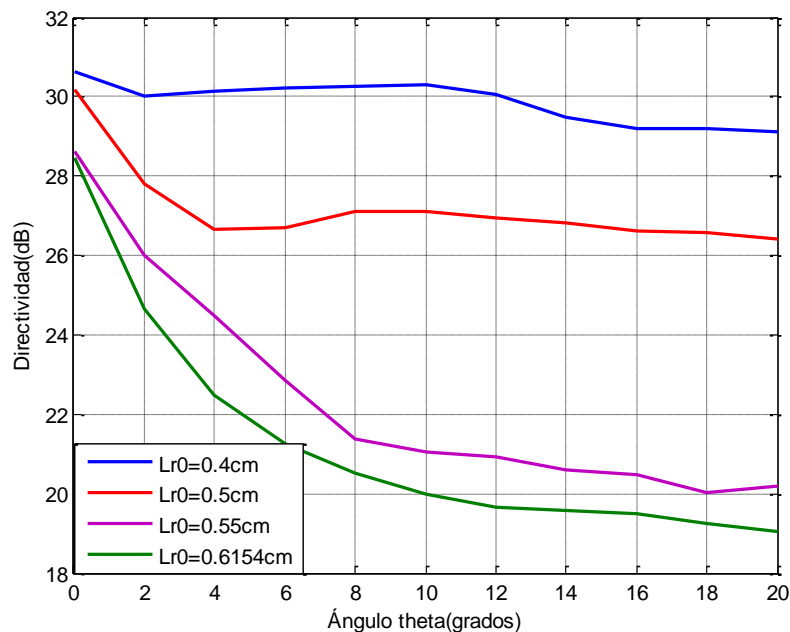
Se puede comprobar como la longitud de ranura de resonancia está en torno a 0.6cm, lo que fijará la longitud máxima.

De la gráfica anterior deducimos que existe una longitud e ranura a partir de la cual vuelve al estado inicial, dicha longitud se conoce como *longitud de resonancia* L_{ro} y sería la óptima ya que es la longitud en la cual consigues mayor campo de radiación. Hacer que la ranura tenga mayor longitud que la de resonancia sería contraproducente.

4.2.- Estudio práctico de los parámetros de la antena.

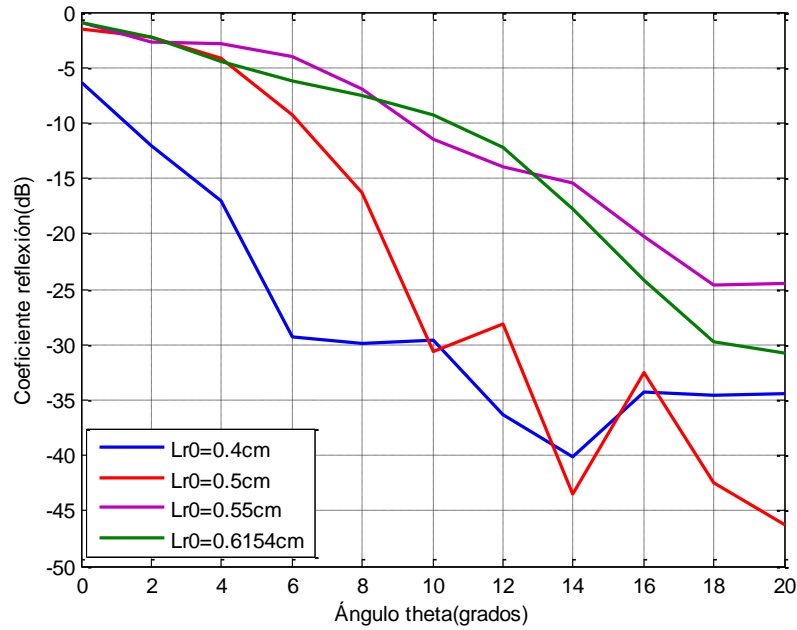
Vamos a diseñar una antena RLSA (Figura 3) con polarización lineal que nos permita conseguir ganancias cercanas a los 30dB para poder ser empleada en aplicaciones de la banda de frecuencias de los 18GHz. El inconveniente que presentan dichas antenas es que las ranuras producen reflexiones que provocan acoplamiento de potencia entre dichas ranuras y por tanto que se refleje la potencia hacia atrás y se pierda eficiencia. Por ello, se va a aplicar un desajuste del haz para conseguir la adaptación deseada.

En nuestro caso, recordar que la relación delante-atrás se puede despreciar ya que en las ranuras planas existe muy buen apantallamiento que dificulta la radiación de potencia hacia atrás. En primer lugar vamos a realizar un barrido del apuntamiento (ángulo theta) para distintas longitudes de ranuras, para escoger cual es el ángulo de inclinación que nos conviene. Para este caso elegimos la antena de 8 anillos y una longitud de ranura ($Lr0$) constante en toda la antena para agilizar los cálculos complejos de Matlab.



Gráfica 4.6 Directividad

La gráfica 4.6 representa los distintos valores de la directividad para una antena RLSA de ocho anillos en función del ángulo de apuntamiento. De esta forma podemos apreciar fácilmente como al disminuir la longitud de ranura la directividad disminuye más lentamente con el cambio del ángulo de apuntamiento, mientras que en el caso de emplear longitudes de ranura superiores a 0.55cm la directividad decrece rápidamente con el ángulo de apuntamiento.



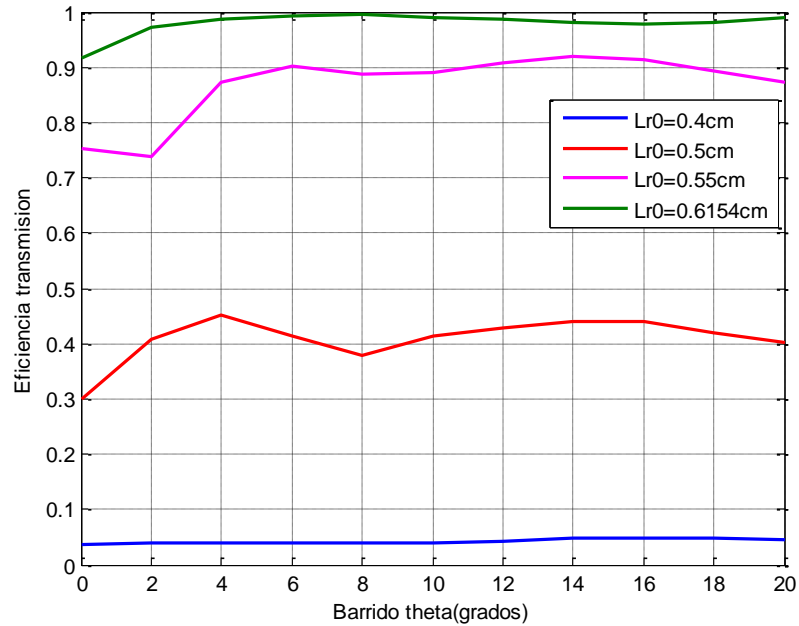
Gráfica 4.7 Coeficiente de reflexión

En la gráfica 4.7 se representa el coeficiente de reflexión en función del ángulo de apuntamiento. Se puede observar que al emplear ranuras mayores la adaptación es peor debido a que las reflexiones aumentan. Ocurre lo contrario que en la gráfica 4.6 ya que las ranuras con mayor longitud de ranura son menos variables con el ángulo de apuntamiento que las ranuras con longitud inferior. Además observamos que en las antenas con menor longitud de resonancia no es necesario desplazar el apuntamiento más de 10 grados para estar adaptadas, mientras que en las antenas con longitud de resonancia superior a 0.55cm el desplazamiento mínimo será de 18 grados. En estos casos y en los posteriores se va a tomar un coeficiente de reflexión de referencia de -20dB para considerar que la antena presenta una buena adaptación.

Otra aportación importante de la gráfica anterior es que el coeficiente de reflexión mejora conforme aumentamos el ángulo de apuntamiento.

La gráfica 4.8 representa la eficiencia de radiación en función del ángulo de apuntamiento de la antena.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.8 Eficiencia de transmisión

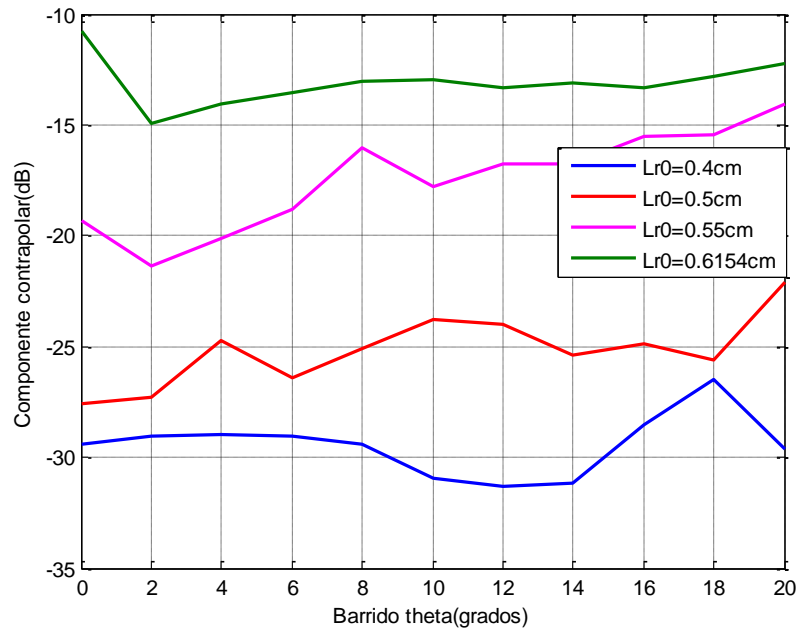
Como podemos observar en la gráfica 4.8 cuanto mayor es la longitud de la ranuras, la eficiencia de transmisión se acerca al 100%, ya que la potencia radiada cada vez es más similar a la potencia de entrada debido a que a las ranuras se acopla más potencia.

$$\eta_{TX} = \frac{P_{tx}}{P_{rec}}$$

Siendo la eficiencia total el producto de la eficiencia de transmisión y la eficiencia de iluminación (pérdidas de ganancia relacionada con la iluminación no uniforme de la apertura).

$$\eta_T = \eta_{tx} * \eta_{il}$$

Por último, la figura 4.9 representa la máxima componente contrapolar en función del apuntamiento de la ranura.



Gráfica 4.9 Diagrama de radiación no deseada

-

Después de observar detenidamente las figuras anteriores (4.6-4.9) se elige un ángulo de apuntamiento de 10° con unas ranuras de longitud entre 0.5 y 0.55cm ya que se comprueba que el valor de los parámetros de la antena no presentan fluctuaciones porque la antena está adaptada. Para determinar si la antena está adaptada o no, nos debemos de fijar en el parámetro coeficiente de reflexión (S_{11}) y verificar que dicho valor sea inferior a 20dB durante toda la banda de trabajo.

*Consideramos 20dB porque las medidas se realizaron con las antenas sin los componentes (sonda ranuras...) de esta forma nos aseguramos de que el coeficiente de reflexión nunca supere los 10dB establecidos generalmente como valor máximo del coeficiente de reflexión para una antena adaptada.

4.2.1 Sin modificar la posición de las ranuras.

Una vez consideradas las aportaciones de las ranuras en el diseño de la antena RLSA nuestro objetivo será la búsqueda de longitudes de ranuras que proporcionen una determinada eficiencia de transmisión.

En este apartado vamos a tener en cuenta dos métodos a la hora de encontrar la eficiencia deseada. El primer de los métodos consiste en considerar todas las longitudes de las ranuras sean iguales independientemente del anillo donde estén.

Por otro lado el segundo y más complejo método que nos ofrece mejores eficiencias de iluminación consiste en que las ranuras tendrán mayor longitud conforme se acerquen al extremo de la antena, es decir los últimos anillos, teniendo en cuenta que la máxima longitud es la de resonancia. También cabe destacar que al variar la longitud de las ranuras según la potencia recibida la eficiencia total aumenta, por ello los últimos anillos presentan mayores longitudes de ranura.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

A continuación vamos a buscar con ayuda del archivo creado en MATLAB (*sc_rlsa.m*) las distintas longitudes de ranura que nos ofrezcan la eficiencia.

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 85%.

1. **Longitud de ranuras ($Lr0$) constante:** Se considera que la longitud de las ranuras es idéntica independientemente de la posición.

Eficiencia 85%	
NN	Lr0(cm)
8	0.545
10	0.536
12	0.5305

Tabla 4.2 Valores $Lr0$

2. **Longitud de ranuras variable (Lrr):** Consiste en ir variando la longitud de las ranuras según el anillo al que pertenezcan. La longitud varía en modo creciente según nos alejamos del núcleo de la antena.

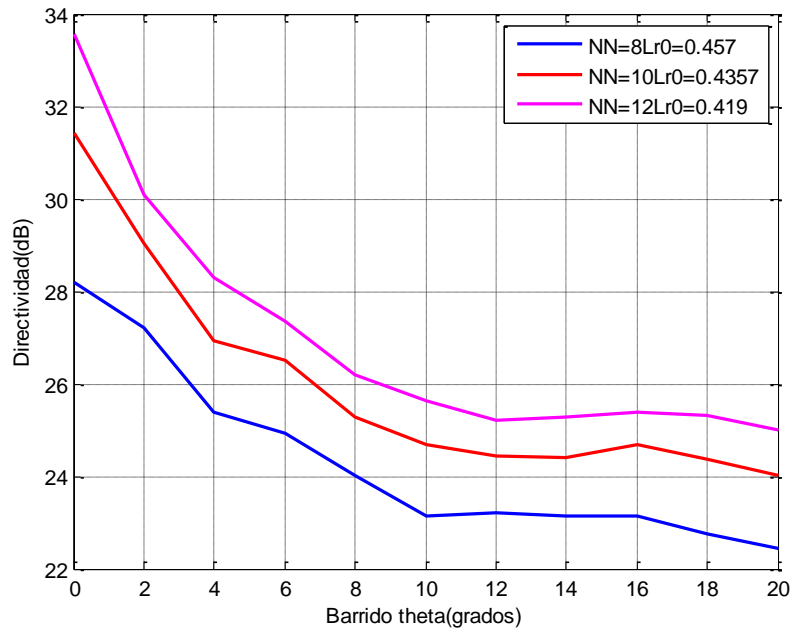
NºAnillos	Lrr	Lrr	Lrr
1º	0.457	0.436	0.419
2º	0.485	0.464	0.448
3º	0.503	0.482	0.466
4º	0.518	0.496	0.479
5º	0.532	0.508	0.491
6º	0.546	0.519	0.501
7º	0.562	0.530	0.511
8º	0.589	0.542	0.52
9º	-	0.555	0.529
10º	-	0.574	0.54
11º	-	-	0.552
12º	-	-	0.568

Tabla 4.3 Vector de longitudes (cm).

En nuestro caso, para cada una de las distintas eficiencias, nos decantamos por el método 2 porque aunque sea un método más complejo, al ir variando las longitudes de las ranuras según la posición en la antena se mejora la potencia radiada y por tanto mejora la eficiencia total.

Una vez conocido el vector de ranuras Lrr , ya tendríamos todos los parámetros necesarios para poder calcular los parámetros primarios de la antena según la inclinación que tenga la antena como son la eficiencia de transmisión, coeficiente de reflexión y directividad.

➤ **Barrido del ángulo de apuntamiento con longitud de ranura variable.**

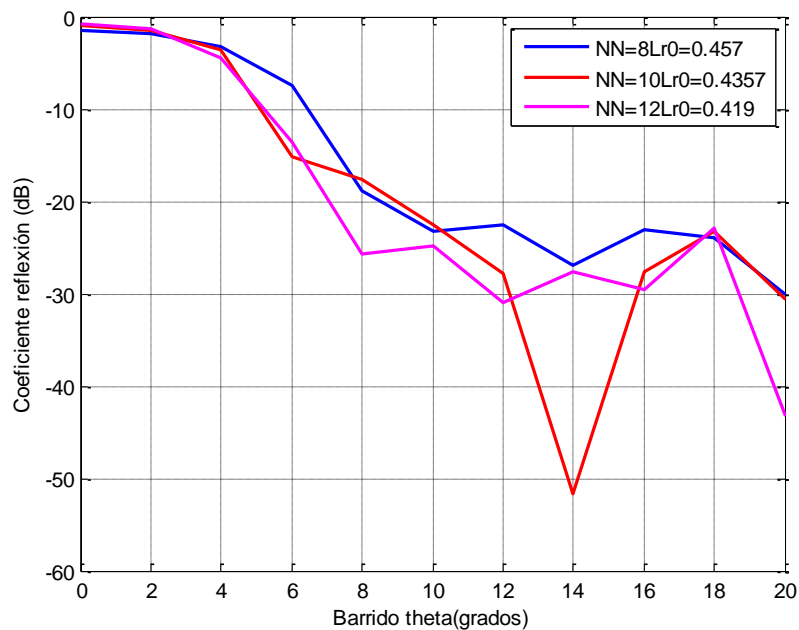


Gráfica 4.10 Directividad.

De la gráfica 4.10 se extrae que la directividad decrece conforme se aumenta el ángulo de apuntamiento. Destacar que este decrecimiento es prácticamente el mismo para las tres antenas.

Como se puede deducir en la fórmula siguiente y en la gráfica 4.10 la directividad depende directamente del área geométrica. Por ello la antena con mayor número de anillos posee mayor directividad:

$$D = (4\pi/\lambda^2) * \text{Area. geo.} * \eta_t$$

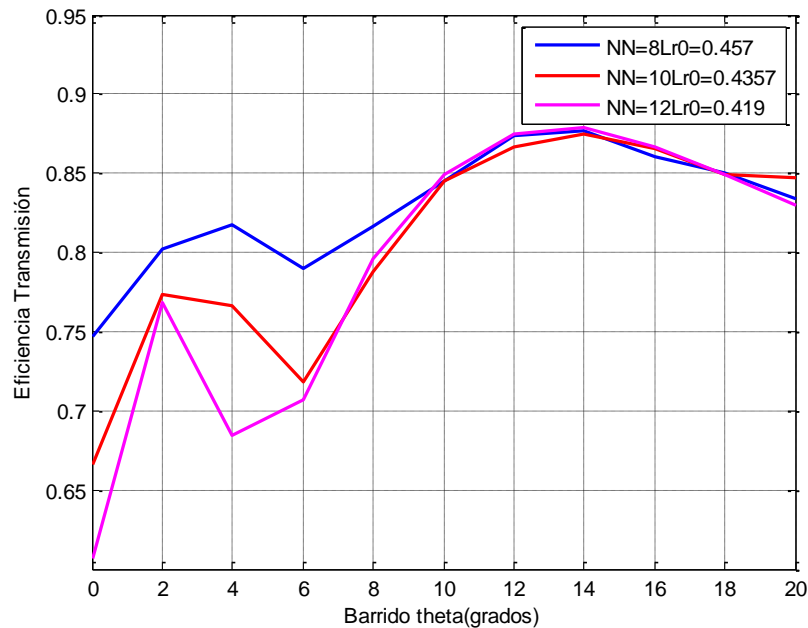


Gráfica 4.11 Coeficiente de reflexión.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

De la gráfica 4.11 deducimos la inclinación adecuada de las ranuras para que la antena esté bien adaptada ($S_{11} < -20\text{dB}$) en la banda de los 18GHz, siendo ésta la menor posible. Por tanto:

- Para una antena con **8 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.457cm, la inclinación perfecta será de **10°**.
- Para una antena de **10 anillos** y longitud de ranura mínima de 0.4357cm, la inclinación será **idéntica a** la antena anterior de **8 anillos**.
- Para una antena con **12 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.419cm, la inclinación perfecta será de **8°**.



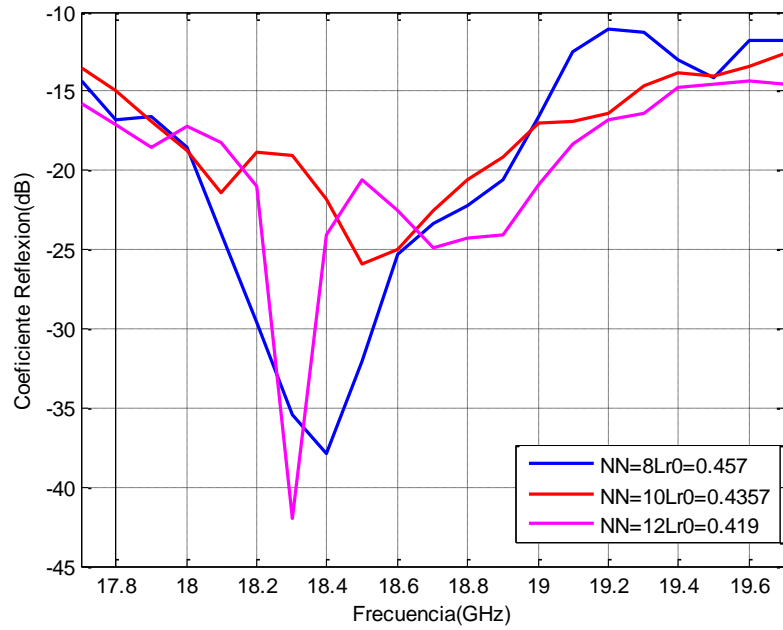
Gráfica 4.12 Eficiencia de transmisión.

En la gráfica 4.12 podemos comprobar como todas las antenas ofrecen una eficiencia de transmisión de 85% en una inclinación mínima de 10°, lo que nos indica que la elección de las longitudes de ranura ha sido correcta.

➤ **Análisis banda de trabajo [17.7-19.7] GHz.**

Ahora vamos a observar el comportamiento de la antena en el ancho de banda de trabajo de los 18GHz, visualizando sus parámetros para los valores de inclinación de haz y longitudes de ranura indicados anteriormente.

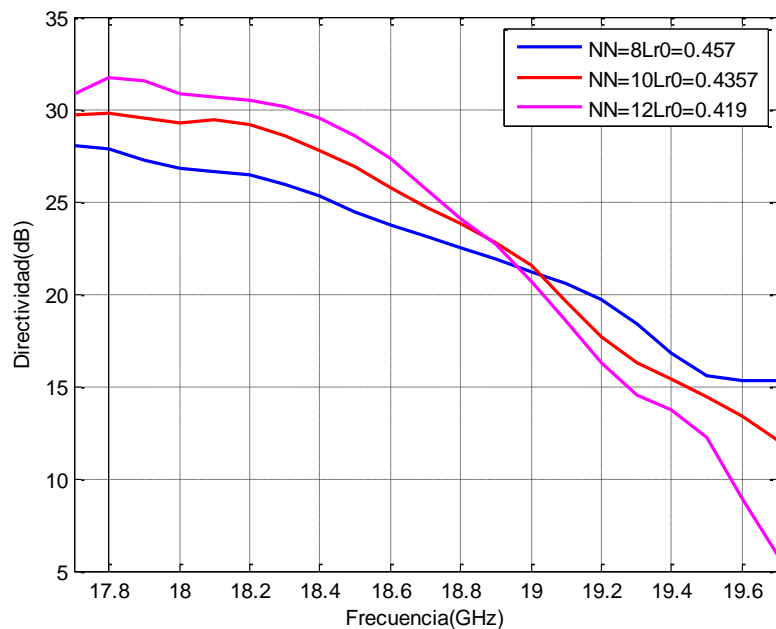
Para ello utilizaremos el archivo: **sc_rlsa_frec.m**



Gráfica 4.13 Coeficiente de reflexión.

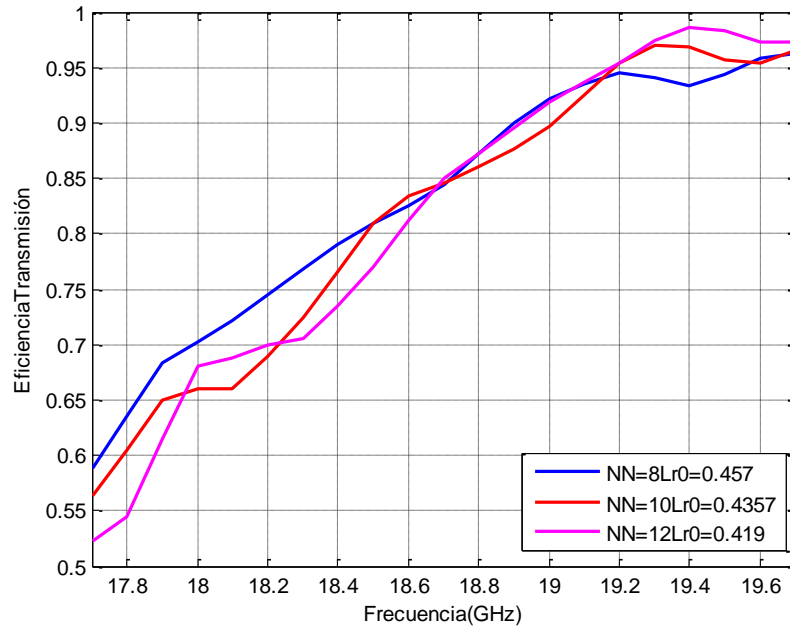
En la gráfica 4.13 se puede apreciar el ancho de banda de la antena dependiendo del número de anillos que tenga y de la longitud de las ranuras.

Por ejemplo: El ancho de banda de trabajo de la antena de 8 anillos con longitud de ranura mínima de 0.457cm comprende las frecuencias que hay entre 18 y 18.9GHz para una adaptación mejor que 20dB.



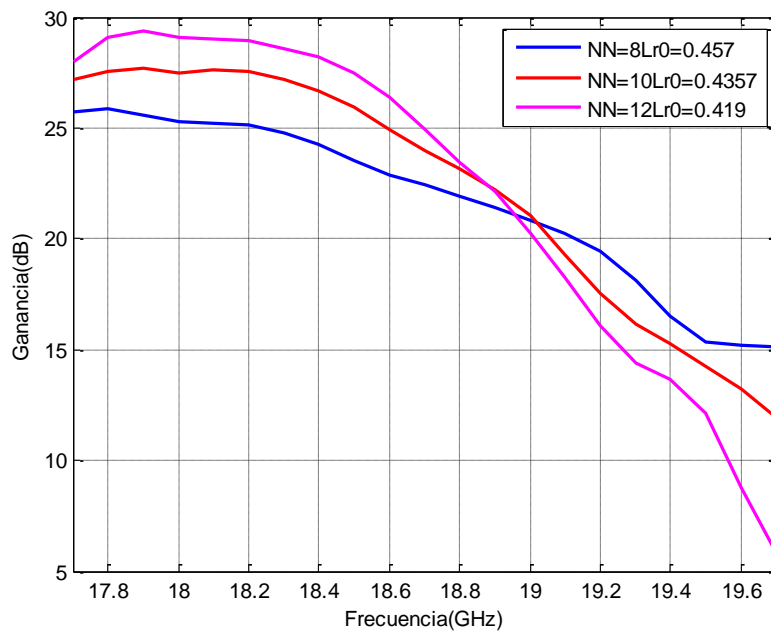
Gráfica 4.14 Directividad.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.15 Eficiencia de transmisión.

De las gráficas anteriores se deduce que conforme subimos en frecuencia la eficiencia de transmisión aumenta. Esto es debido a que al subir en frecuencia, el área geométrica de la antena se reduce y por tanto las ranuras están más cerca unas de otras, provocando una mayor adaptación de potencia entre ranuras.



Gráfica 4.16 Ganancia.

Este parámetro se define como la energía que está concentrada en la dirección de máxima radiación. La ganancia se produce por el efecto de la directividad, al concentrarse la potencia en las zonas indicadas en el diagrama de radiación.

$$G \text{ (dB)} = D \text{ (dB)} + E_f \text{ (dB)}$$

Como se puede apreciar en la gráfica 4.16 la directividad es la suma en decibelios de la directividad y la eficiencia. Por tanto interesa que la directividad sea lo más alta posible y que la eficiencia no sea excesivamente elevada. Por ello la antena de 12 anillos es la que mejor ganancia presenta para la frecuencia central de los 18.7GHz.

Como se puede la ganancia de una antena no tiene definida una magnitud física, tal y como ocurre en otros parámetros de la antena, y sólo se expresa como una comparación que nos indica cuanto más o cuanto menos es la energía transmitida en una dirección, comparada con otra antena.

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 90%.

1. **Longitud de ranuras (Lr0) constante:** Se considera que la longitud de las ranuras es idéntica independientemente de la posición.

Eficiencia 90%	
NN	Lr0(cm)
8	0.56
10	0.54
12	0.53

Tabla 4.4 Valores Lr0

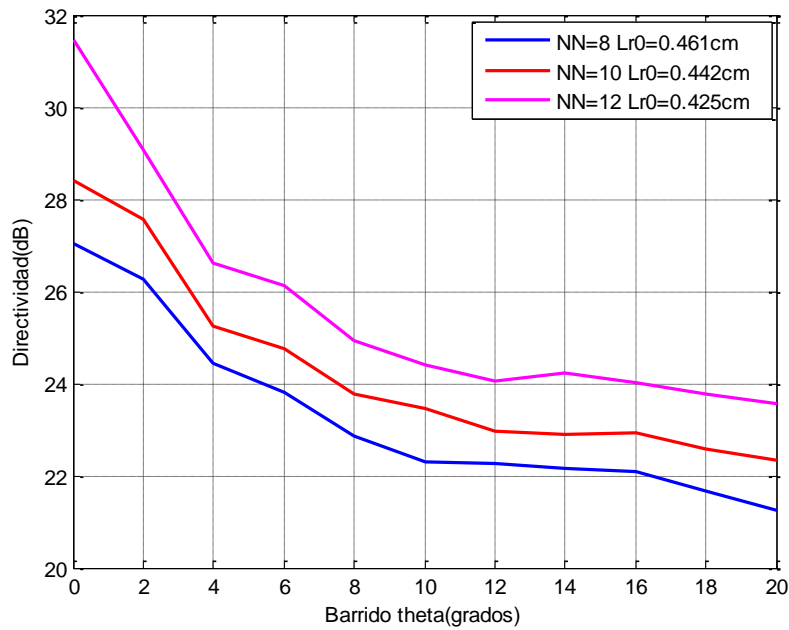
2. **Longitud de ranuras variable (Lrr):** Consiste en ir variando la longitud de las ranuras según el anillo al que pertenezcan. La longitud varía en modo creciente según nos alejamos del núcleo de la antena.

NºAnillos	Lrr	Lrr	Lrr
1º	0.4610	0.4420	0.4250
2º	0.4890	0.4703	0.4537
3º	0.5073	0.4885	0.4718
4º	0.5221	0.5025	0.4855
5º	0.5360	0.5146	0.4969
6º	0.5506	0.5260	0.5072
7º	0.5689	0.5377	0.5169
8º	0.6154	0.5506	0.5267
9º	-	0.5672	0.5370
10º	-	0.6027	0.5486
11º	-	-	0.5632
12º	-	-	0.5874

Tabla 4.5 Vector de longitudes.

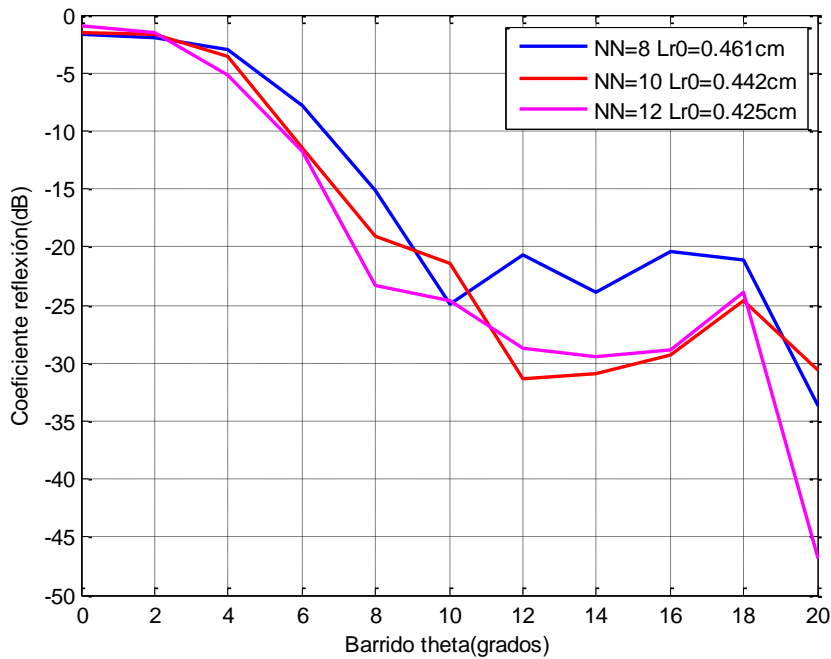
Una vez fijadas las longitudes de ranura, se va a variar el ángulo de apuntamiento para comprobar cuál es el valor óptimo para cada número de anillos.

➤ **Barrido del ángulo de apuntamiento para una longitud de ranuras variable.**



Gráfica4.17 Directividad.

De la gráfica 4.17 se verifica que la directividad decrece una cantidad constante para las distintas antenas conforme se aumenta el ángulo de apuntamiento.



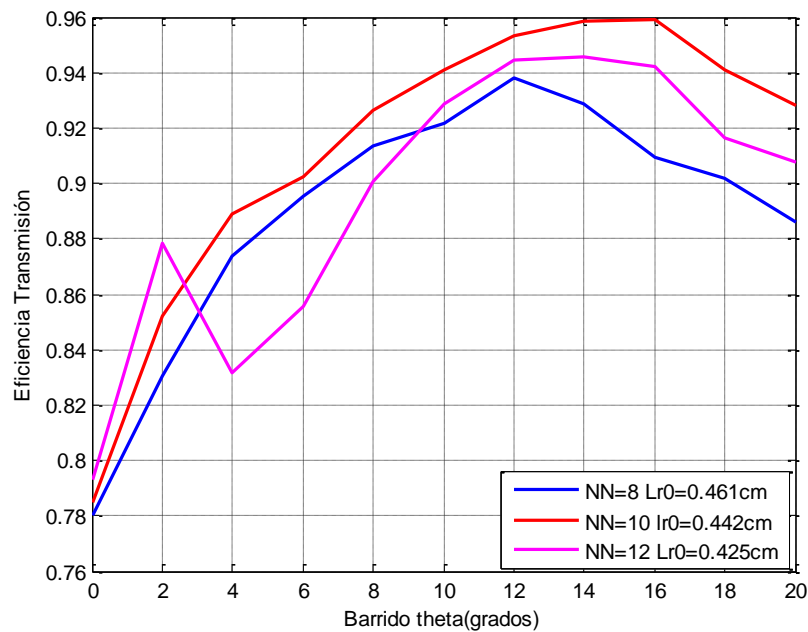
Gráfica4.18 Coeficiente de reflexión.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

De la gráfica 4.11 deducimos la inclinación adecuada del diagrama para que la antena esté bien adaptada ($S_{11} < -20\text{dB}$) en la banda de los 18GHz, escogiendo la menor posible. Por tanto:

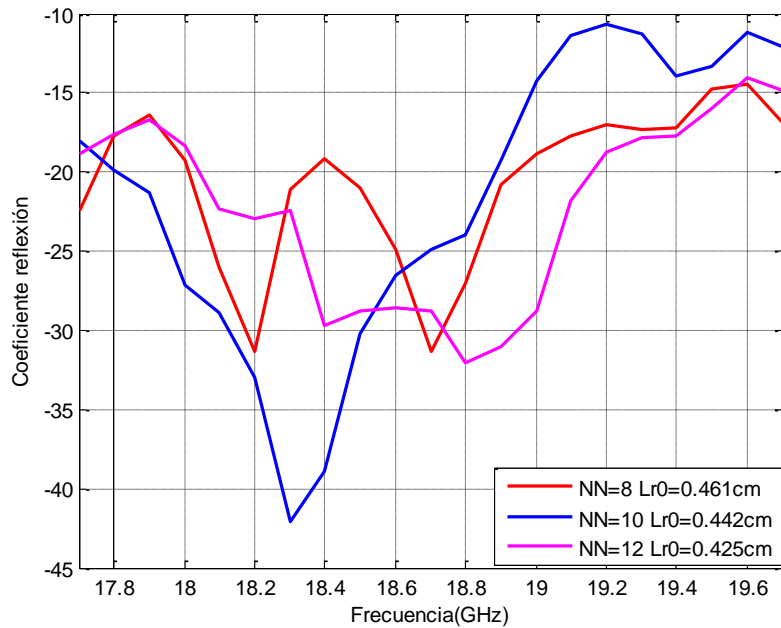
- Para una antena con **8 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.461cm, la inclinación perfecta será de **10°**.
- Para una antena de **10 anillos** y longitud de ranura mínima de 0.442cm, la inclinación será **idéntica a** la antena anterior de **8 anillos**.
- Para una antena con **12 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.425cm, la inclinación perfecta será de **8°**.

Como podemos comprobar en la gráfica anterior que representa el coeficiente de reflexión (S_{11}), para *10grados* las antenas de 8, 10 y 12 anillos están totalmente adaptadas ($S_{11} < -20\text{dB}$). También se deduce de la gráfica de la directividad que al aumentar el número de anillos (NN), aumenta el área geométrica y por tanto la directividad aumenta, pero al variar el apuntamiento de las ranuras, empeora la directividad considerablemente.



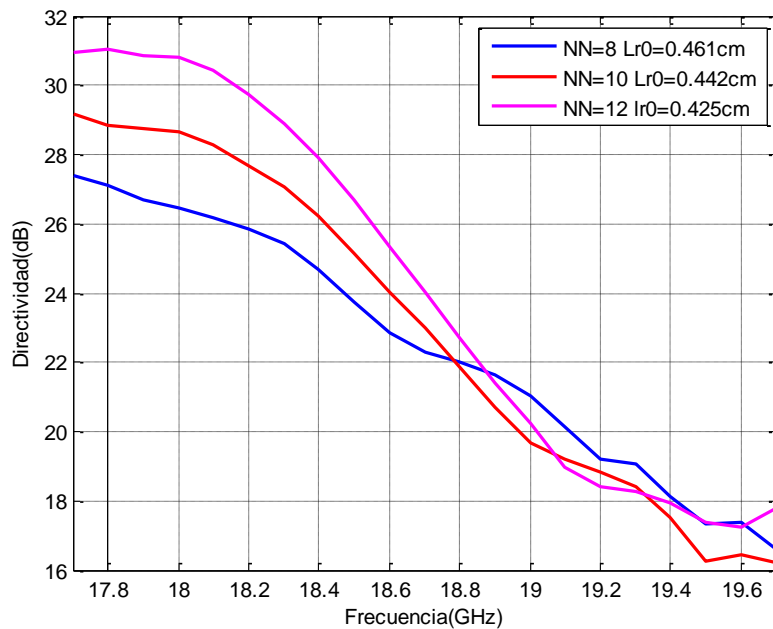
Gráfica4.19 Eficiencia de transmisión.

➤ **Análisis banda de trabajo [17.7-19.7] GHz.**



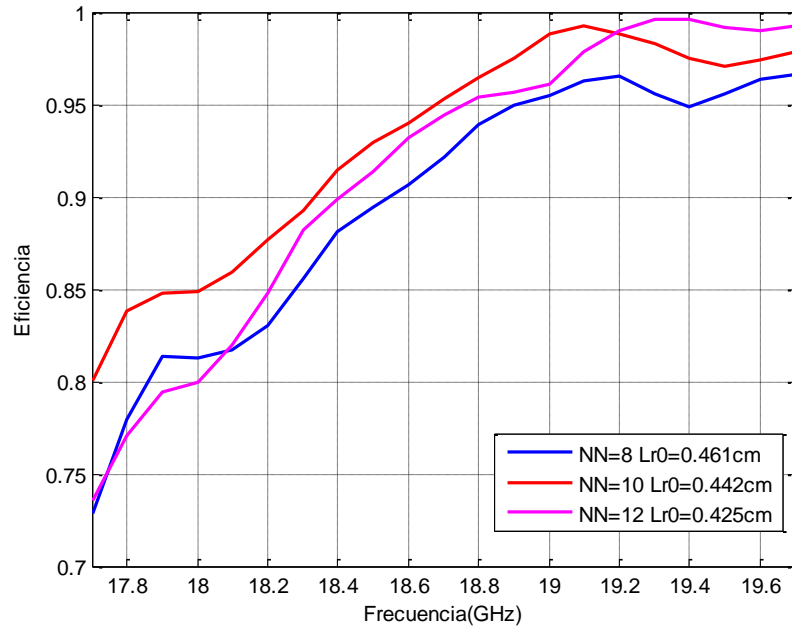
Gráfica4.20 Coeficiente de reflexión.

Esta gráfica nos muestra por qué las antenas no están adaptadas en toda la banda de 18GHz. La antena con mejor comportamiento sería la de 12 anillos ya que está adaptada por debajo de -20dB durante un máximo de 1.2GHz de los 2GHz de ancho de banda deseado.



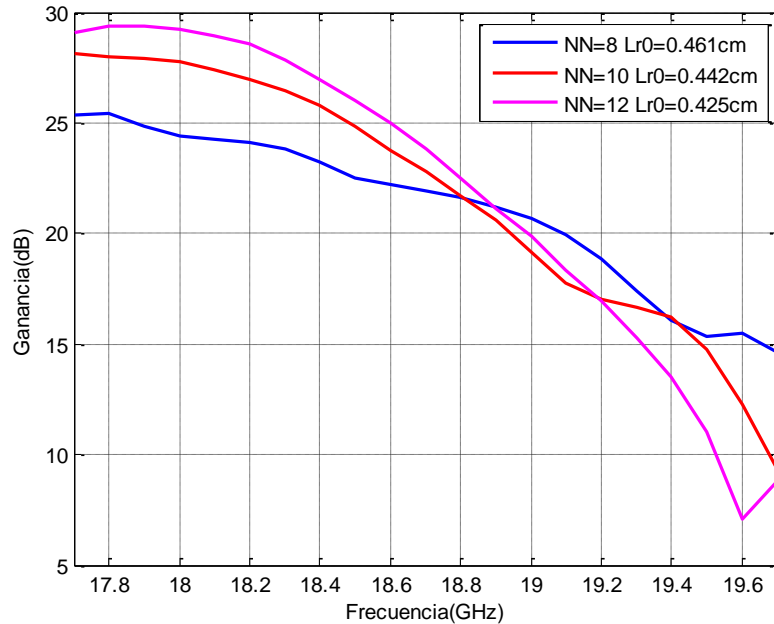
Gráfica4.21 Directividad

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.22 Eficiencia Transmisión

Como hemos comentado anteriormente la eficiencia aumenta con la frecuencia.



Gráfica 4.23 Ganancia

De la gráfica 4.21 podemos extraer que nos interesará trabajar con la antena de 12 anillos ya que es la que mejor directividad presenta para la frecuencia central de 18.7GHz. Por el contrario la antena de 10 anillos es la que mejor eficiencia muestra.

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 95%.

1. **Longitud de ranuras (Lr0) constante:** Se considera que la longitud de las ranuras es idéntica independientemente de la posición.

Eficiencia 95%	
NN	Lr0(cm)
8	0.562
10	0.5503
12	0.5447

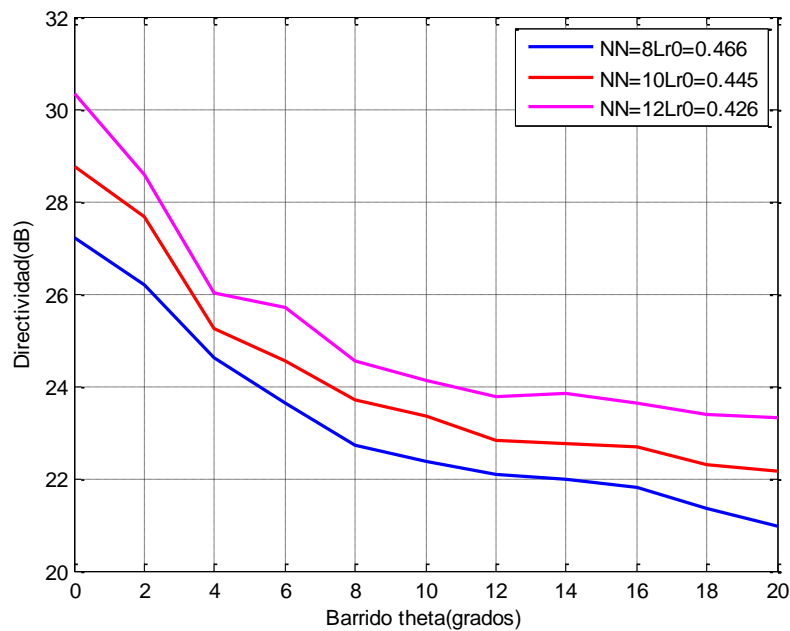
Tabla 4.6 Valores Lr0

2. **Longitud de ranuras variable (Lrr):** Consiste en ir variando la longitud de las ranuras según el anillo al que pertenezcan. La longitud varía en modo creciente según nos alejamos del núcleo de la antena.

NºAnillos	Lrr	Lrr	Lrr
1º	0.4660	0.4450	0.4260
23º	0.4939	0.4733	0.4547
3º	0.5125	0.4915	0.4729
4º	0.5278	0.5056	0.4866
5º	0.5427	0.5181	0.4981
6º	0.5594	0.5300	0.5085
7º	0.5849	0.5425	0.5185
8º	0.6154	0.5570	0.5285
9º	-	0.5778	0.5392
10º	-	0.6154	0.5516
11º	-	-	0.5680
12º	-	-	0.6066

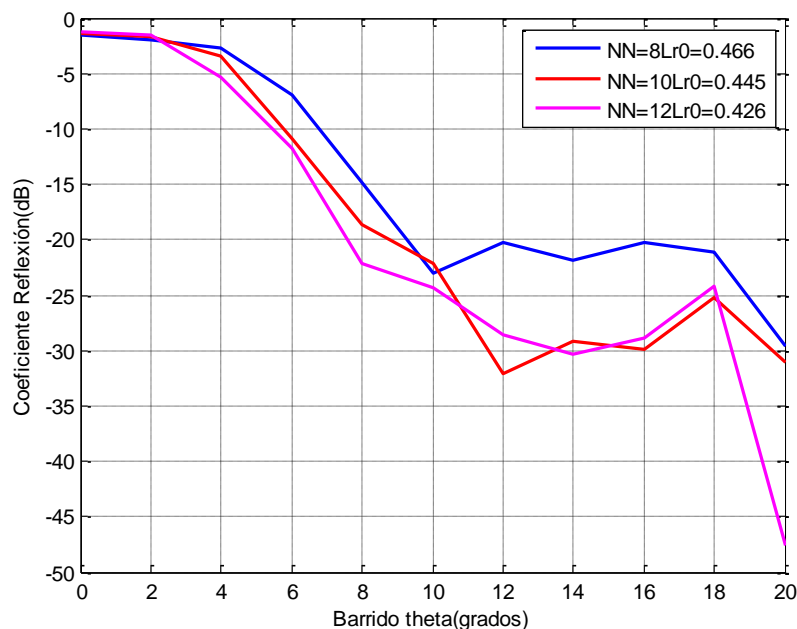
Tabla 4.7 Vector de longitudes.

➤ **Barrido del ángulo de apuntamiento para una longitud de ranuras variable**



Gráfica4.24 Directividad

De la gráfica anterior se extrae que la directividad decrece con el ángulo de apuntamiento y aumenta con el número de anillos. Es decir, cuanto más grande sea la antena, el ancho de haz será más estrecho, ya que el área geométrica aumenta y con ella la directividad.

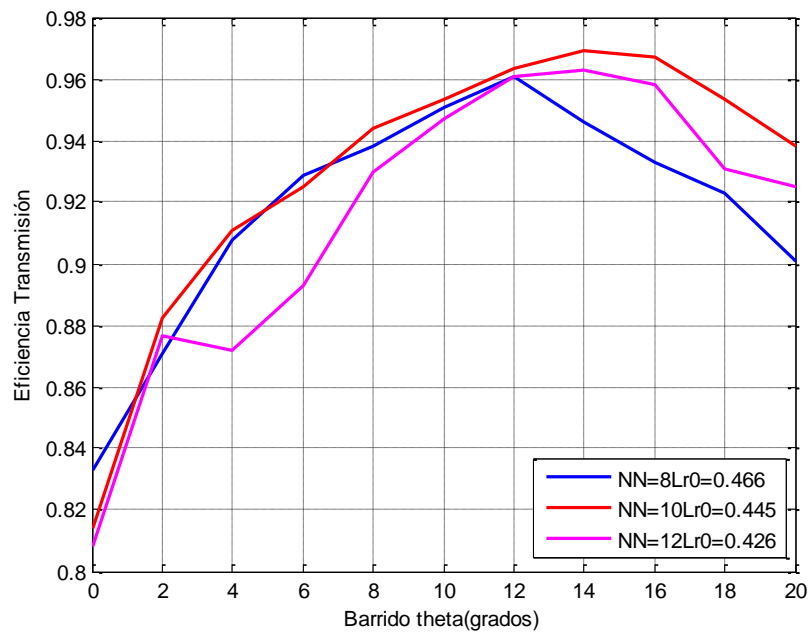


Gráfica4.25 Coeficiente de reflexión

De la gráfica 4.25 deducimos el ángulo de apuntamiento adecuado para que la antena esté bien adaptada por debajo de -20dB en la banda de los 18GHz. Por tanto:

- Para una antena con **8 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.466cm, la inclinación perfecta será de **14°**.
- Para una antena de **10 anillos** y longitud de ranura mínima de 0.445cm, la inclinación será de **10°**.
- Para una antena con **12 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.426cm, la inclinación será **idéntica** a la de la antena de **10 anillos**.

***Nota:** Recordar que interesa coger el ángulo de inclinación menor posible que cumpla que **S11<-20dB** ya que conforme subimos dicho ángulo la directividad empeora.

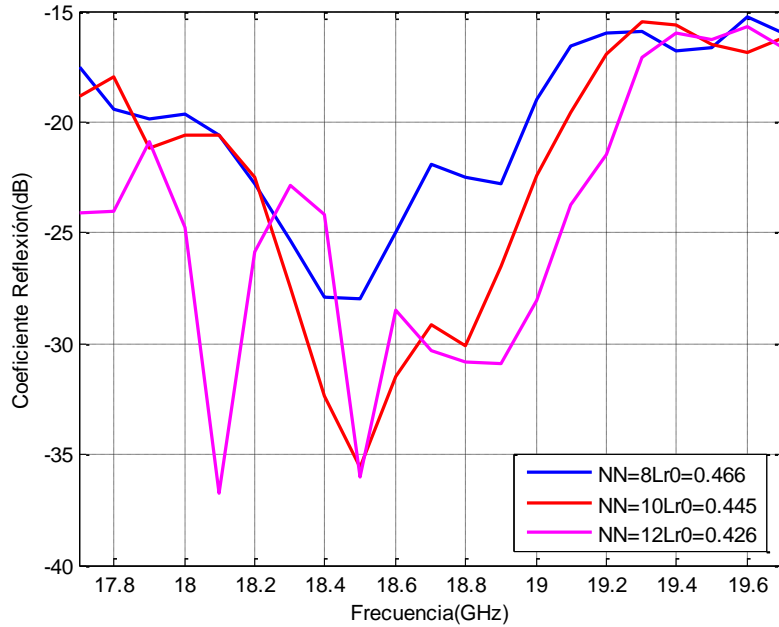


Gráfica4.26 Eficiencia de transmisión

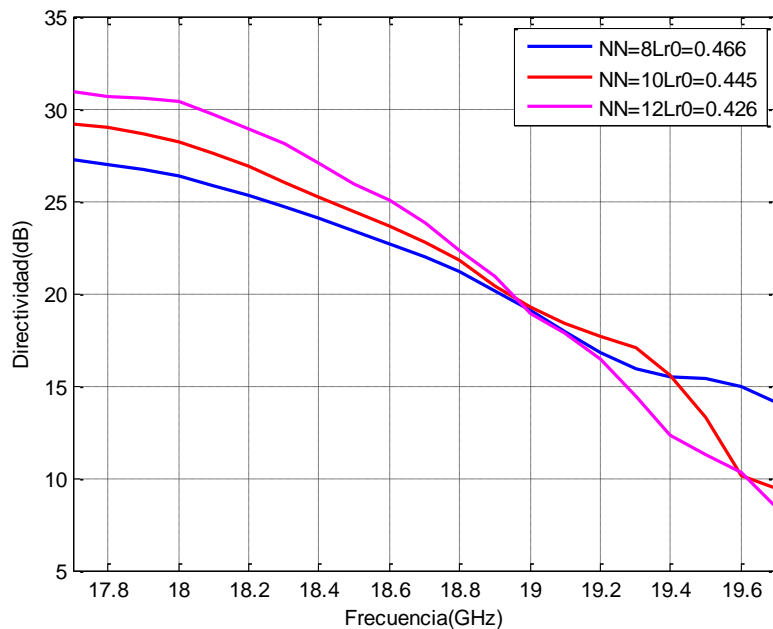
En la gráfica anterior observamos como hay una eficiencia de transmisión máxima que se consigue con un ángulo de inclinación de 12° y 14° según la antena, a partir del cual la eficiencia empieza a disminuir considerablemente.

➤ **Análisis Banda de trabajo [17.7-19.7]GHz.**

En este apartado se calcularán los parámetros característicos de una antena teniendo en cuenta un apuntamiento de la antena de 14° ya que de este modo las 3 están adaptadas correctamente.

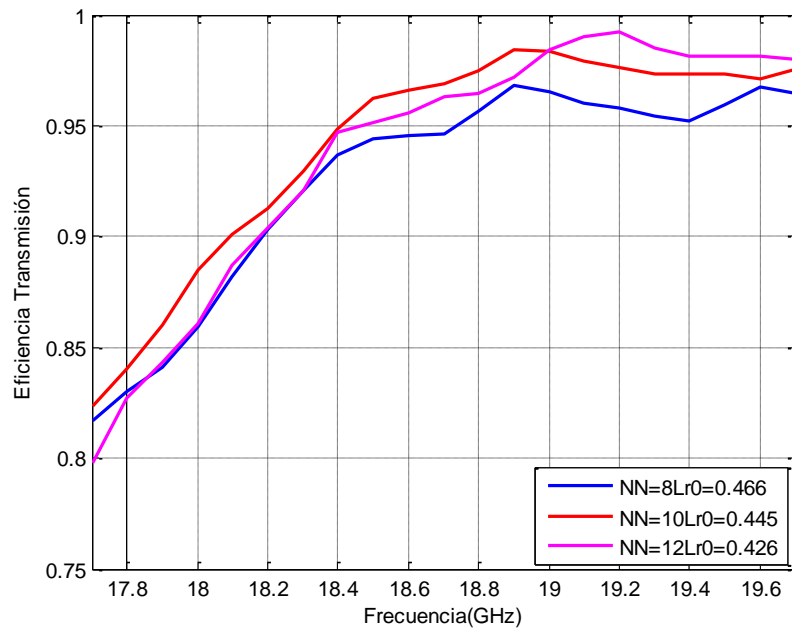


Gráfica4.27 Coeficiente de reflexión.

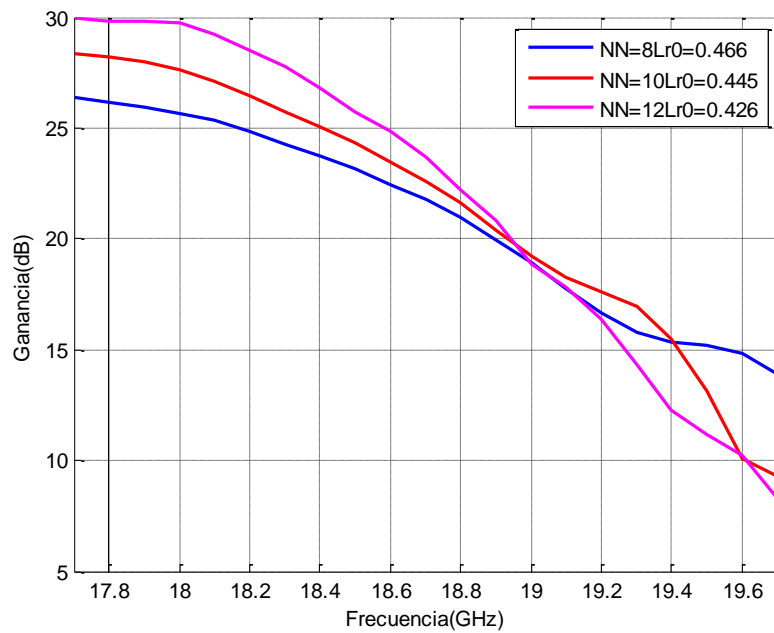


Gráfica4.28 Directividad

Si nos fijamos en las gráficas de directividad para las distintas eficiencias exigidas (figura 4.14, 4.21 y 4.28), observamos como conforme se exige mayor eficiencia de transmisión la directividad disminuye. Esto es debido a que como la eficiencia de transmisión depende de la potencia emitida, habrá más acoples mutuos entre las ranuras.



Gráfica4.29 Eficiencia de transmisión.



Gráfica4.30 Ganancia

Por último la ganancia es un parámetro muy importante en una antena porque nos ayuda a la hora de saber el alcance de dicha antena. En nuestro caso la antena que posee mayor ganancia en la frecuencia central es la de 12 anillos ya que presenta una eficiencia del 96% y una directividad de 25 dB aproximadamente.

4.2.2 Modificación la posición de las ranuras.

Como se ha visto anteriormente, la directividad decrece dramáticamente con el apuntamiento de la antena, por lo que se hace necesario aplicar algún algoritmo de corrección para mitigar dicho efecto. En este caso se ha optado por modificar la posición de las ranuras para que su radiación combinada se sume en fase en la dirección deseada, algo que se ha comprobado que no estaba ocurriendo.

A continuación vamos a optimizar la posición de las ranuras para compensar las variaciones que se producen en la directividad cuando variamos el apuntamiento (θ_t) de la antena. De este modo obtendremos una mejor directividad para la misma eficiencia de transmisión.

Una vez modificada la posición de las ranuras, nuestro objetivo sería conocer las longitudes de ranuras que nos permitan obtener en cada una de las tres antenas (12, 10 y 8 anillos) las eficiencias deseadas.

Una vez calculas dichas longitudes, representaremos el coeficiente de reflexión en función del apuntamiento (θ_t). Observando la gráfica que representa el S11 se elegirá el ángulo más adecuado para posteriormente calcular el comportamiento de las antenas en la banda de trabajo (17.7GHz-19.7GHz).

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 85%

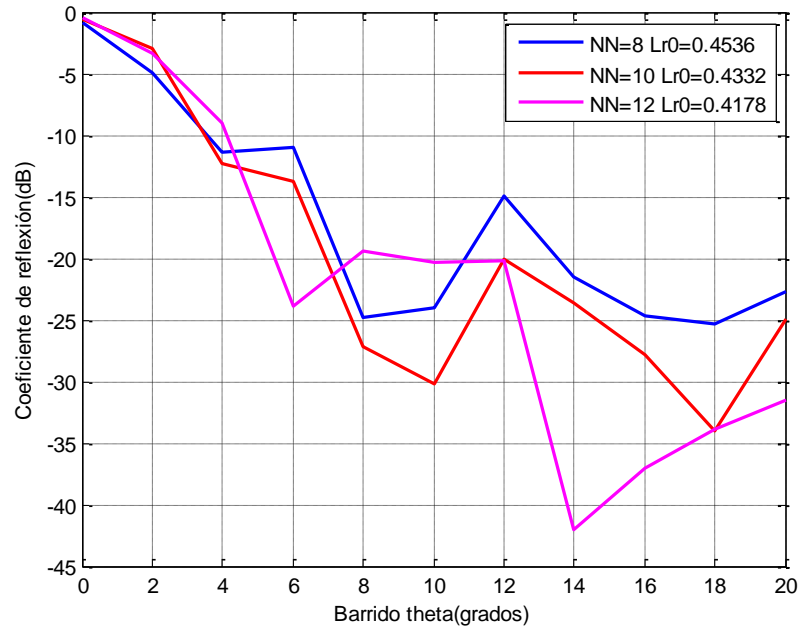
Después de realizar multitud de cálculos aproximados con la ayuda del archivo *sc_rlsa_opt.m*, creado en MATLAB podemos obtener las longitudes de ranura óptimas para el primer anillo que ofrecen la eficiencia deseada:

NN	Lr0_op(cm)
8	0.4536
10	0.4332
12	0.4178

Tabla 4.8 Valores Lr0

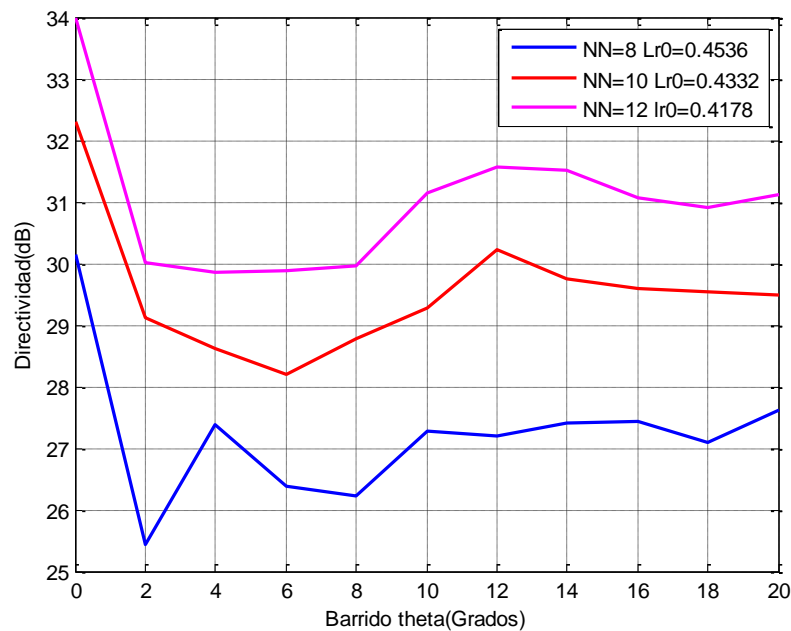
➤ Elección del apuntamiento óptimo.

En este apartado vamos a calcular los parámetros más significativos de la antena como son el coeficiente de reflexión que nos indica si la antena está adaptada y la directividad que nos permite conocer la ganancia de dicha antena para las eficiencias deseadas.



Gráfica 4.31 Coeficiente de Reflexión

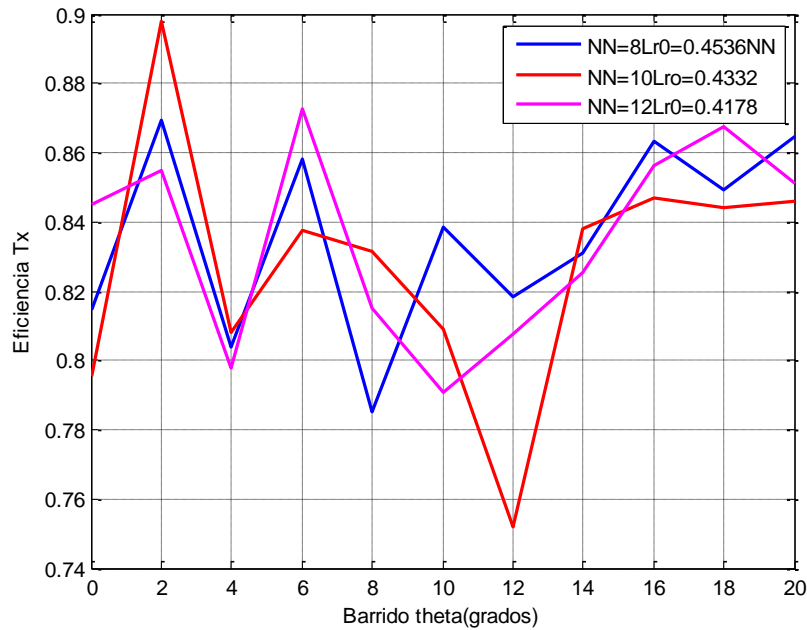
Respecto al coeficiente de reflexión mostrado en la gráfica 4.31 se concluye que las tres antenas, aunque sean distintas, están adaptadas aproximadamente en el mismo ángulo de inclinación, siendo éste de 14 grados ($S_{11} < -20\text{dB}$). Además las antenas presentan fluctuaciones en el coeficiente de reflexión en gran parte del barrido de los ángulos de apuntamiento.



Gráfica 4.32 Directividad

En la gráfica anterior podemos observar la principal ventaja que se obtiene al corregir la posición de las ranuras es que la directividad ya no decrece con el ángulo de apuntamiento como ocurría en las gráficas 4.10, 4.17 y 4.24 en las cuales no se había modificado la posición de las ranuras.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.33 Eficiencia Transmisión

La gráfica 4.33 muestra que las tres antenas oscilan entre valores cercanos al 85% de eficiencia de transmisión, siendo a partir de los 14° cuanto más próximos son los valores a la eficiencia deseada en este caso.

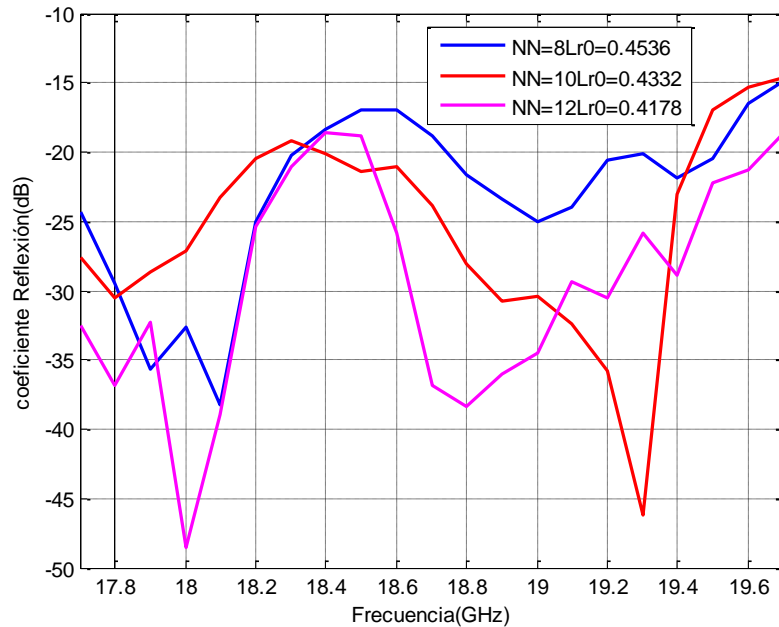
Por tanto, considerar que para el análisis de dichas antenas en la banda de los 18GHz consideraremos que las tres antenas tienen una inclinación de haz de 15°, ya que da buenos valores de adaptación.

NN	Lr0_op(cm)	Th_t
8	0.4536	15°
10	0.4332	15°
12	0.4178	15°

Tabla 4.9 Desfase aplicado

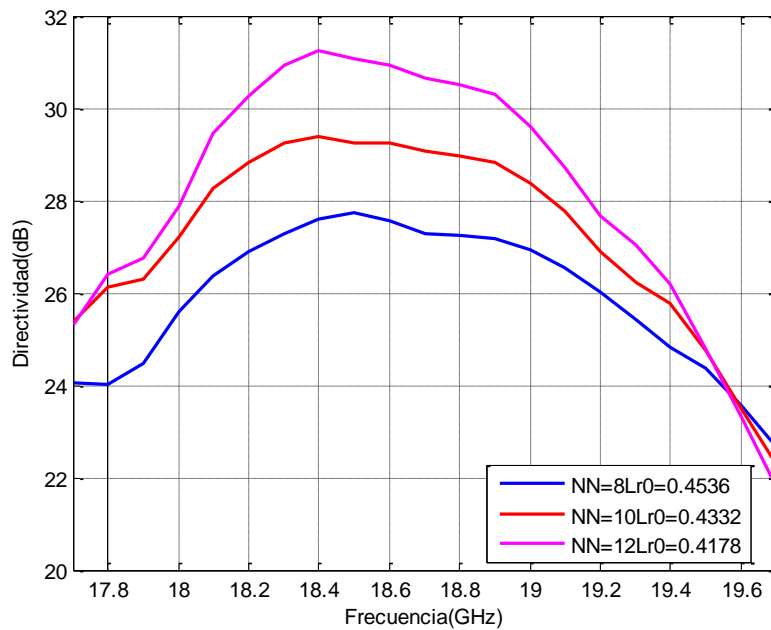
➤ **Análisis Banda de trabajo [17.7-19.7]GHz.**

En esta sección vamos a analizar el comportamiento de la antena para la banda de frecuencias de operación. En este caso como aparece en la tabla 4.29 el desapuntamiento de las tres antenas va a ser de 15°, ya que es el mínimo posible que permite que las antenas estén completamente adaptadas.



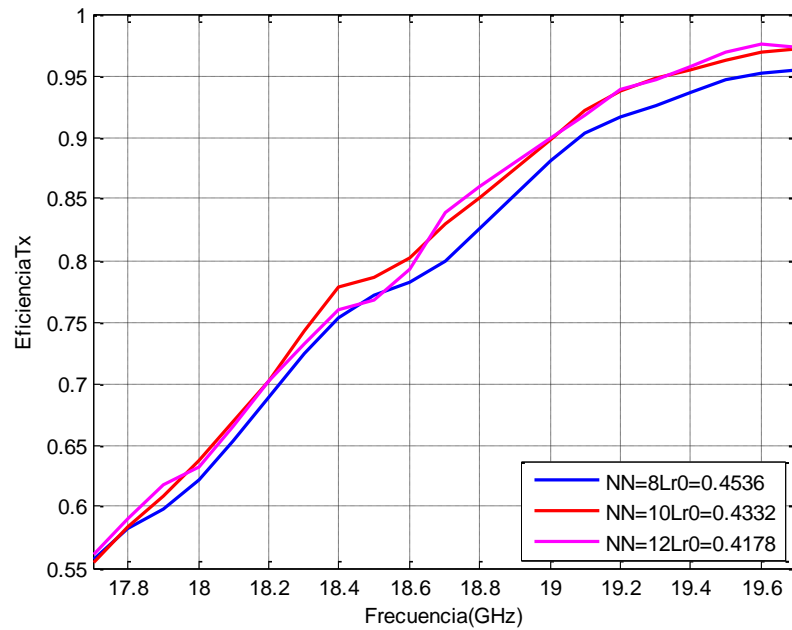
Gráfica 4.34 Coeficiente de reflexión

Según la gráfica 4.34, las antenas de 10 y 12 anillos presentan un coeficiente de reflexión bueno en la banda de trabajo, excepto para las frecuencias superiores.

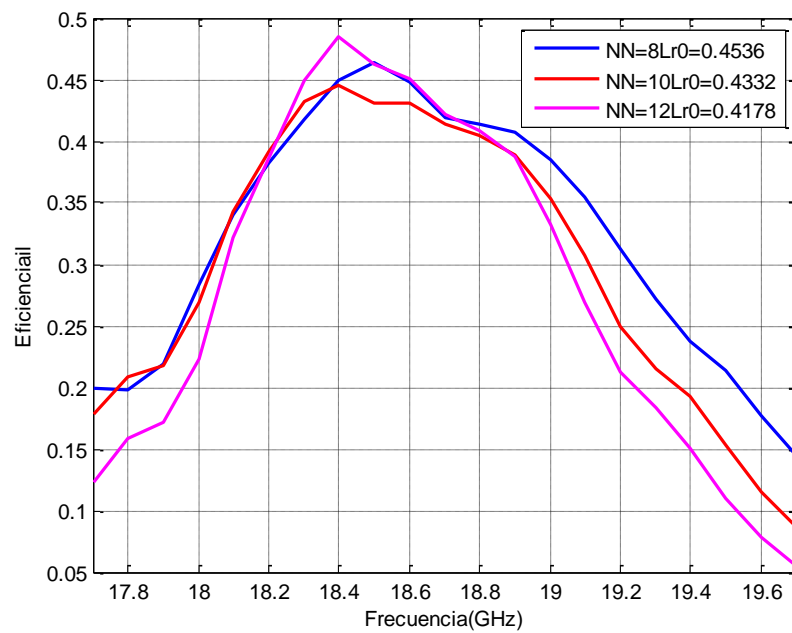


Gráfica 4.35 Directividad

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

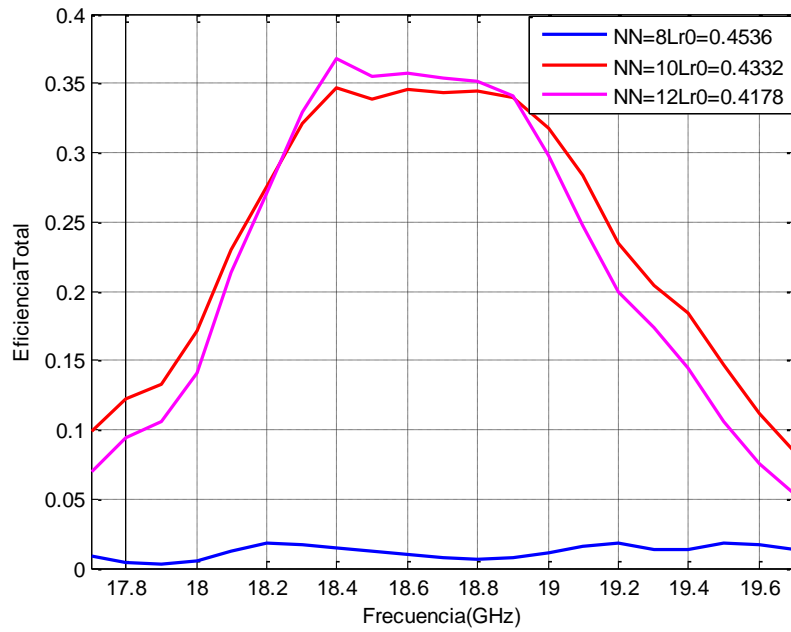


Gráfica 4.36 Eficiencia de transmisión



Gráfica 4.37 Eficiencia de iluminación

Se puede observar en la gráfica 4.37 que la eficiencia de iluminación es similar para las tres antenas, y por lo tanto la directividad será mayor para la antena de mayores dimensiones.



Gráfica 4.38 Eficiencia Total

Después de contrastar detenidamente las gráficas anteriores, deducimos que la antena que nos va ofrecer una eficiencia del 85% manteniendo la mejor ganancia , es la antena de 12 anillos.

La eficiencia total máxima es del 36 % aproximadamente y la ofrece la antena de 12 anillos para una frecuencia de 18.4GHz.

Como podemos comprobar en la gráfica 4.38 la antena de 10 anillos presenta una eficiencia total mejor que las demás antenas en los valores de frecuencia inferiores a 18.3GHz y en las frecuencias superiores a 18.9GHz.

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 90%

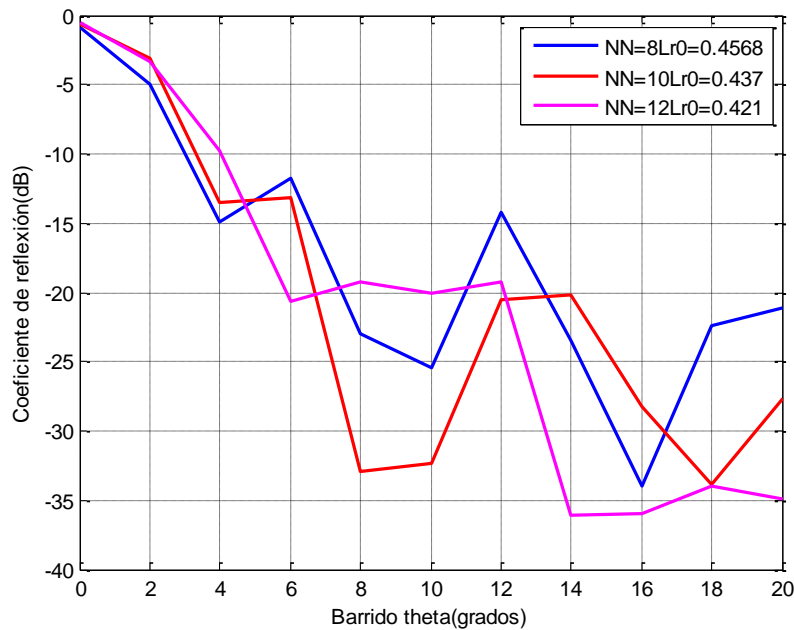
Realizamos el mismo estudio de las longitudes de ranura que para la eficiencia del 85%:

NN	Lr0_op(cm)
8	0.4568
10	0.437
12	0.421

Tabla 4.10 Valores Lr0

➤ Elección del apuntamiento óptimo.

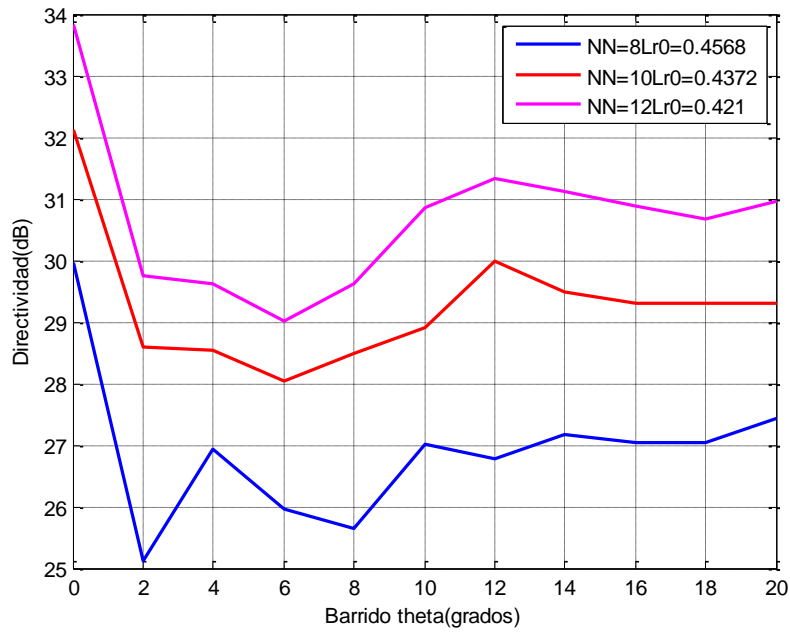
En este apartado vamos a calcular los parámetros más significativos de una antena como son el coeficiente de reflexión que nos indica si la antena está adaptada y la directividad que nos permite conocer la ganancia de dicha antena para las eficiencias deseadas.



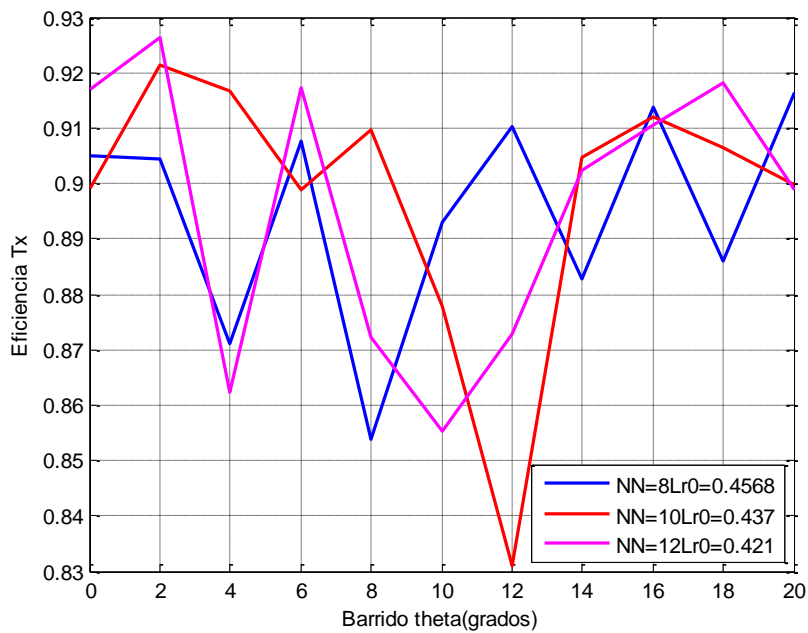
Gráfica 4.40. Coeficiente de reflexión

De la gráfica 4.40 deducimos el ángulo de apuntamiento adecuado para que la antena esté bien adaptada por debajo de -20dB en la banda de los 18GHz, escogiendo la menor posible. Por tanto:

- Para una antena con **8 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.4568cm, el ángulo de inclinación perfecto será de **13°**.
- Para una antena de **10 anillos** y longitud de ranura mínima de 0.4437cm, la inclinación será de **7°**.
- Para una antena con **12 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.421cm, la inclinación será **idéntica** a la de la antena de **10 anillos**.



Gráfica 4.41 Directividad



Gráfica 4.42 Eficiencia de transmisión

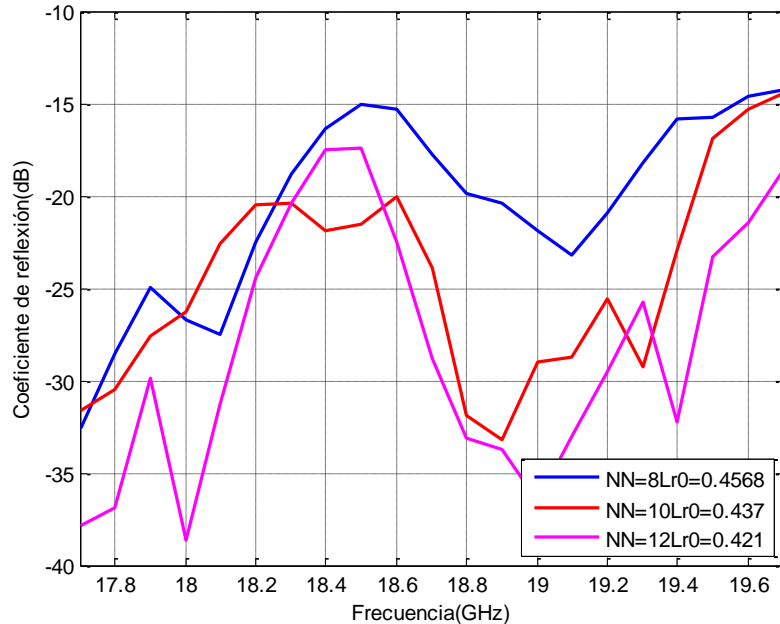
La eficiencia de transmisión es muy inestable en las tres antenas, fluctúa entre valores comprendidos entre 83% y 92% aproximadamente. Esto significa que la eficiencia de transmisión depende directamente del ángulo de apuntamiento elegido.

NN	Lr ₀ (cm)	Th _t
8	0.4568	15°
10	0.437	15°
12	0.421	15°

Tabla 4.11 Desfase aplicado.

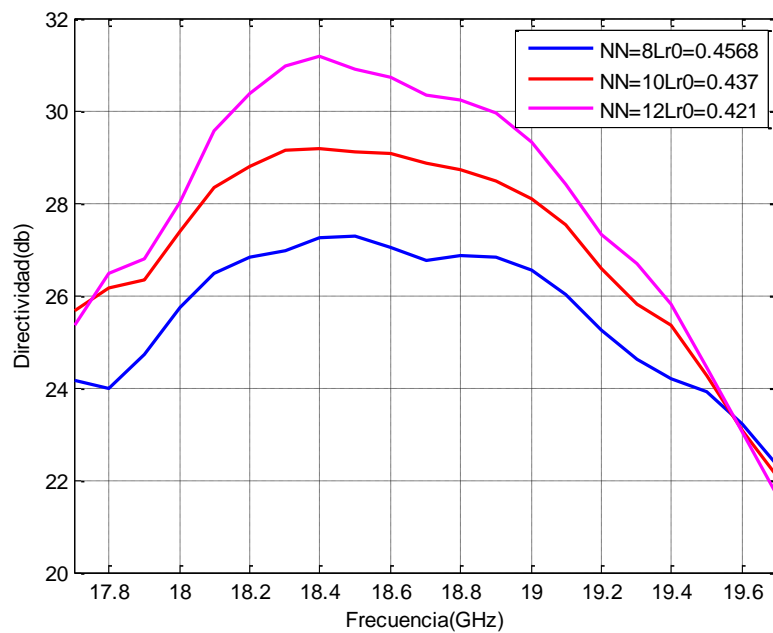
➤ **Análisis Banda de trabajo [17.7-19.7]GHz.**

Después de observar el comportamiento de las antenas en un barrido de 20° en theta, deducimos que el apuntamiento adecuado para que las antenas estén adaptadas por debajo de -20dB es de 15° (tabla 4.11).



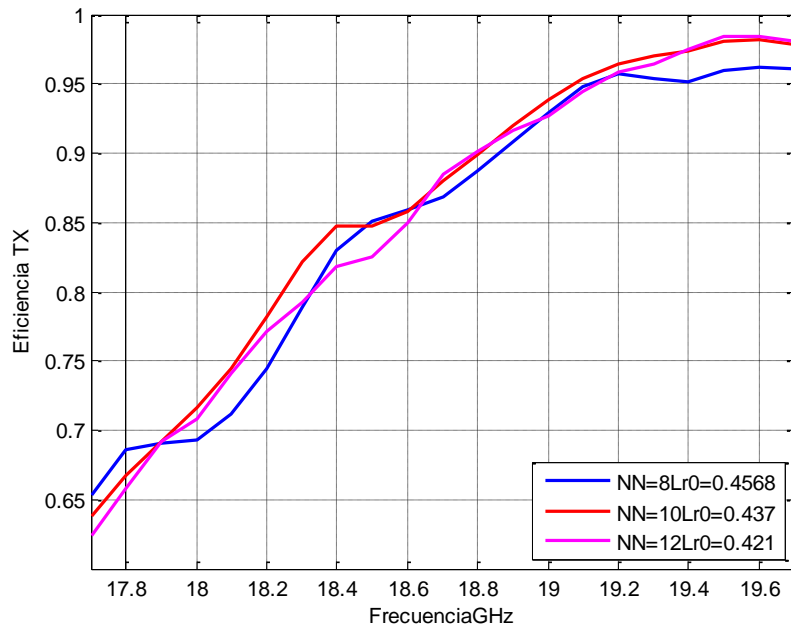
Gráfica 4.43 Coeficiente de reflexión

Con la ayuda de la gráfica anterior ya podemos saber qué antenas nos van a ser más útiles. En nuestro caso se ve claramente que la antena con un ancho de banda relativamente grande en el cuál está adaptada por debajo de -20 dB es la antena de 10 anillos, aunque la de 12 anillos también sería aceptable.

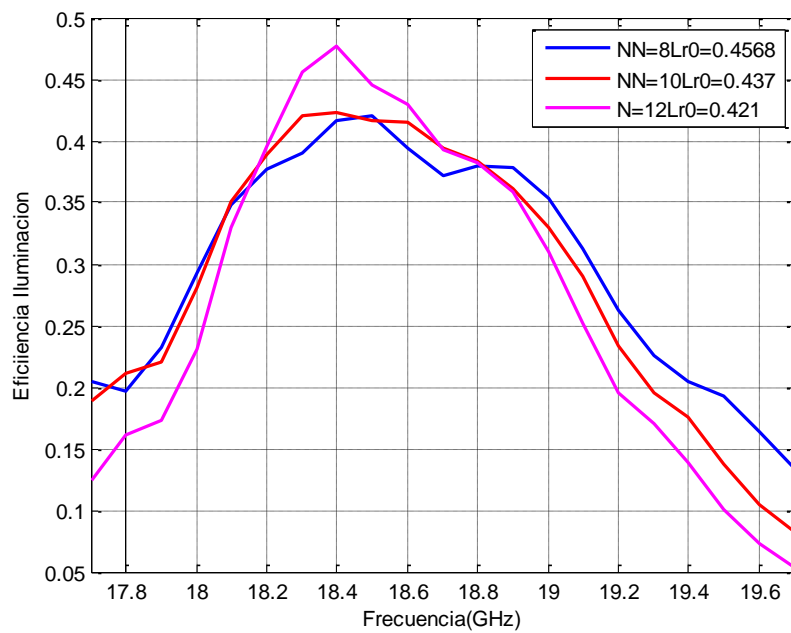


Gráfica 4.44 Directividad

En la gráfica 4.44 observamos que existe un máximo de directividad para la antena de 12 anillos de un valor de 31 dB y es en la frecuencia de 18.4GHz.

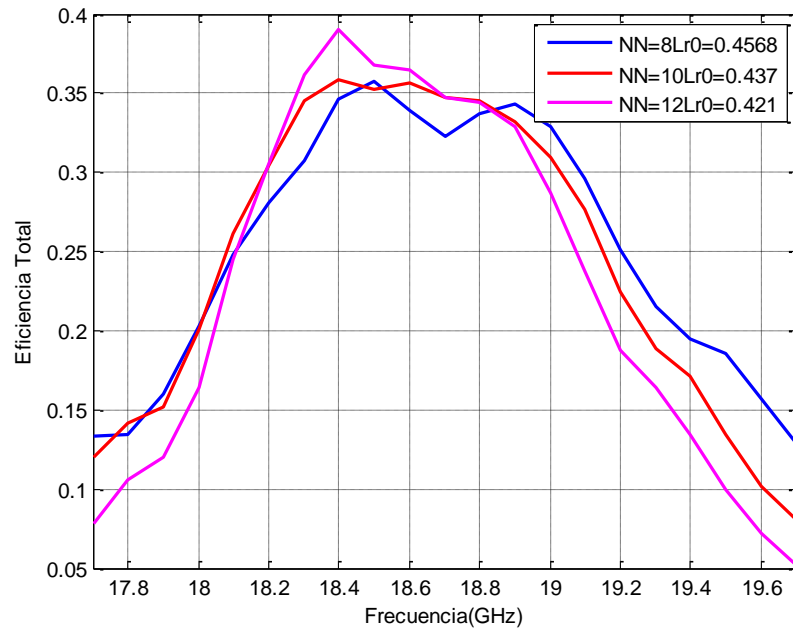


Gráfica 4.45 Eficiencia Transmisión



Gráfica 4.46 Eficiencia Iluminación

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.47 Eficiencia total

En este caso, se podría escoger indistintamente entre la antena de 10 o de 12 anillos, dependiendo de la ganancia máxima requerida.

Búsqueda de longitudes de ranura que ofrezcan una eficiencia de transmisión de 95%

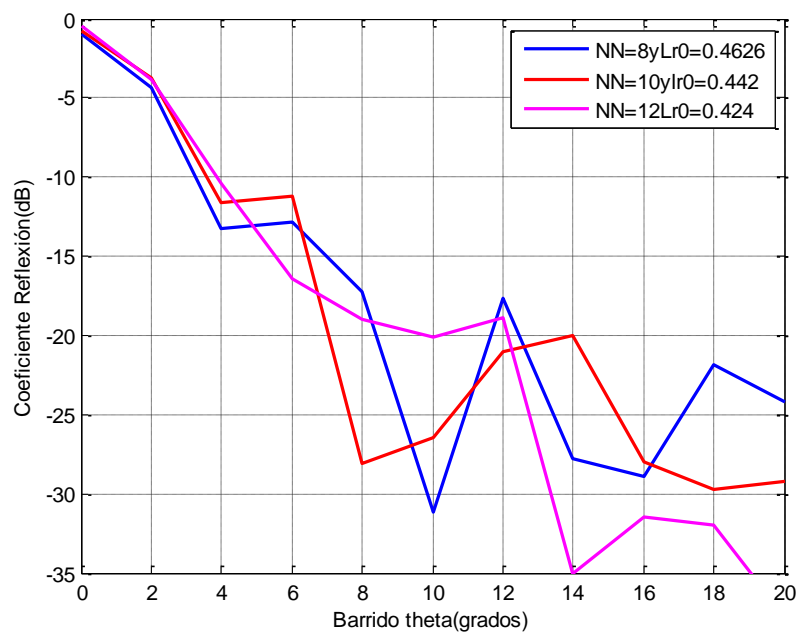
Realizamos el mismo estudio de las longitudes de ranura que para la eficiencia del 90%:

NN	Lr0_op(cm)
8	0.4626
10	0.442
12	0.424

Tabla 4.12 Valores Lr0

➤ Elección del apuntamiento óptimo.

Antes de analizar los parámetros de las antenas en frecuencia sería conveniente saber cuál va a ser el ángulo de apuntamiento adecuado para conseguir resultados óptimos.

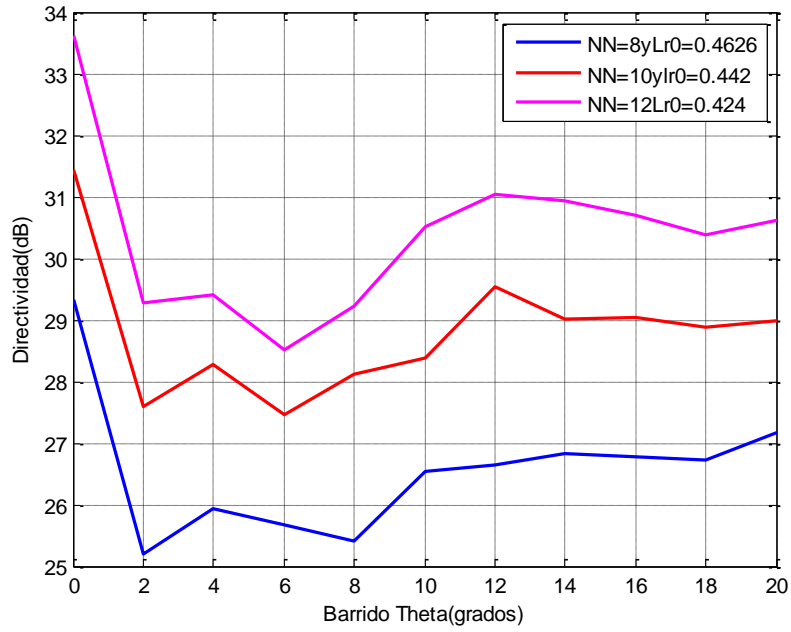


Gráfica 4.48 Coeficiente de reflexion

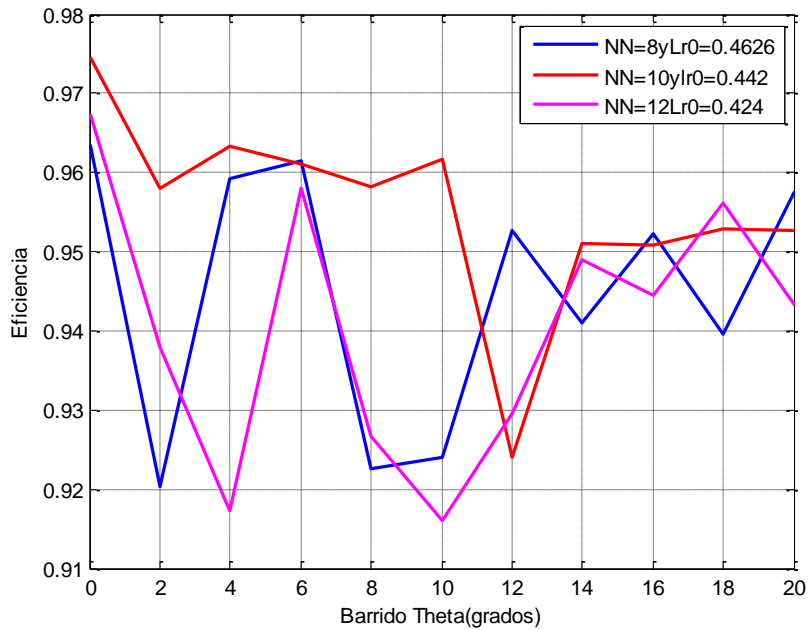
De la gráfica 4.48 deducimos el ángulo de apuntamiento adecuado para que la antena esté bien adaptada por debajo de -20dB en la banda de los 18GHz:

- Para una antena con **8 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.4626cm, el ángulo de inclinación idóneo será de 13°.
- Para una antena de **10 anillos** y longitud de ranura mínima de 0.442cm, la inclinación será de 7°.
- Para una antena con **12 anillos** y una longitud de ranura mínima de 0.424cm, la inclinación será **idéntica** a la de la antena de **8 anillos**.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz



Gráfica 4.49 Directividad



Gráfica 4.50 Eficiencia de transmisión

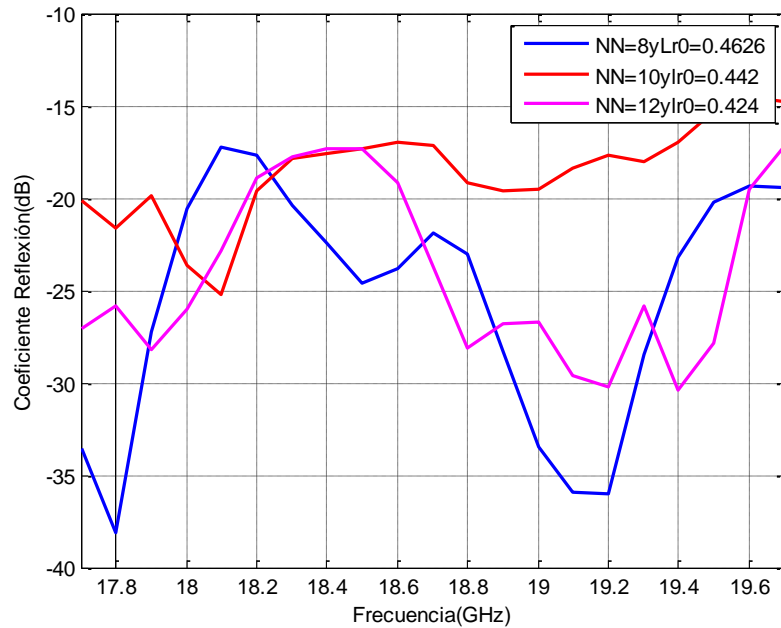
Después de cotejar los datos obtenidos en las gráficas anteriores llegamos a la conclusión de que el ángulo de apuntamiento mínimo de cada antena para que estén adaptadas son los presentados en la tabla siguiente:

NN	Lr0_op(cm)	Th t
8	0.4626	15°
10	0.442	15°
12	0.424	15°

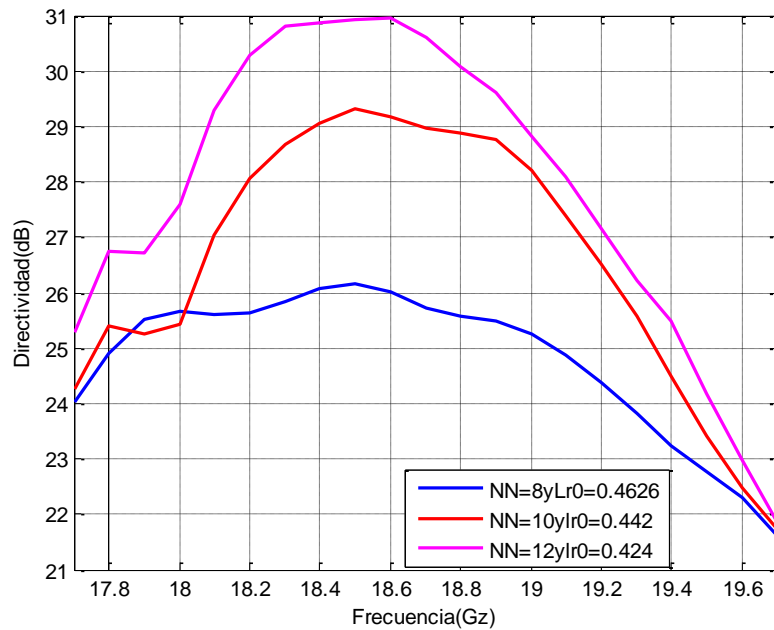
Tabla 4.13 Desfase aplicado

➤ **Análisis Banda de trabajo [17.7-19.7]GHz.**

En esta sección vamos a analizar el comportamiento de la antena para la banda de frecuencias en la cual la antena va a tener que ofrecer el servicio. En este caso como aparece en la tabla 4.13 el desapuntamiento para las tres antenas va a ser de 15°, quedando de este modo correctamente adaptadas.



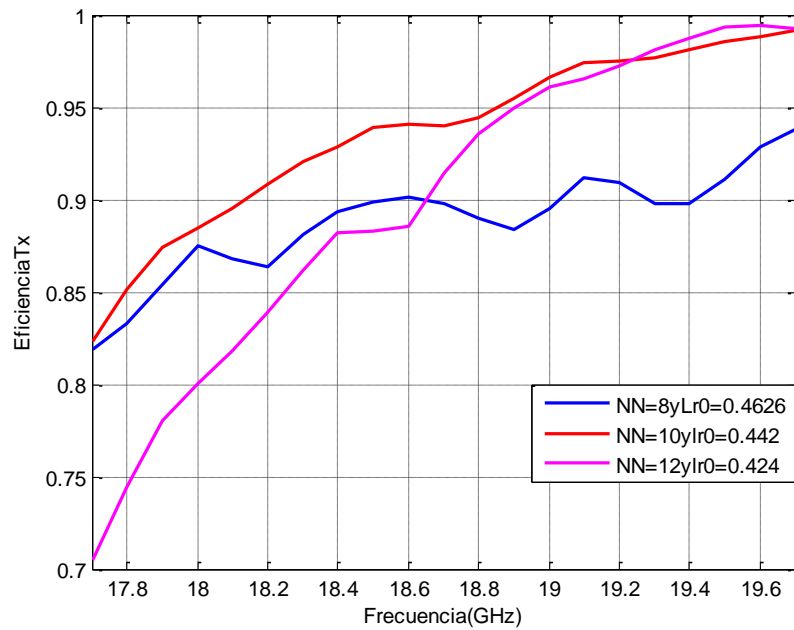
Gráfica 4.51 Coeficiente de reflexión



Gráfica 4.52 Directividad

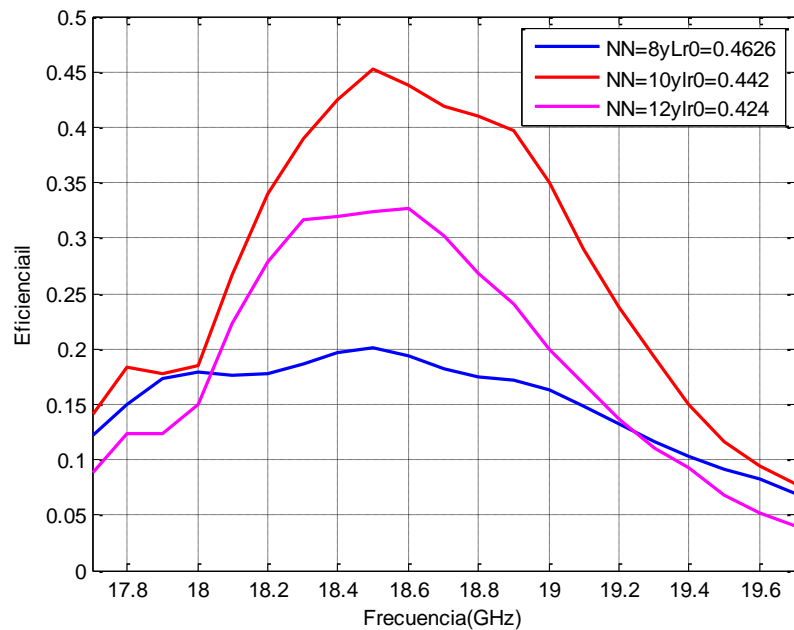
Cuando exigimos una eficiencia de un 95% es cuando se obtiene el máximo de directividad, siendo éste 31dB y lo presenta la antena de 12 anillos.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

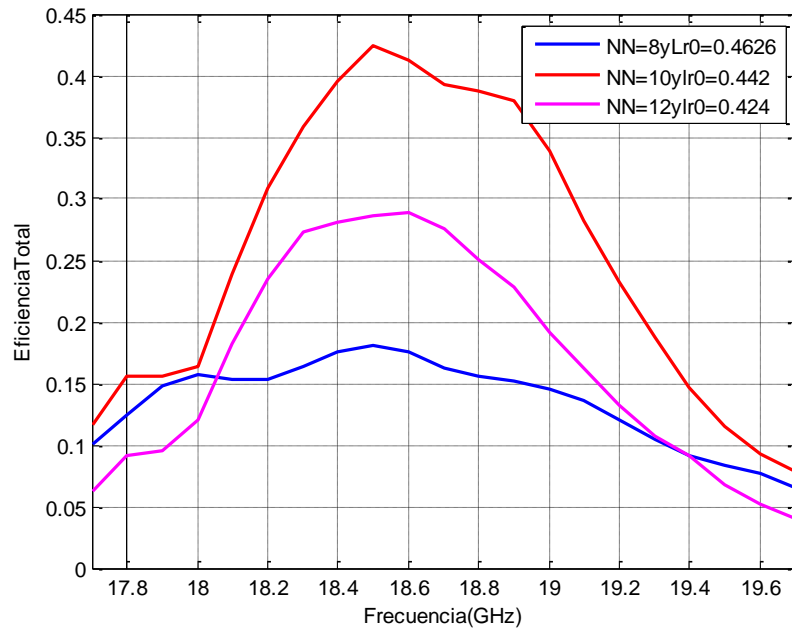


Gráfica 4.53 Eficiencia de transmisión

Como podemos comprobar en la gráfica anterior para conseguir una buena eficiencia, la antena cuantas menos ranuras tenga mejor, pero siempre hay un límite que en nuestro caso sería de 10 ranuras.



Gráfica 4.54 Eficiencia de iluminación



Gráfica 4.55 Eficiencia total

Por último destacar que la antena de 10 anillos no nos interesa porque la antena no está adaptada, presenta un S11 superior a 20dB. De las dos antenas restantes escogeremos la de 12 anillos ya que por su área permite alcanzar directividades muy elevadas a la frecuencia de 18.7GHz como son unos 31dB. También observamos que la antena de 12 anillos cumple el requisito de ofrecer 95% de eficiencia de transmisión en la frecuencia central.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Capítulo 5

RESULTADOS DEL DISEÑO

Por último vamos a presentar una recopilación de todos los valores de los parámetros de las distintas antenas obtenidos en el capítulo 4 en distintas tablas.

5.1.- Antes y después de optimizar.

En la primera tabla recogemos los parámetros de las antenas con una eficiencia de radiación del 85% sin modificar la posición de las ranuras:

	Lr0(cm)	θ_t	S11(dB)	D(dB)	G(dB)	Eftx(%)	Efil(%)	EfT(%)
NN=8	0.457	10°	-23.32	23.13	22.4	84.49	11.85	10.01
NN=10	0.4357	10°	-22.5	24.7	23.96	84.51	11.24	9.49
NN=12	0.419	8°	-24.84	25.63	24.93	84.96	9.89	8.4

Tabla 5.1: Parámetros antenas optimizadas ($f_c=18.7\text{GHz}$; $ef=85\%$)

Podemos comprobar que la mejor eficiencia total se consigue con 8 anillos, aunque son valores muy bajos para ser considerados como buenos. Por lo tanto, los diseños que no modifican la posición original de las ranuras no pueden ser considerados como válidos.

Por otro lado vamos a modificar la posición de las ranuras para poder mejorar la eficiencia de transmisión sin tener que aumentar la potencia de entrada (W_{in}).

	Lr0(cm)	θ_t	S11(dB)	D(dB)	G(dB)	Eftx(%)	Efil(%)	EfT(%)
NN=8	0.4536	15°	-18.85	27.29	26.32	79.93	41.92	33.5
NN=10	0.4332	15°	-23.92	29.08	28.27	83.01	41.4	34.36
NN=12	0.4178	15°	-36.9	30.65	29.89	83.82	42.19	35.36

Tabla 5.2: Parámetros antenas optimizadas ($f_c=18.7\text{GHz}$; $ef=85\%$)

	Lr0(cm)	θ_t	S11(dB)	D(dB)	G(dB)	Eftx(%)	Efil(%)	EfT(%)
NN=8	0.4568	14°	-17.7	26.77	26.16	86.83	37.2	32.3
NN=10	0.437	7°	-23.92	28.85	28.3	88.06	39.44	34.73
NN=12	0.421	7°	-28.86	30.33	29.8	88.43	39.29	34.74

Tabla 5.3: Parámetros antenas sin optimizar ($f_c=18.7\text{GHz}$; $ef=90\%$)

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

	Lr0(cm)	θ_t	S11(dB)	D(dB)	G(dB)	Eftx(%)	Efil(%)	Efr(%)
NN=8	0.4626	14°	-21.93	25.73	25.26	89.74	18.15	16.29
NN=10	0.442	15°	-19.55	28.54	28.29	93.98	41.86	39.34
NN=12	0.424	13°	-23.69	30.62	30.23	91.47	30.2	27.62

Tabla5.4: Parámetros antenas optimizadas ($f_c=18.7GHz$; $ef=95\%$)

Si comparamos cualquier tabla de antenas anteriores con las posición de las ranuras modificadas con la tabla de ranuras sin variar su posición observamos que mientras en la tabla 5.1 la eficiencia total máxima es de 10.01%, en la misma antena pero modificando la posición de la ranura [tabla5.2] observamos que la eficiencia total es de 33.5%.

Como curiosidad si observamos los valores obtenidos con cualquiera de estas antenas, observamos que la directividad en este caso es alrededor de 5dB superior a la que pueda alcanzar en cualquier reflector convencional en el mejor de los casos.

5.2.- Según la longitud de las ranuras.

Hemos creído conveniente destacar qué antena ofrece una eficiencia total máxima dependiendo del número de anillos que contenga dicha antena, siendo la antena más pequeña de 8 anillos:

Para una antena de 8 anillos

En este caso de las tres antenas de 8 anillos la que mejor valores de eficiencia total presenta es la antena con $Lr0=0.4536\text{cm}$. Además, la ganancia y la directividad es la máxima de entre las tres antenas del mismo número de anillos.

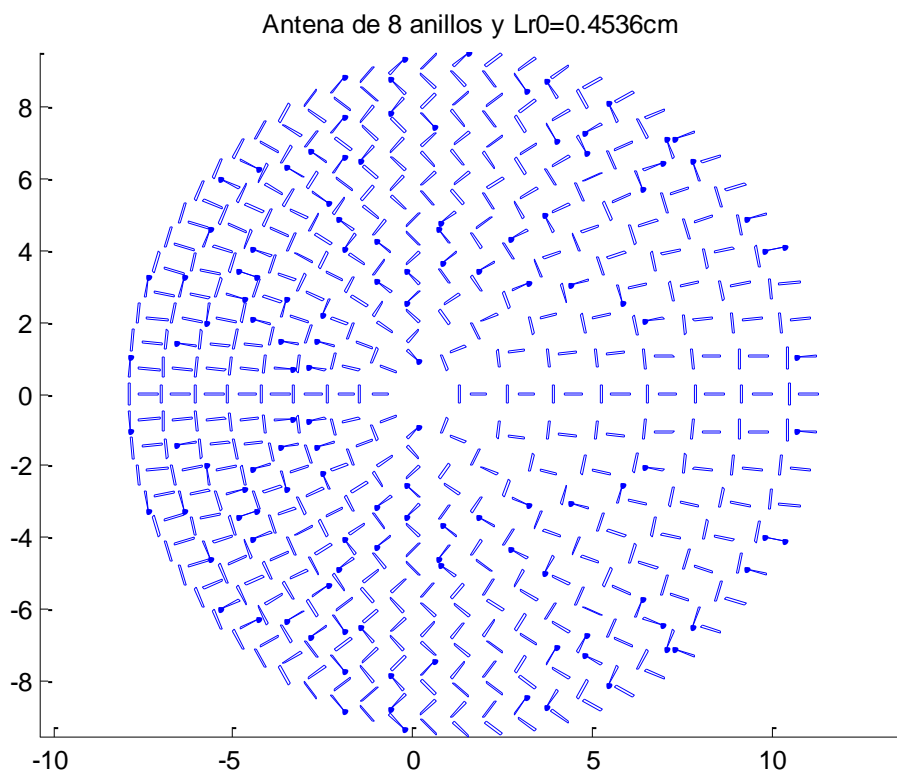


Figura5.1 Antena de 8 anillos con la eficiencia total óptima.

Para una antena de 10 anillos

En el segundo caso, si exigimos que la antena alcance una eficiencia de transmisión del 95%, comprobamos en la tabla 5.3 que la antena que nos interesaría utilizar sería la de 12 anillos ya que presenta una eficiencia total máxima de 34.74%.

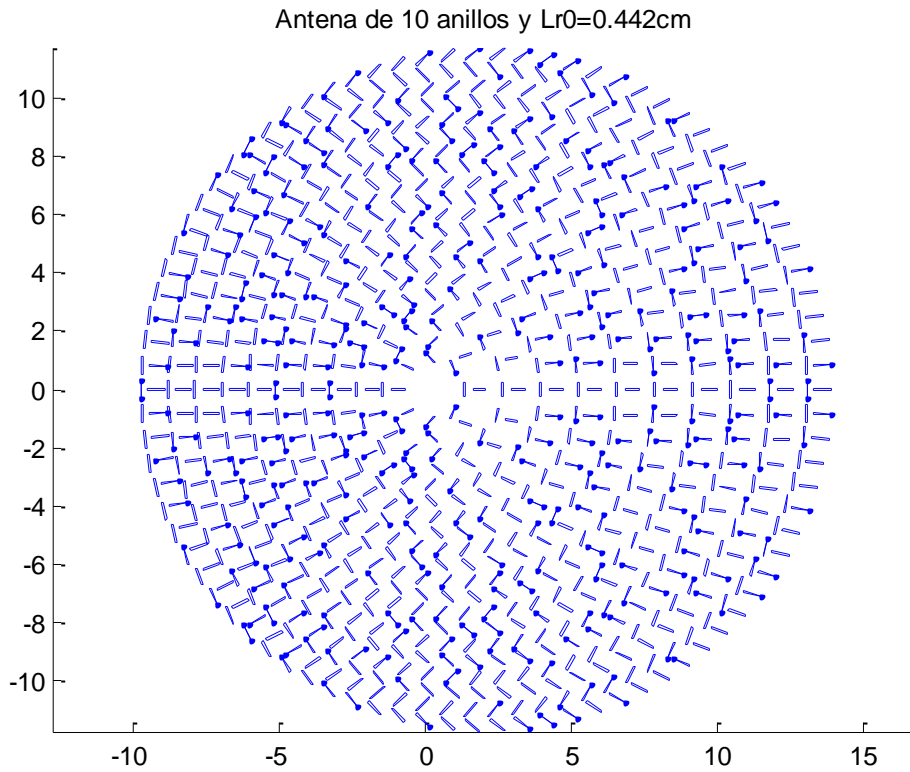


Figura 5.2 Antena de 12 anillos con la eficiencia total óptima.

Para una antena de 12 anillos

En este último caso, cuando se exige una eficiencia de transmisión de 80%, la antena que presenta mejor comportamiento es la de 12 anillos. Las ventajas que presenta esta antena es que pese a tener prácticamente la misma eficiencia de transmisión que la mejor antena de 8 anillos, al tener mayor área geométrica presenta la mayor directividad y ganancia de las tres antenas elegidas como mejores cada una según el número de anillos.

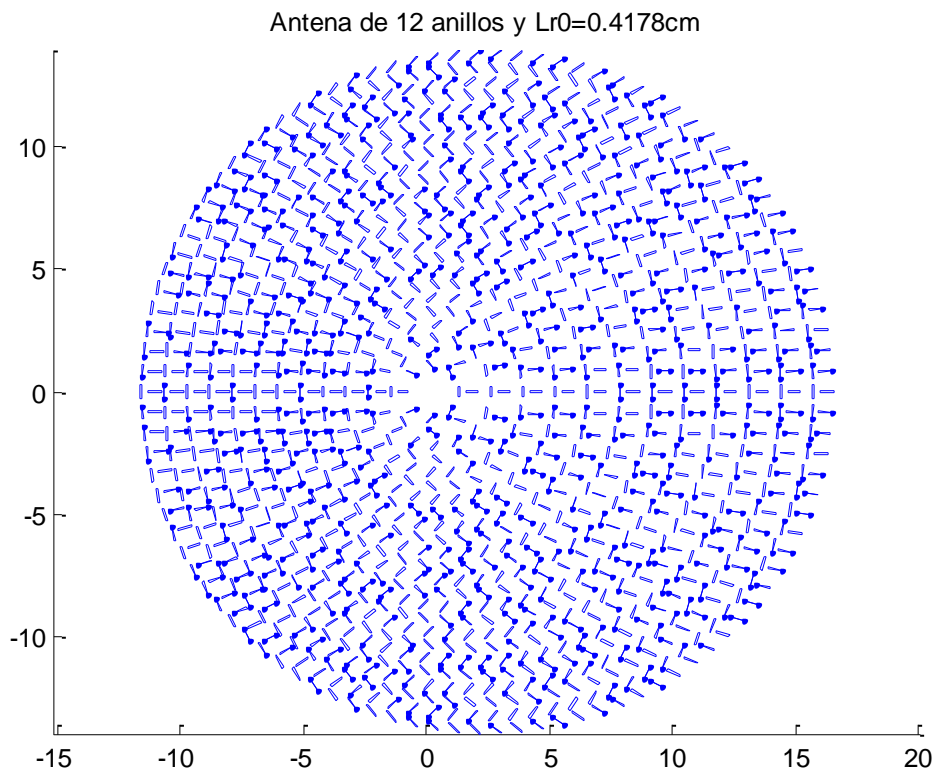


Figura 5.3 Antena de 12 anillos con la eficiencia total óptima.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Por último vamos a representar gráficamente los parámetros más significativos de una antena como son el coeficiente de reflexión y la ganancia, pero tan solo para las tres antenas que presenten mejor eficiencia de transmisión, según el número de anillos:

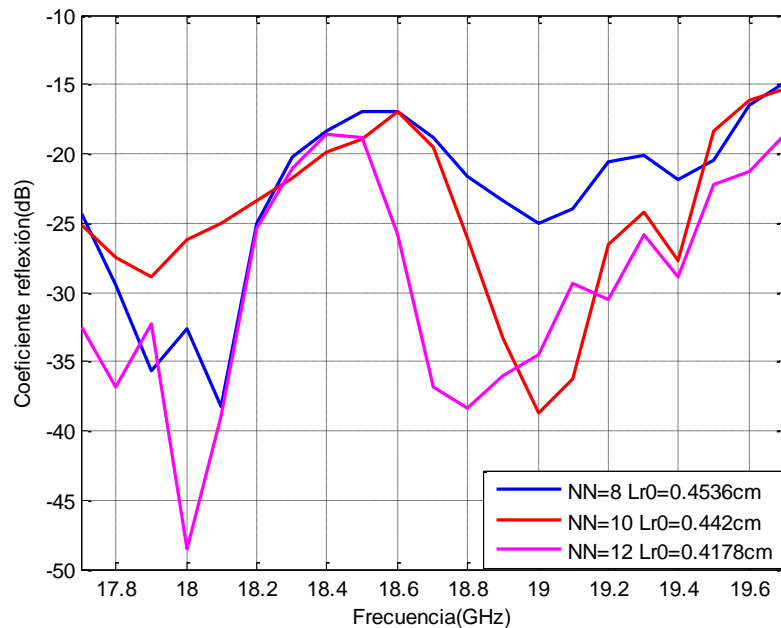


Figura5.4 Coeficiente de reflexión mejores antenas.

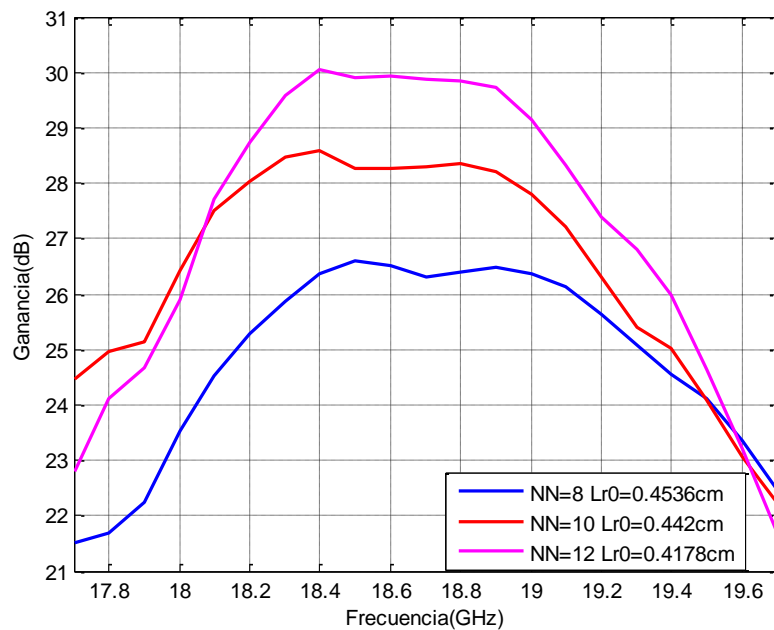


Figura5.5 Ganancia mejores antenas.

Si comparamos las gráficas 5.4 y 5.5 detenidamente concluimos que si hubiésemos de optar entre una antena de las tres disponibles nos decantaríamos por la antena de 12 anillos con longitud de ranura $Lr0=0.4178\text{cm}$ ya que presenta un valor máximo de ganancia para la frecuencia central de trabajo. Pero por lo general la elección de una antena u otra dependerá de los objetivos del enlace a crear y de las aplicaciones a las que se vaya a dar soporte.

Capítulo 6

APLICACIONES

Es indudable el crecimiento de la demanda de usuarios para tener, simultáneamente, en sus unidades, múltiples servicios, tales como voz, audio, video y especialmente datos a alta velocidad para, por ejemplo, el tráfico de Internet y comercio electrónico. Una de las alternativas más rápidas y económicas para la conquista de este objetivo son los sistemas inalámbricos de banda ancha, conocidos como sistemas BWS (Broadband Wireless Systems) detallados en el libro “The Promise of Broadband Wireless” [9].

Diversos sistemas BWS se han implementado o están en desarrollo actualmente. La gran mayoría de estos sistemas operan en las bandas de frecuencia ISM (Industrial, Scientific and Medical) de 2,4 GHz y 5 GHz y en las bandas de frecuencia UNII (Unlicensed National Information Infrastructure) de 5 GHz. Sin embargo, unos de los sistemas BWS más atractivos, son los Sistemas LMDS (Local Multipoint Distribution Systems), que opera en la banda de 28 GHz.

Las consideraciones de propagación en frecuencias superiores a 10 GHz son drásticamente diferentes a las condiciones en frecuencias menores. Estas diferencias repercuten de forma directa en las estrategias de planificación de los sistemas inalámbricos que operan en frecuencias superiores a 10 GHz.

Sistema de acceso IP inalámbrico

Sistema de comunicaciones conocido como BWA (Broadcast Wireless Access) que presenta una topología punto-multipunto y opera en la banda de los 18 GHz. Esta aplicación permite ofrecer a sus abonados altas velocidades con una tasa de transmisión de hasta 80Mbps.

WIPAS permite ofrecer el servicio de Internet en aquellas zonas que por la situación geográfica o por el escaso número de abonados no compensa cablear la zona ya que supondría un coste elevado. De este modo se consigue prácticamente que la distancia de los abonados a la antena base sea independiente del ancho de banda.

Con licencia en la banda de los 18GHz para los operadores de Telecomunicaciones permite un servicio de mayor capacidad y evitar la posible interferencia de co-sistemas ya existentes que se encuentran a menudo en las bandas sin licencia.

El sistema está pensado para implantarse en aquellas zonas donde el cableado de ADSL o FTTH (Fiber To The Home) tiene algunas dificultades en su implementación.

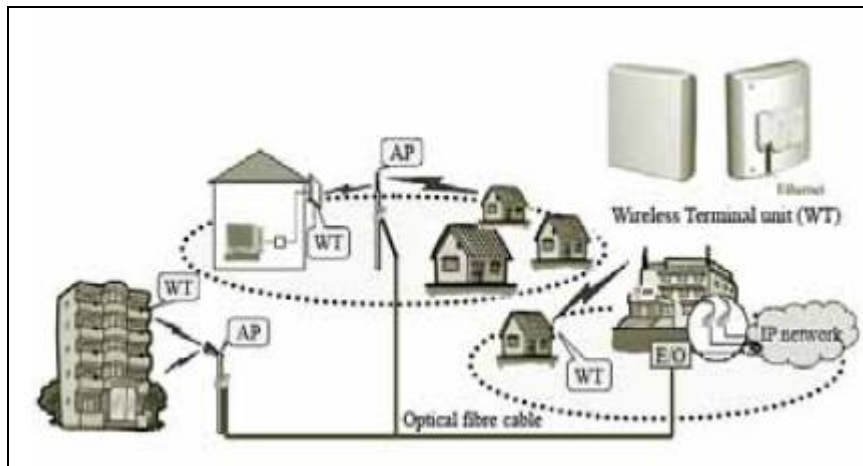


Figura6.1 Configuración típica del sistema de acceso IP inalámbrico.

Funcionamiento:

- Las velocidades inalámbricas de transmisión 80Mbps/40Mbps es posible gracias al ancho de banda de 30MHz que presenta la frecuencia RF de 18GHz.
- La velocidad de transmisión depende en gran parte de la modulación de señal empleada (16QAM/QPSK). Este parámetro es elegido por los abonados en función de lo lejos que estén de la estación base y de las condiciones meteorológicas.
- La información que recibe el abonado del punto de acceso está encriptada utilizando unos algoritmos de seguridad bastante fiables.
- The Operation System (OpS) permiten la instalación y registro de los abonados y la supervisión de los estados válidos en que puedan estar los abonados.

A continuación se muestran los elementos que componen una red de acceso IP inalámbrico.

Punto de acceso



- Se suele emplear una antena omnidireccional (360°) en zonas donde predominen las casas independientes y una antena bocina para zonas muy pobladas.
- Interfaces: Óptica (100BASE-FX) o eléctrica (100BASE-TX).
- Un punto de acceso (AP) es capaz de dar servicio a más de 239 abonados.

Figura6.2 Punto de acceso

Equipo terminal



- Está formado por la antena plana ranurada y los circuitos eléctricos.
- Antena de dimensiones reducidas (19cm x 19cm x 6cm) y de fácil instalación.
- Equipo terminal se conecta al PC a través del cable ETHERNET y se conecta a la red eléctrica a través de un adaptador de

Figura6.3 Equipo terminal

Gireless Bypass

Conexión punto-multipunto para servicio de datos en redes de cable. Esta tecnología opera en la banda libre de 18GHz para ambos enlaces, el ascendente y el descendente. La compañía también cuenta con productos en la banda de 15GHz y 23GHz y ofrece diversas tasas de transferencia según el tipo de modulación empleado (PSK, FSK, QAM) y el rango de cobertura varía sustancialmente dependiendo del tipo de antena usado. El máximo desempeño se logra con una antena sectorizada a 90° para cubrir entre 1.6 y 3.2Km.

El servicio conocido con “Gíreles Bypass” ofrece conexiones de datos inalámbricas de banda ancha desde un punto de acceso por cable a casa del cliente.

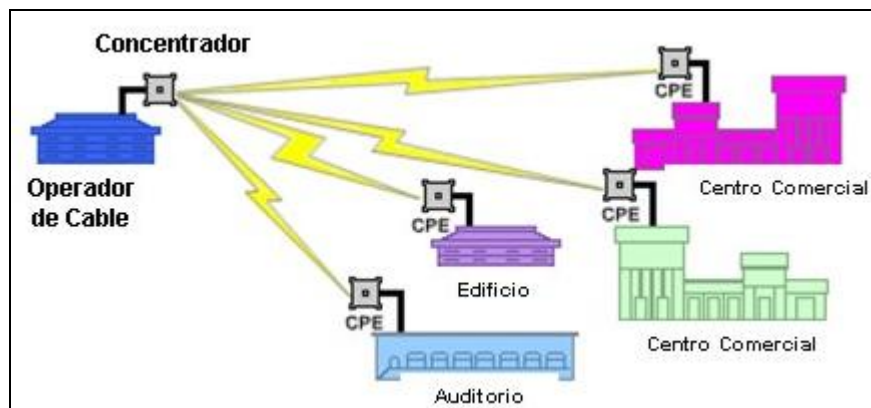


Figura6.4 Gireless Bypass.

La arquitectura de *Wireless Bypass* utiliza dos nuevos componentes de red: el *concentrador/radio* transceptor y la *unidad de radio* para el abonado. El concentrador (DL-5800) se monta en un poste para aplicaciones punto a punto; la unidad de abonado consta a su vez de dos piezas: la unidad de radio transceptor (DL-2300 dúplex) y una de las seis antenas disponibles para colocar en el techo de la casa.

Como se muestra en la Figura 6.4, la diferencia con tecnología Arcwave es que un solo radio de suscriptor (CPE) soporta diversos cablemódems a través de cable coaxial estándar en aplicaciones con múltiples usuarios distribuidos.

Las antenas de microondas se utilizan ampliamente en los sistemas de comunicaciones por satélite, la televisión y de alta velocidad de transmisión de datos debido a su gran ancho de banda. Entre la variedad de antenas de microondas empleadas para los radioenlaces por satélite son las antenas de plato parabólico.

TrangoLINK Giga

El Giga de TrangoLink es un sistema licenciado de microondas digital full duplex que opera en bandas de 6GHz y 18 GHz entregando hasta 600+ Mbps (300+ Mbps full duplex). Emplea la topología de transmisión punto a punto [figura 6.5]. Está diseñado para aplicaciones de gran capacidad para operadores ISPs y usos corporativos empresariales; asimismo para aplicaciones públicas de celulares y Wimax.

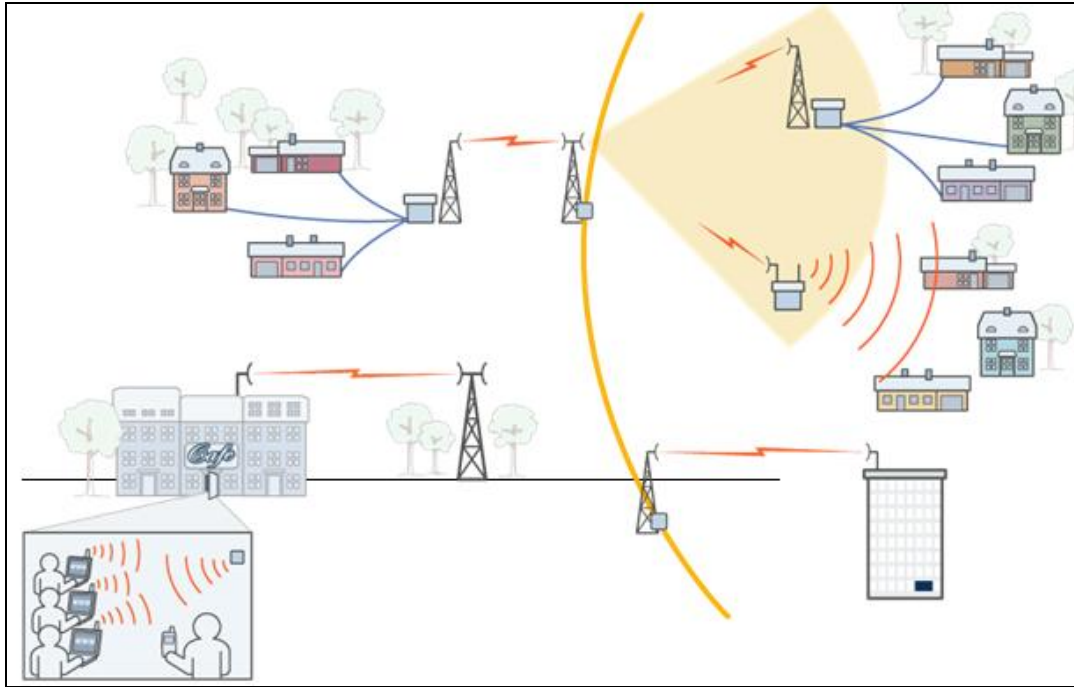


Figura 6.5 Red de distribución

Posee una latencia muy baja: <150useg, puertos GigE, 8 puertos E1/T1 configurables, ideal para tráfico de información mixta; tanto IP como para el tradicional E1/T1, opciones altamente flexibles de administración de ancho de banda y modulación para lograr eficiencia espectral. Cuenta con características automáticas de inserción/reducción de puertos E1/T1, priorización (VLAN) y calidad de servicio (QoS).

Cada TrangoLINK Giga consta de dos unidades interiores (IDU) y dos exteriores (ODU). La ODU se adhiere fácilmente a una antena externa para lograr enlaces de larga distancia.

El sistema TrangoLINK Giga® es diseñado para dotar a la red de las siguientes características:

- Más de 600+ Mbps (300+ Mbps full duplex)
- Muy baja latencia / 150us
- Soporte de canales FCC/IC con ancho de banda de 10, 20, 30, 40, 50, y 80 MHz.
- Modulación flexible para aumentar la eficiencia espectral
- Fácil instalación
- Ocho puertos T1/E1 se añaden automáticamente para bajar el tráfico de datos cuando un abonado conecta o desconecta.
- Fácil actualización “throughput” con la compra de licencia.

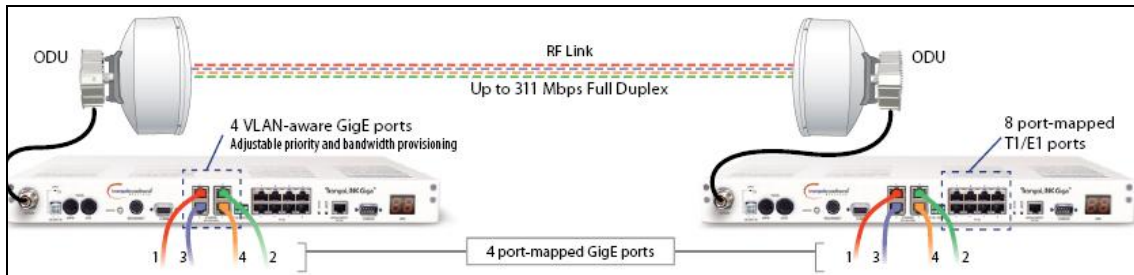


Figura6.5 Red de una aplicación Trango Link Giga.

El sistema TrangoLINK Giga® es diseñado para dotar a la red de alta capacidad inalámbrica para interconectar las redes más demandadas empleando tecnologías inalámbricas fijas o móviles como son: UMTS, 3G, 4G, WiMAX, Wi-Fi.

Con todas estas aplicaciones en las que podríamos emplear tanto para la emisión como la recepción de señal antenas RLSA en la banda de 18GHz, queremos fomentar el uso de la banda de 18GHz y además que tanto usuarios como empresas del sector de Telecomunicaciones se conciencien de la aparición de multitud de aplicaciones para las bandas altas. Aunque existen aplicaciones en la banda de 18GHz para ofrecer información sobre los efectos meteorológicos no los hemos expuesto debido a la escasa información que hay sobre dichas aplicaciones “innovadoras”.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

Capítulo 7

REFERENCIAS

.-Referencias

[1] LIM TIEN SZE, “*Linearly Polarised Radial Line Slot Array Antenna Radiation Pattern Modelling & Test-Bed Development for Direct Broadcast Satellite,*” Universiti Teknologi Malaysia.

[2] http://am.t.u-tokyo.ac.jp/index_e.html

[3] <http://kamome.lib.ynu.ac.jp/dspace/bitstream/10131/1305/1/A> Naohisa

[4] Ando M., Numata T., Takada J., Goto N. (1988) “*A linearly polarized radial line slot antenna.*” IEEE Transactions on antennas and propagation, Vol. 36. No. 12. 1675-1680

[5] Takada, J., Ando M. and Goto N. (1992). “A reflection cancelling slot set in a linearly polarized radial line slot antenna.” IEEE Transactions on Antennas and Propagation. Vol. 40. No. 4, 433-438.

[6] Takada, J., Ando M. and Goto N. (1989). “A Beam-Tilted Linearly Polarized Radial Line Slot Antenna.” Electronics and Communications in Japan, Part 1, Vol. 72, No. 11, 27-34.

[7] Davis, P.W. and Bialkowski, M.E. (1997). “Comparing Beam Squinting and Reflection Cancelling Slot Methods for Return Loss Improvement in RLSA Antennas.” Proceedings of The IEEE Antennas And Propagation Symposium (IEEE AP-S), 1938-1941, Montreal, Canada.

[8] C. A. Balanis, “Antenna Theory: Analysis and Design,” John Wiley & Sons, Nueva York, 1997.

[9] BIESECKER K.; “The Promise of Broadband Wireless”, IT Professional, Vol. 2, No. 6, p.p. 31-39, November/December 2000.

Además de las referencias nombradas anteriormente, hemos obtenido información adicional en los siguientes enlaces:

[1]K.C. Kelly (March 1957). “*Recent Annular Slot Array Experiments.*” IRE National convention Record. Vol 5, Part 1, 144-151.

[2]Antennas: for all applications Kraus, John D. Marhefka, Ronald J

[3] D.G. Berry. R. G. Malech, and W. A. Kennedy, “*The reflectarray antenna*” IEEE Trans. Antennas Propagat, Vol.1 AP-11. Nov, 1963, pp,645-651.

[4]N. Goto, M. Yamamoto (August 1980), “*Circularly Polarized Radial Line Slot Antennas.*”IEEE Informe técnico, AP 89-54, 43.

Diseño de una antena plana de alta ganancia para aplicaciones en la banda de frecuencias de 18GHz

[5] J. I. Herranz-Herruzo, A. Valero-Nogueira, M. Ferrando-Bataller, "Radial-Line Slot-Array Antenna Loaded with Parasitic Strips for Improved Performance," 2002 IEEE Antennas and Propagat. Int. Symp, vol. 4, Jun. 2003.

[6]http://www.tdtprofesional.com/secc_detalle_producto/?id_articulo=1359&id_categoria=9&home=true

[7] <http://www.winncom.com/moreinfo/item/WRHE2-180C/index.html>

[7] J.Hirowaka, M. Ando y N. Goto "An análisis of slot coupling in a radial linear slot antenna for DBS reception", Informe técnico Octubre 1990.

[8] PÉREZ GARCÍA N.A., SILVA MELLO L.A.R.; "Rain Attenuation Considerations in Broadband Wireless Systems Operating at Frequencies Above 10 GHz", Proceedings of the Third IEEE International Conference on Mobile and Wireless Communications Networks (MWCN 2001), pp. 99-102, August 2001, Recife, Brazil.