

UNIVERSIDAD MIGUEL HERNÁNDEZ DE ELCHE

ESCUELA POLITÉCNICA SUPERIOR DE ELCHE

GRADO EN INGENIERÍA DE TECNOLOGÍAS DE
TELECOMUNICACIÓN



"DISEÑO, FABRICACIÓN E
IMPLEMENTACIÓN DE UN INHIBIDOR
DE FRECUENCIA MULTIBANDA"

TRABAJO FIN DE GRADO

Septiembre
2020

AUTOR: Lino Pina Pellín

DIRECTOR/ES: Germán Torregrosa Penalva

ÍNDICE

INTRODUCCIÓN	4
1. Generalidades de la Inhibición de Comunicaciones	5
1.1. Desarrollo Histórico	5
1.2. Inhibición de Señales de Comunicación	6
1.2.1. Técnica de Bloqueo por Ruido	7
1.2.2. Técnica de Bloqueo por Tonos	8
1.2.3. Técnica de Bloqueo por Barrido	8
1.2.4. Técnica de Bloqueo por Pulsos.	9
1.2.5. Técnica de Bloqueo Seguidor	9
1.2.6. Técnica de Bloqueo Inteligente	9
1.3. Normativa	10
1.4. Bandas de Telefonía Comerciales	11
1.4.1. Banda 800	12
1.4.2. Banda 900	12
1.4.3. Banda 1500	13
1.4.4. Banda 1800	13
1.4.5. Banda 2100	13
1.4.6. Banda 2400	14
1.4.7. Banda 2600	14
2. Diseño e Implementación	15
2.1. Diagrama de Diseño	15
2.2. Material	16
2.2.1. Oscilador controlado por tensión (VCO)	16
2.2.2. Amplificadores	18
2.2.3. Sustrato FR-4	18
2.2.4. Atenuadores de señal RF	18
2.2.5. Conectores SMA	19
2.2.6. Otros	19
2.3. Equipos de laboratorio y <i>software</i>	19
2.3.1. Analizador Vectorial de Redes	19
2.3.2. Generador de funciones	20
2.3.3. Analizador de espectros	20
2.3.4. Advanced Design System (ADS)	21
2.3.5. 4NEC2	21

2.3.6. Nemo Outdoor	21
2.4. Caracterización de los componentes	22
2.4.1. VCOs.....	22
2.4.2. Amplificador.....	29
2.5. Diseño 1 ^{er} Prototipo	32
2.5.1. Antena PIFA	32
2.5.2. Diseño Antena PIFA	33
2.5.3. Fabricación.....	40
2.5.4. Prueba de Campo	48
2.5.5. Análisis de los resultados	51
2.5.6. Conclusiones de la Prueba	55
2.6. 2 ^o Prototipo	56
2.6.1. Antena Yagi.....	56
2.6.2. Diseño de Antena Yagi.....	57
2.6.3. Resultados	62
2.6.4. Fabricación.....	66
2.7. 3 ^{er} Prototipo.....	67
2.7.1. Antena LPDA.....	68
2.7.2. Diseño Antena LPDA.....	68
2.7.3. Resultados	72
2.7.4. Fabricación.....	74
3. Conclusiones	75
ANEXOS.....	77
ANEXO 1: <i>Datasheets</i>	77
ANEXO 2: Normativa.....	93
ANEXO 3: Reparto del espectro por operadores a nivel europeo.....	98
Bibliografía	101

INTRODUCCIÓN

En la actualidad vivimos en un mundo interconectado en el que las comunicaciones han adquirido un papel esencial en nuestra vida cotidiana. El auge de las comunicaciones en los últimos años ha hecho posible que las personas sean capaces de comunicarse entre sí desde cualquier parte del planeta y de mantenerse informadas, en todo momento y en tiempo real, de todos los acontecimientos que suceden alrededor del mundo.

Este avance tecnológico se debe en gran parte al desarrollo y despliegue de redes de comunicaciones móviles dotadas de un gran ancho de banda y de tiempos de latencia cada vez más reducidos. Gracias a éstas, las personas pueden navegar por internet a altas velocidades desde sus dispositivos móviles y desde cualquier sitio, sin la necesidad de estar conectadas a un punto de acceso a la red fijo.

A pesar de todos los beneficios que aportan a la sociedad, un uso indebido o malintencionado de estas tecnologías puede resultar perjudicial e incluso dañino para la seguridad e integridad de las personas. Es por este motivo que surge la necesidad de disponer de dispositivos que sean capaces de interferir y, de ser necesario, neutralizar aquellas señales o comunicaciones que puedan ser empleadas con fines ilícitos.

Estos dispositivos reciben el nombre de inhibidores o bloqueadores de señal, y su función es la de generar señales de radio de gran potencia, en las mismas frecuencias que se emplean para las comunicaciones móviles, con el objetivo de interferir el enlace e impedir cualquier tipo de comunicación.

Este proyecto consistirá en el diseño, fabricación e implementación de uno de estos sistemas o dispositivos inhibidor capaz de interferir las comunicaciones móviles correspondientes a las bandas de 800, 900, 1800, 2100, 2400 y 2600 MHz, las cuales engloban las comunicaciones GSM, UMTS-3G, LTE-4G y WiFi. La finalidad de este proyecto será la de ser capaz de interferir dichas comunicaciones en una sala de conferencias con unas dimensiones de 10x20 m².

1. GENERALIDADES DE LA INHIBICIÓN DE COMUNICACIONES

1.1. Desarrollo Histórico

Con la invención del telégrafo en 1847 y, posteriormente, del teléfono, unos años más tarde, se iniciaron las primeras comunicaciones a larga distancia. Éstas supusieron un gran avance tecnológico ya que permitían la comunicación entre dos puntos distanciados, pero se encontraban limitadas debido a la necesidad de unir mediante cableado ambos extremos, lo cual impedía las comunicaciones con islas y otros lugares de difícil acceso.

Estas limitaciones quedaron solventadas con la invención de la radio, que supuso el inicio de las comunicaciones inalámbricas. La transmisión de señales a través de ondas electromagnéticas permitía la comunicación entre dos puntos situados en cualquier parte del planeta, sin necesidad de establecer un enlace físico entre ambos. Esta invención dio lugar al auge de las comunicaciones globales, que se extendieron a lo largo de los años siguientes.

Durante la Segunda Guerra Mundial, las comunicaciones inalámbricas jugaron un papel crucial pues permitían a los diferentes países comunicarse y coordinar a sus tropas que se encontraban movilizadas a lo largo del planeta. Este hecho dio lugar a la necesidad de desarrollar sistemas electrónicos capaces de interferir y neutralizar las comunicaciones enemigas, para obtener así una ventaja táctica sobre el enemigo que permitiera la victoria.

Esto llevó a los diferentes países a disponer de operadores de radio terrestres que interceptaban las comunicaciones enemigas y transmitían de vuelta instrucciones falsas en sus propios lenguajes para confundir a sus tropas y tenderles trampas. Esta técnica fue empleada especialmente para confundir a aviones y embarcaciones.

Los alemanes fueron pioneros en la implementación de este estilo de guerra electrónica, dotando a sus submarinos de equipos que permitían detectar a los sistemas de radar británicos, presentes tanto en las costas como en sus embarcaciones, para poder así evitarlos y planear sus siguientes estrategias. Del mismo modo, interferían las comunicaciones de las embarcaciones enemigas y

las conducían hacia emboscadas. Esto dotó a la marina alemana de una gran superioridad táctica, especialmente durante los primeros años de la guerra.

Tras mostrar su valía durante la Segunda Guerra Mundial, los sistemas inhibidores fueron siendo mejorados a lo largo de las décadas siguientes y su uso se ha mantenido hasta la actualidad.

Durante la Guerra Fría, los sistemas inhibidores empezaron a usarse principalmente para interferir con las señales de radar de aviones de combate y misiles enemigos. Adicionalmente, algunos países como la Unión Soviética los usaron para atacar a diferentes organismos de radiodifusión que se encontraban en los países enemigos de su alrededor.

En la actualidad, su uso sigue centrado en el ámbito de la guerra electrónica, con la finalidad de interferir las comunicaciones y los sistemas de armamento a control remoto del bando enemigo. No obstante, algunos países como Corea del Norte, la India o China, los emplean también en sus fronteras para impedir que lleguen a sus países señales desde el exterior.



Figura 1. Estación inhibidora móvil rusa Krasukha 4. [1]

1.2. Inhibición de Señales de Comunicación

Un inhibidor de señal o *Jammer* es un dispositivo de radiofrecuencia capaz de producir perturbaciones a lo largo de una banda de frecuencia específica con

el objetivo de bloquear, interferir o saturar cualquier equipo electrónico que requiera del uso efectivo de dicho espectro radioeléctrico.

Debido a su capacidad de interferir señales inalámbricas, su principal uso se encuentra en la interrupción de sistemas de telefonía y comunicaciones móviles tales como llamadas, mensajes de texto o SMS, servicios de posicionamiento GPS, WiFi, etc.

Estos sistemas suelen estar integrados, en su versión más básica, por un generador de señal, encargado de producir señales de ruido; un oscilador de frecuencia, que permita escalar la señal de ruido a una o múltiples frecuencias deseadas; una o varias etapas de amplificación, que permitan dotar a la señal de suficiente potencia como para interferir las comunicaciones; y una antena, para transmitir dichas señales.

Una vez que la señal de ruido ha sido generada y transmitida, ésta se encargará de interrumpir, en el caso de las comunicaciones celulares, por ejemplo, la comunicación entre el terminal móvil y la estación base. La interrupción del servicio se producirá cuando la relación entre la señal útil y el ruido presente en el canal sea lo suficientemente baja como para que la red no sea capaz de establecer o mantener una comunicación estable.

En la actualidad existen diferentes técnicas o estrategias para la inhibición de sistemas inalámbricos. Estas técnicas comparten entre sí bastantes similitudes en cuanto al funcionamiento, aunque difieren en la manera o el tipo de señal de ruido que se genera. Las principales estrategias son las siguientes:

1.2.1. Técnica de Bloqueo por Ruido

Esta técnica es comúnmente empleada por la mayoría de los sistemas de inhibición. Su funcionamiento es muy sencillo: el sistema emite una portadora, la cual es modulada por una señal de ruido Gaussiano. Dicho ruido puede ocupar todo el ancho de banda o únicamente una parte de él. Dependiendo del tamaño del espectro que ocupe, puede ser clasificado como bloqueo por ruido de banda ancha, bloqueo por ruido de banda parcial, o bloqueo por ruido de banda estrecha.

- **Bloqueo por ruido de banda ancha:** éste consiste en transmitir una señal de ruido a lo largo de todo el ancho de banda empleado por el sistema de comunicaciones objetivo. Suele ser conocido como bloqueo de banda completa o bloqueo de barrera. Esta estrategia es altamente disruptiva, por lo que suelen emplearse antenas muy directivas que permitan delimitar el rango de acción únicamente alrededor del objetivo.
- **Bloqueo por ruido de banda parcial:** esta técnica consiste en situar las señales de ruido en múltiples canales a lo largo del espectro, pero no en todos. Estos canales pueden ser o no contiguos.
- **Bloqueo por ruido de banda estrecha:** en este método, toda la energía de la señal interferente se sitúa en un único canal con un ancho de banda muy reducido. La eficiencia de ruido que se obtiene es mucho mayor que en el bloqueo de ruido por banda ancha.

1.2.2. Técnica de Bloqueo por Tonos

Esta estrategia se basa en la colocación de uno o más tonos interferentes en diferentes puntos estratégicos a lo largo del espectro. Su localización y su número determinan la eficiencia y el comportamiento de la señal interferente, por lo que se requiere de un estudio previo de la señal objetivo. Además, la fase de los tonos juega un papel crucial, ya que determina la capacidad de interferir en la transmisión de los símbolos.

1.2.3. Técnica de Bloqueo por Barrido

Esta técnica parte de un concepto similar al del bloqueo por ruido de banda ancha o de banda parcial. Se parte de una señal de ruido de determinado ancho de banda, generalmente estrecho, y se realiza con ésta un barrido en el tiempo a lo largo de todo el ancho de banda de interés.

En cada instante de tiempo, la señal actúa sobre una única porción del espectro, por lo que únicamente interfiere con las señales que se encuentren a

esa frecuencia o en frecuencias cercanas. Por este motivo, es necesario que el barrido se realice a una velocidad lo suficientemente alta como para evitar que el sistema objetivo sea capaz de reestablecer la comunicación tras cada barrido.

La principal ventaja de esta estrategia es que permite cubrir todo o una gran parte del espectro, que no tiene que ser necesariamente consecutivo, con una señal con un ancho de banda reducido.

1.2.4. Técnica de Bloqueo por Pulsos.

El bloqueo por pulsos posee un funcionamiento parecido al del bloqueo por ruido de banda parcial. No obstante, el factor que marca la diferencia entre ambos es el tiempo. En esta técnica, la señal de ruido, de ancho de banda limitado, se transmite únicamente durante un período de tiempo concreto, el cual se repite de manera periódica a lo largo del tiempo. Al igual que ocurre con el bloqueo por barrido, deberá tenerse en cuenta cuál es el tiempo que necesitará el sistema objetivo para restablecer las comunicaciones.

Su principal ventaja es el ahorro considerable de potencia que se produce como consecuencia de la transmisión intermitente.

1.2.5. Técnica de Bloqueo Seguidor

En esta estrategia, el sistema inhibidor cuenta con la capacidad de rastrear y localizar la frecuencia de salto a la cual conmutará el transmisor objetivo en el siguiente intervalo. De este modo, se transmitirá una señal interferente en cada frecuencia en la que se encuentre en ese instante la señal objetivo. Esta técnica requiere de una gran complejidad, por lo que su uso se centra generalmente en el ámbito militar.

1.2.6. Técnica de Bloqueo Inteligente

Esta técnica de bloqueo es una de las más avanzadas, ya que en ésta el sistema inhibidor cuenta con la capacidad de detectar e interferir únicamente las porciones de señales digitales que sean necesarias para la denegación de las

comunicaciones. Para ello, estos sistemas consiguen sincronizarse con el sistema objetivo. Al igual que con el bloqueo seguidor, su uso suele estar delimitado al ámbito militar.

Después de analizar las principales técnicas de bloqueo que se emplean hoy en día, se ha decidido implementar en este proyecto la técnica de bloqueo por ruido de banda parcial, debido a su simplicidad y a que las bandas de telefonía que se pretende interferir, se encuentran en unas frecuencias fijas y conocidas, y su ancho de banda es bastante limitado.

1.3. Normativa

En la actualidad, el uso de inhibidores de frecuencia se encuentra restringido, de manera que su uso queda limitado únicamente a las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad del Estado y a las Administraciones Públicas Autorizadas. Estos sistemas deberán emplearse únicamente con fines de seguridad. Cualquier otro uso no autorizado se considerará ilegal y podrá ser objeto de sanción.

En España, la Ley General de Telecomunicaciones es la que regula las sanciones que se podrán imponer en caso de un uso no autorizado o inapropiado. Si la infracción cometida se considera de carácter muy grave, las sanciones podrán oscilar entre los 500.000 € y los 20 millones de euros.

Al igual que en España, el uso de sistemas de inhibición o bloqueo de señales se encuentra total o parcialmente restringido en la mayoría de países del mundo. A continuación, se resume su situación actual en algunos de estos países:

País	Situación
Alemania	Ilegal. Se autoriza su uso en centros penitenciarios.
Australia	Ilegal.
Bélgica	Ilegal.

Canadá	llegal.
Dinamarca	llegal.
Estados Unidos	llegal. Conlleva penas de prisión.
Francia	Autorizado para uso en teatros y otros lugares, además de centros penitenciarios.
Japón	Autorizados dispositivos de corto alcance.
Reino Unido	llegal
Pakistán	Autorizado para uso en centros bancarios.

Tabla 1. Situación legal de dispositivos inhibidores en algunos países.

En consecuencia con el actual estado de legalidad de estos equipos, es necesario recalcar que su uso a lo largo de este proyecto se limitará únicamente al ámbito académico, y siempre en entornos cerrados y controlados dentro de los laboratorios de la universidad; sin posibilidad de que exista perjuicio a terceros.

1.4. Bandas de Telefonía Comerciales

En la actualidad, el Cuadro de Atribución de Frecuencias, también conocido como CNAF, es la pieza básica del ordenamiento del espectro en España. En éste se reflejan todas las atribuciones o usos para las que se reservan cada una de las bandas frecuenciales en las que se divide el espectro radioeléctrico, para comunicaciones situadas entre los 8.3 kHz y los 3000 GHz.

Este instrumento depende del Ministerio de Industria, Energía y Turismo de España, y fue publicado por primera vez en 1990. No obstante, debido a su carácter técnico y regulador, este documento se encuentra sujeto a continuas actualizaciones. Estas modificaciones son resultado de las resoluciones tomadas por diferentes organismos reguladores internacionales como la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones

(CEPT) y el Instituto Europeo de Normas de Telecomunicación (ETSI), entre otros.

La última versión del CNAF fue publicada en el Boletín Oficial del Estado (BOE) en octubre de 2017, y fue modificada en abril de 2018. Las atribuciones de frecuencias destinadas a usos de telefonía móvil comerciales en España se muestran a continuación:

1.4.1. Banda 800

Esta banda abarca desde los 790 MHz hasta los 862 MHz. Anteriormente empleada para servicios de radiodifusión de televisión, en la actualidad se utiliza para comunicaciones LTE-4G. Suele ser conocida como banda 20.

LTE Banda 20		
Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
791-821 MHz	30 MHz	Bajada
832-862 MHz	30 MHz	Subida

Tabla 2. Características Banda LTE 20.

1.4.2. Banda 900

Fue empleada inicialmente para la red de telefonía GSM, aunque en la actualidad se utiliza para UMTS-3G y LTE-4G, especialmente, en entornos rurales.

LTE Banda 8		
Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
880-915 MHz	35 MHz	Subida
925-960 MHz	35 MHz	Bajada

Tabla 3. Características Banda LTE 8.

1.4.3. Banda 1500

Esta banda se empleaba anteriormente para la radiodifusión digital DAB. En la actualidad se usa en algunos lugares como refuerzo para LTE-4G. Se prevé su utilización en el futuro para comunicaciones 5G.

LTE Banda 32		
Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
1452-14921 MHz	40 MHz	Bajada

Tabla 4. Características Banda LTE 32.

1.4.4. Banda 1800

Inicialmente, esta banda fue utilizada para comunicaciones GSM, aunque en la actualidad también se emplea para LTE-4G.

LTE Banda 3		
Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
1710-1785 MHz	75 MHz	Subida
1805-1880 MHz	75 MHz	Bajada

Tabla 5. Características Banda LTE 3.

1.4.5. Banda 2100

Fundamentalmente empleada para telefonía UMTS-3G, aunque también para LTE-4G en algunos lugares.

LTE Bandas 33-34 y 1			
Tipo	Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
TDD	1900-1920 MHz	20 MHz	Compartido
	2010-2025 MHz	15 MHz	Reservado
FDD	1920-1980 MHz	60 MHz	Subida
	2110-2170 MHz	60 MHz	Bajada

Tabla 6. Características Bandas LTE 33-34 y 1.

1.4.6. Banda 2400

Esta banda se emplea generalmente para comunicaciones WiFi. El espectro empleado abarca entre 2400-2483 MHz.

1.4.7. Banda 2600

Se emplea para comunicaciones LTE-4G en lugares en los que la banda 1800 pueda llegar a saturarse.

LTE Bandas 7 y 38			
Tipo	Frecuencias	Ancho de banda	Tipo de Enlace
FDD	2500-2570 MHz	70 MHz	Subida
	2620-2690 MHz	70 MHz	Bajada
TDD	2570-2575 MHz	5 MHz	Sin asignar
	2575-2615 MHz	40 MHz	Compartido
	2615-2620 MHz	5 MHz	Sin asignar

Tabla 7. Características Bandas LTE 7 y 38.

A lo largo de este proyecto se buscará la capacidad de interferir en las bandas anteriores.

2. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

En este capítulo se detallarán los procesos de caracterización, diseño, fabricación, implementación y mediación del sistema inhibidor al completo. Para ello, se partirá de un diseño inicial que irá siendo mejorado sobre la marcha, y en función de los resultados obtenidos.

2.1. Diagrama de Diseño

Lo primero que se deberá tener en cuenta para el diseño del sistema inhibidor será el diagrama de bloques que conformarán el sistema. Tal y como se ha visto en la sección **Inhibición de Señales**, el sistema deberá estar compuesto necesariamente por un generador de ruido, un oscilador de frecuencia, una etapa de amplificación y una antena.

Dichos elementos deberán ser dispuestos tal y como se muestra en el siguiente diagrama:

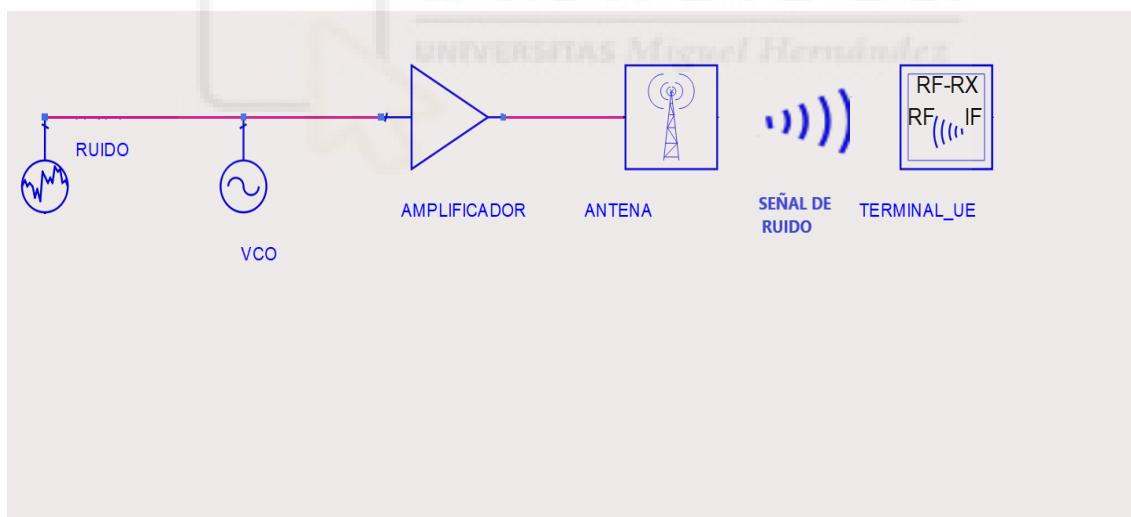


Figura 2. Diagrama de diseño del sistema inhibidor.

Los diferentes elementos del sistema pueden ser agrupados, dependiendo de su función, en los siguientes tres bloques:

- **Primer bloque:** éste será el bloque encargado de la generación de la señal de ruido. Para ello, se dispondrá de un generador de funciones capaz de generar una señal de ruido Gaussiano. A

continuación, la señal será conducida hasta un oscilador de frecuencia controlado por tensión o VCO, el cual se encargará de modular la señal de ruido a las frecuencias correspondientes a las bandas de interés.

- **Segundo bloque:** este bloque se encargará de la amplificación de la señal interferente que recibirá del primer bloque. Para ello, contará con un mínimo de un amplificador, aunque se considerará aumentar su número si fuera necesario.
- **Tercer bloque:** éste será el último de los bloques y estará formado por una o varias antenas, las cuales serán capaces de cubrir todas las bandas de interés. Éstas se encargarán de recibir las señales de ruido, ya amplificadas, y de transmitir las hacia la superficie en la cual se desea interferir las comunicaciones celulares.

Una vez visto el diagrama que se seguirá para la implementación del inhibidor, cabe destacar que éste puede estar sujeto a futuros cambios en función de los resultados que se obtengan durante el proceso de simulación y de medición. No obstante, sí que se conservarán los tres bloques ya que son indispensables para la realización y el correcto funcionamiento del sistema inhibidor.

2.2. Material

En este apartado se detallará el listado de componentes y materiales necesarios para la fabricación e implementación del sistema completo que compondrá el inhibidor.

2.2.1. Oscilador controlado por tensión (VCO)

Este componente será fundamental para el proceso de generación de la señal del inhibidor. El VCO (*Voltage-controlled oscillator*) es un dispositivo electrónico capaz de generar a su salida una señal eléctrica, cuya frecuencia

dependerá de una señal o tensión de entrada, a la cual nos referiremos como V_{tune} .

La función que ejercerá dentro del sistema inhibidor será la de modular una señal de ruido, que previamente generaremos con un generador de señal, y escalarla a las frecuencias a las que se pretende transmitir para la inhibición de las bandas empleadas para las comunicaciones móviles.

Dependiendo del tipo de señal que generan, pueden ser clasificados principalmente en dos tipos:

- **Osciladores lineales o armónicos:** son aquellos que a su salida generan una señal de tipo senoidal. Son bastante estables en términos de ruido, pero requieren de un mayor suministro energético que los osciladores de relajación. Son los osciladores más utilizados.
- **Osciladores de relajación:** a diferencia de los lineales, éstos son capaces de generar diferentes tipos de ondas: triangulares, dientes de sierra... Suelen ser implementados en circuitos integrados y tienen la capacidad de trabajar en una amplia gama de frecuencias.

Para la realización de este proyecto, se ha escogido una serie de osciladores lineales que se encontraban disponibles en el laboratorio. Tras el proceso de caracterización de los componentes, que se verá posteriormente, se escogerán finalmente solo aquellos que presenten unos mejores resultados para las bandas frecuenciales de interés. Los osciladores que se analizarán serán los siguientes:

- ZX95-1200W-S+
- ZX95-2150VW-S+
- ZX95-2420-S+
- ZX95-3600B-S+
- ZX95-5400-S+

2.2.2. Amplificadores

Los amplificadores son dispositivos electrónicos capaces de incrementar a su salida la potencia de la señal que se les aplica a la entrada. Para ello, requieren de una fuente de alimentación externa, generalmente de corriente continua.

Su función dentro de nuestro sistema, será la de amplificar lo máximo posible la señal procedente del oscilador, antes de ser enviada a la antena para ser transmitida.

Por motivos de disponibilidad, el amplificador que se empleará en este proyecto será el ZX60-83LN-S+. Este amplificador de bajo ruido posee un amplio ancho banda de funcionamiento que le permite operar desde los 500 MHz hasta los 8 GHz, por lo que es capaz de cubrir todas las bandas de interés, que recordemos iban desde los 800 MHz hasta los 2.6 GHz. Al igual que con los VCO anteriores, emplea conectores coaxiales para los puertos de entrada y salida.

Este dispositivo presenta una ganancia de en torno a 19/20 dB, que se mantiene prácticamente estable a lo largo de todo el rango de frecuencias, y un punto de compresión a 3 dB o IP3 superior a 30 dB, por lo que en ningún caso llegará a estar saturado con los niveles de potencia de la señal con los que trabajaremos a lo largo de este proyecto.

2.2.3. Sustrato FR-4

Es el sustrato que se empleará para la fabricación de la antena PIFA en circuito impreso. Este sustrato se encuentra compuesto de una resina epoxi reforzada de fibra de vidrio. Además, se encuentra recubierto por ambas caras por una fina lámina de cobre, sobre la cual se tallará la antena, y presenta una constante dieléctrica cuyo valor oscila usualmente entre 4.2 y 4.8.

2.2.4. Atenuadores de señal RF

Estos dispositivos actúan como resistencias y se emplean para reducir o atenuar el nivel de una señal. Serán necesarios a lo largo del proceso de caracterización de los componentes para atenuar las señales amplificadas antes

de ser introducidas y visualizadas, tanto en el analizador vectorial de redes como en el analizador de espectros. Esto es debido a que estos equipos solo son capaces de recibir un nivel de señal considerablemente bajo, por lo que la señal amplificada podría dañarlos seriamente.

2.2.5. Conectores SMA

Estos conectores se emplearán para la interconexión de todos los componentes que formarán el inhibidor. Son conectores de tipo roscado para cable coaxial, ampliamente empleados en el ámbito de las microondas y presentan una impedancia interna de 50Ω , lo que permitirá una buena adaptación con el resto de los componentes.

2.2.6. Otros

Además de los componentes citados anteriormente, también será necesario disponer de otros utensilios como unos alicates, una soldadora, unas varillas metálicas con un radio de 5 mm, y algunos cables coaxiales que se emplearán para realizar las mediciones con los equipos del laboratorio.

2.3. Equipos de laboratorio y *software*

En esta sección se incluirán todos los equipos de laboratorio empleados tanto para la generación de la señal de ruido, como para la medición y caracterización de los diferentes elementos que componen el sistema; así como de los diferentes *softwares* empleados para el diseño y simulación de los diferentes prototipos de antenas que se desarrollarán a lo largo del proyecto.

2.3.1. Analizador Vectorial de Redes

Este equipo es un instrumento capaz de analizar las señales eléctricas permitiendo visualizar, especialmente, los parámetros de dispersión comúnmente conocidos como parámetros S; así como el nivel de potencia o la

frecuencia de una señal. Estos parámetros nos ofrecen información acerca de las propiedades de reflexión y de transmisión de una señal eléctrica.

Su uso será necesario durante el proceso de caracterización de los componentes, como los VCOs y el amplificador, y durante el proceso de medición y comprobación de la antena PIFA.

Es importante mencionar que, antes de cada uso, es conveniente realizar un proceso de calibración para garantizar que los resultados obtenidos sean lo más precisos posible.

2.3.2. Generador de funciones

Este instrumento permite generar señales eléctricas periódicas, controlando una infinidad de parámetros como el período de la señal, la frecuencia, la amplitud, la forma de la onda (senoidal, triangular, rampa, etc), *offset...*

Es el equipo más importante del sistema, pues será el encargado de generar la señal de ruido que será posteriormente modulada y amplificada y, finalmente, transmitida a través de la antena.

Cuenta con un modo de generación de ruido pseudoaleatorio que será clave para el correcto funcionamiento del inhibidor, tal y como se podrá comprobar más adelante durante la prueba de campo.

2.3.3. Analizador de espectros

Este equipo se emplea para la visualización de las componentes espectrales presentes en un determinado espectro de frecuencia. Resulta de gran utilidad ya que nos permite ver el ancho de banda de una señal, así como su potencia y su amplitud. Cabe destacar que la mayor parte de funcionalidades de este equipo también se encuentran presentes en la mayoría de analizadores vectoriales de redes, por lo que usaremos mayoritariamente el AVR por motivos de comodidad.

2.3.4. Advanced Design System (ADS)

Se trata de un *software* de simulación elaborado por Keysight, especialmente indicado para el diseño de todo tipo de dispositivos y sistemas de telecomunicaciones tales como osciladores, amplificadores, redes inalámbricas, sistemas radar, etc.

El programa dispone de una gran cantidad de librerías de componentes actualizados y de ejemplos que incluyen diseños de sistemas completos. Cuenta con dos ventanas de trabajo diferentes: el *Schematic*, en la cual podremos realizar los diseños y simularlos; y el *Layout*, en la cual podremos simular el aspecto que tendrá el circuito sobre la placa.

Este programa será empleado en este proyecto para el diseño de la antena PIFA, y para su posterior simulación y fabricación.

2.3.5. 4NEC2

Este programa permite diseñar, optimizar y simular estructuras geométricas, tanto en 2D como en 3D, y visualizar patrones radiación mediante el modelador de antenas que incluye. Además, permite realizar barridos de frecuencia y generar gráficos en los que se muestran características de la antena tales como la ganancia, la ROE, la impedancia o la relación delante/atrás, entre otros. Por último, incluye también una extensión llamada *Optimizer & Sweeper* que permite optimizar algunos parámetros básicos de la antena, mediante la ejecución de sucesivas simulaciones que se producen de manera automatizada.

Este *software* será el empleado para el diseño y la simulación de las antenas Yagi y LPDA, ya que, al estar más enfocado en el diseño de antenas, supone un entorno más fácil de manejar en comparación con el *software* ADS empleado durante el diseño de la antena PIFA.

2.3.6. Nemo Outdoor

Esta herramienta permite medir y monitorear la interfaz aérea de la mayor parte de las redes inalámbricas. Para su funcionamiento se requiere de dos dispositivos: un teléfono móvil, en el cual se capturarán todos los datos y

parámetros que intervengan durante las comunicaciones con la red celular; y un ordenador, en el cual se podrán analizar y visualizar todos los datos recopilados.

Este *software* será empleado durante la prueba de campo, más adelante, y permitirá visualizar el efecto disruptivo que el inhibidor ejerce sobre una llamada telefónica activa.

2.4. Caracterización de los componentes

En este apartado se detallará el proceso de caracterización y medición de los componentes que han sido seleccionados como posibles candidatos para ser incorporados al sistema. Se trata, tal y como ha sido reflejado en la sección **Materiales**, de 5 osciladores controlados por tensión o VCOs, y de 1 amplificador de banda ancha y bajo ruido.

La caracterización de los diferentes prototipos de antenas que se incluyen en este proyecto se mostrará en sus respectivas secciones.

2.4.1. VCOs

Para la caracterización de los VCOs, analizaremos por un lado la respuesta en frecuencia generada tras aplicar una tensión de entrada o V_{tune} y, por otro lado, realizaremos con el analizador vectorial de redes un barrido en frecuencia para comprobar su comportamiento a lo largo de un determinado ancho de banda.

En ambos métodos, el procedimiento consistirá en ir aumentando la tensión aplicada en pequeños pasos, lo que supondrá un incremento en frecuencia de la señal de salida.

A continuación, se procede a realizar ambos procedimientos con cada uno de los osciladores:

- VCO_ZX95-1200W-S+

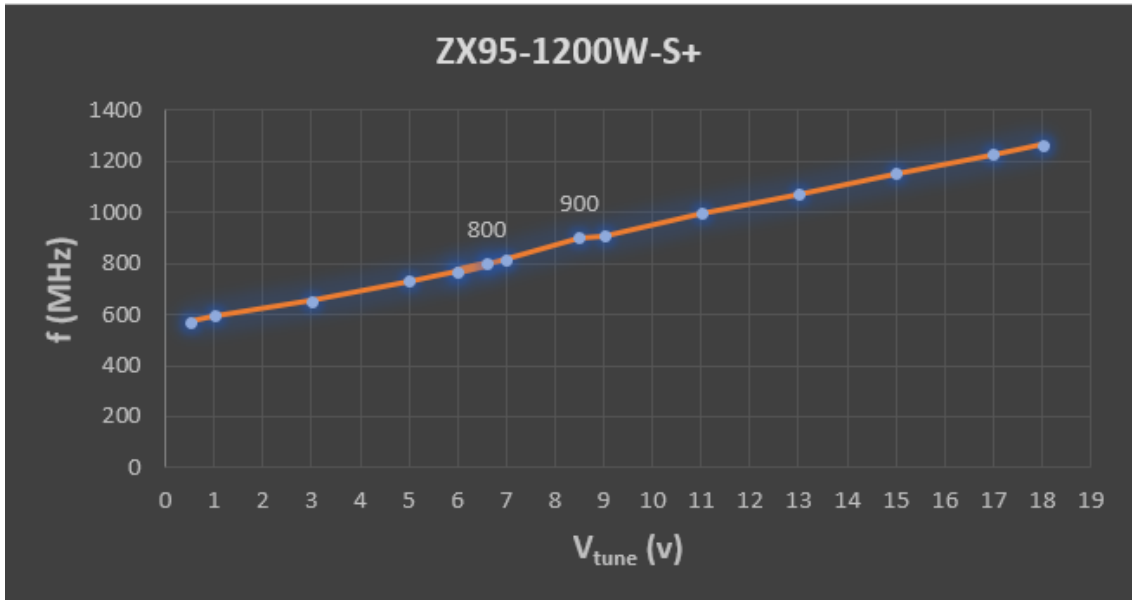


Figura 3. Relación tensión de control-frecuencia para VCO_ZX95-1200W-S+.

Este oscilador permite una tensión de control de hasta 18 V. Según se puede ver en la imagen anterior, éste trabaja en un rango desde los 600 MHz hasta los 1200 MHz, por lo que podría emplearse para la modulación de las señales correspondientes a las bandas de 800 MHz (LTE) y 900 MHz (GSM/UMTS). Para ello, se necesitaría aplicar unas tensiones de control de 6.6 y 8.5 V respectivamente.

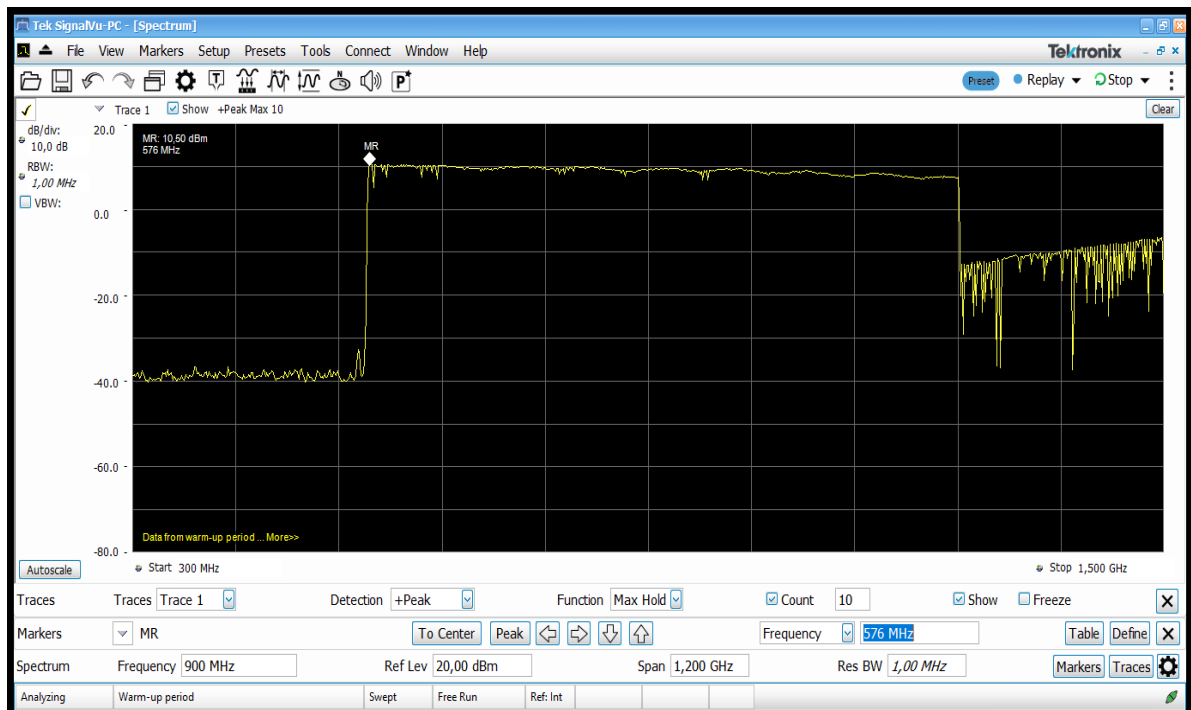


Figura 4. Ancho de banda de VCO_ZX95-1200W-S+.

En la imagen anterior se puede comprobar que, efectivamente, el rango de trabajo de este oscilador se encuentra entre los 600 MHz y los 1200 MHz. Además, vemos que la potencia máxima a lo largo de todo ese ancho de banda se encuentra en torno a los 10 dBm.

- VCO_ZX95-2150VW-S+

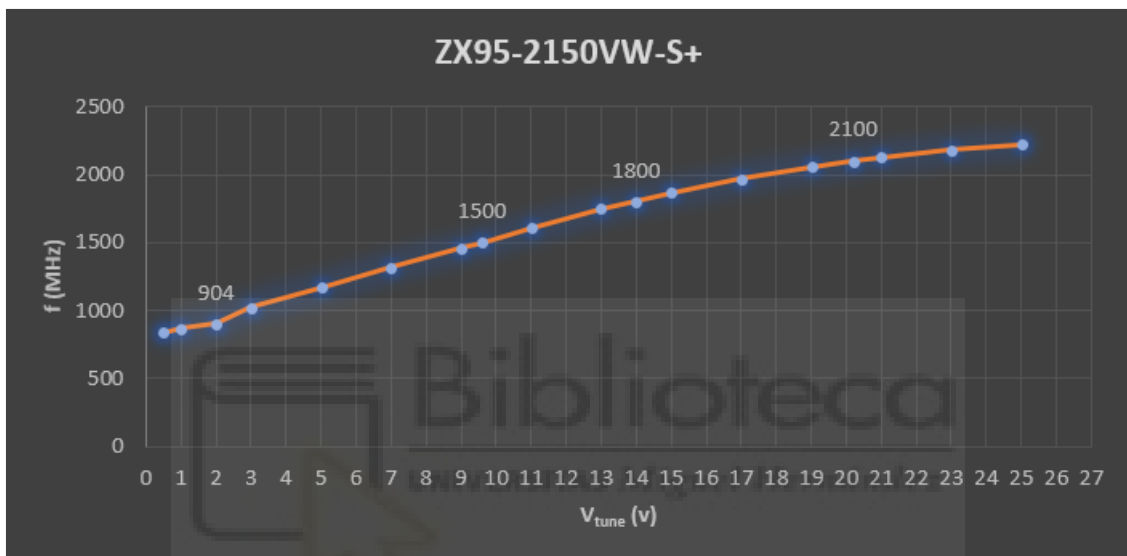


Figura 5. Relación tensión de control-frecuencia para VCO_ZX95-2150W-S+.

En este caso, la tensión de control puede alcanzar hasta los 25 V, permitiendo del mismo modo un mayor rango de frecuencias de trabajo que van desde los 850 MHz hasta los 2150 MHz aproximadamente. Por tanto, este oscilador podría ser útil para modular las señales correspondientes a los 900 MHz (GSM/UMTS), 1500 MHz (futura banda de refuerzo para 5G), 1800 MHz (LTE) y 2100 MHz (UMTS). Las tensiones de control correspondientes a cada banda son: 2, 9.6, 14 y 20.2 V.

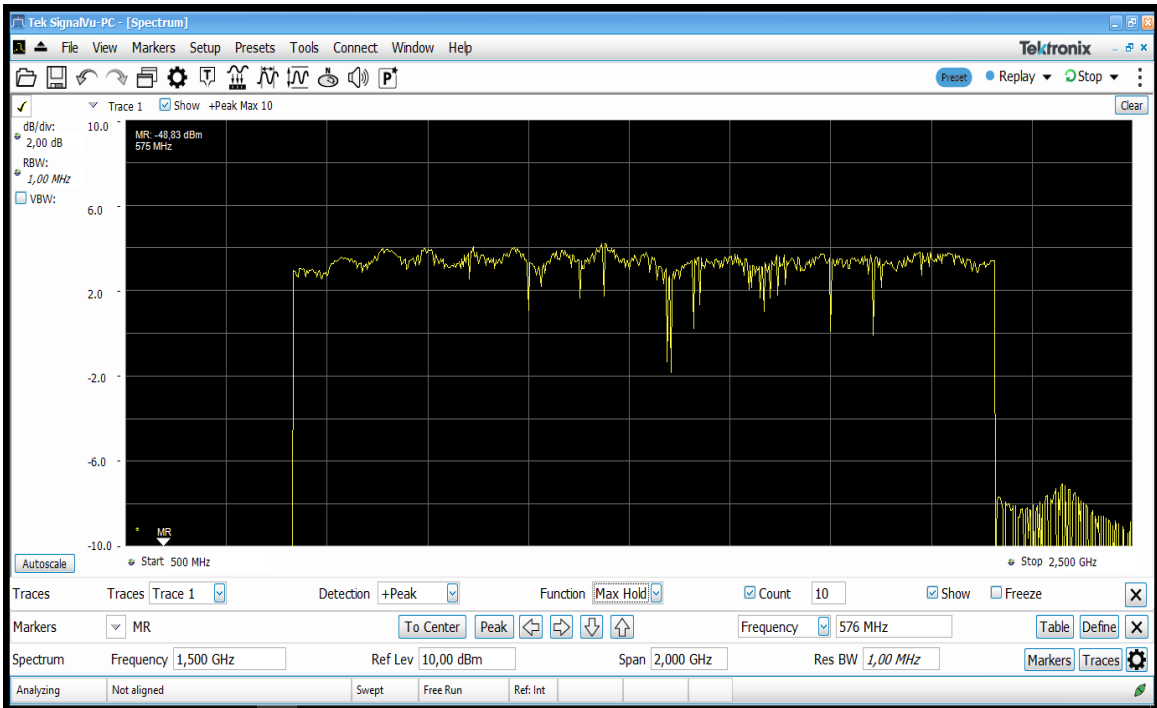


Figura 6. Ancho de banda de VCO_ZX95-2150W-S+.

Según puede verse, este VCO presenta un mayor ancho de banda que el anterior, pero la potencia máxima se ve reducida notablemente disminuyendo hasta los 4 dBm aproximadamente. Su implementación puede ser interesante si se desea emplear el menor número de VCOs necesarios, aunque será necesario valorar también si su baja potencia supone algún inconveniente para el funcionamiento del sistema.

- VCO_ZX95-2420-S+

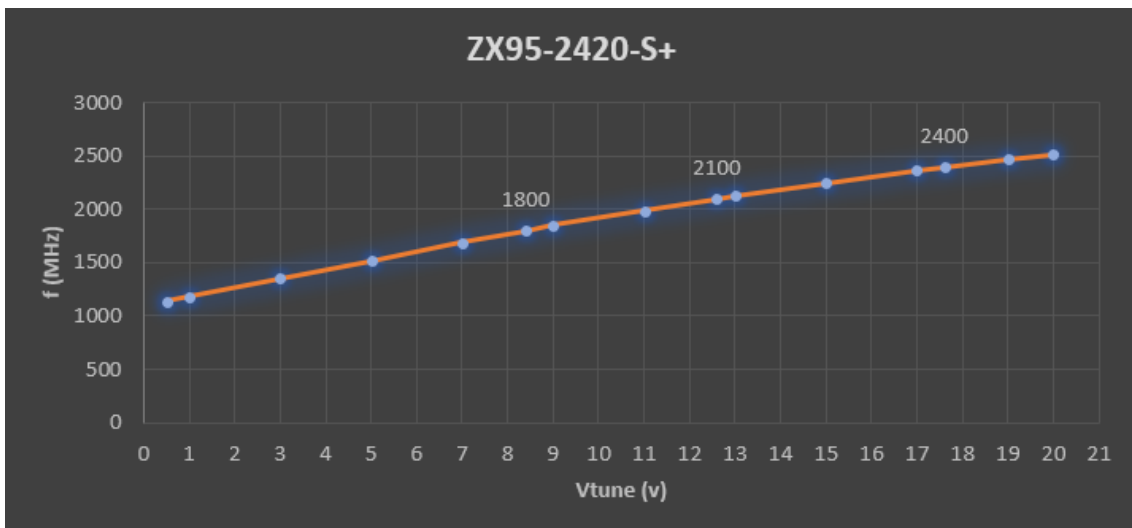


Figura 7. Relación tensión de control-frecuencia para VCO_ZX95-2420W-S+.

Este oscilador nos permite cubrir las bandas de 1800 MHz (LTE), 2100 MHz (UMTS) y 2400 MHz (WiFi). Para ello, sería necesario emplear unas tensiones de entrada de 8.4, 12.6 y 17.6 V, respectivamente. Podría ser interesante su implementación para cubrir las altas frecuencias, pero tendría como inconveniente que no sería capaz de cubrir la banda de 2600 MHz (LTE).



Figura 8. Ancho de banda de VCO_ZX95-2420W-S+.

En la imagen anterior puede verse que la potencia varía bastante a lo largo de todo el ancho de banda, viéndose afectada especialmente a altas frecuencias. La diferencia de potencia entre el máximo y el mínimo llega a superar los 4dBm y la potencia ronda de media los 4 dBm, lo cual no es mucho si lo comparamos con el primero de los osciladores.

- VCO_ZX95-3600B-S+

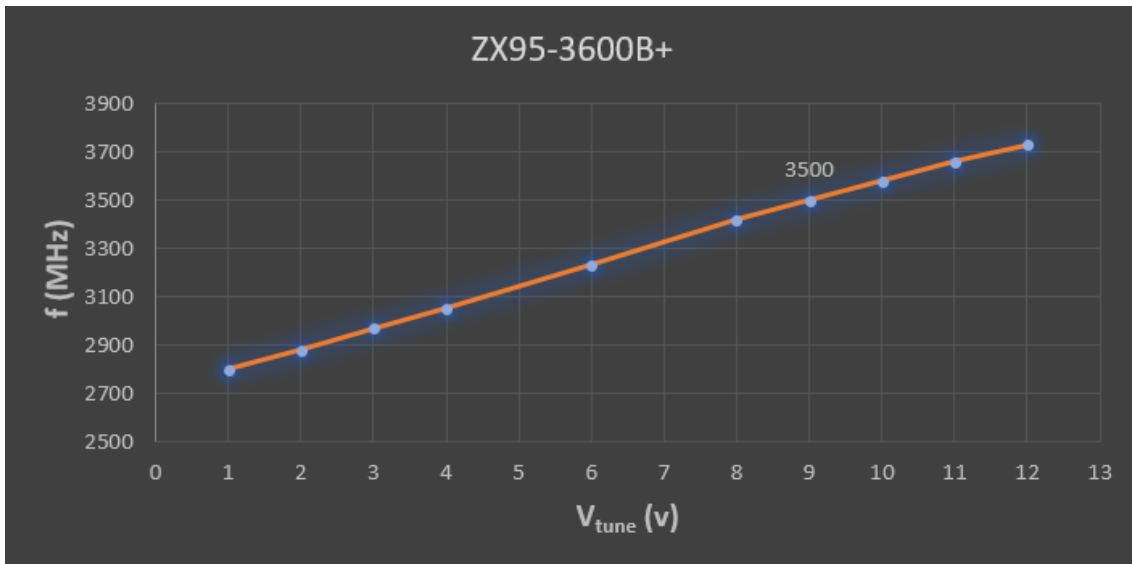


Figura 9. Relación tensión de control-frecuencia para VCO_ZX95-3600B-S+.

Este oscilador únicamente serviría para cubrir la banda de los 3500 MHz que se prevé que sea empleado para comunicaciones 5G. A pesar de que esta banda no será objetivo de este proyecto, se ha decidido incluirse de cara a futuras implementaciones. La tensión de control para modular a esta frecuencia sería de 9 V.

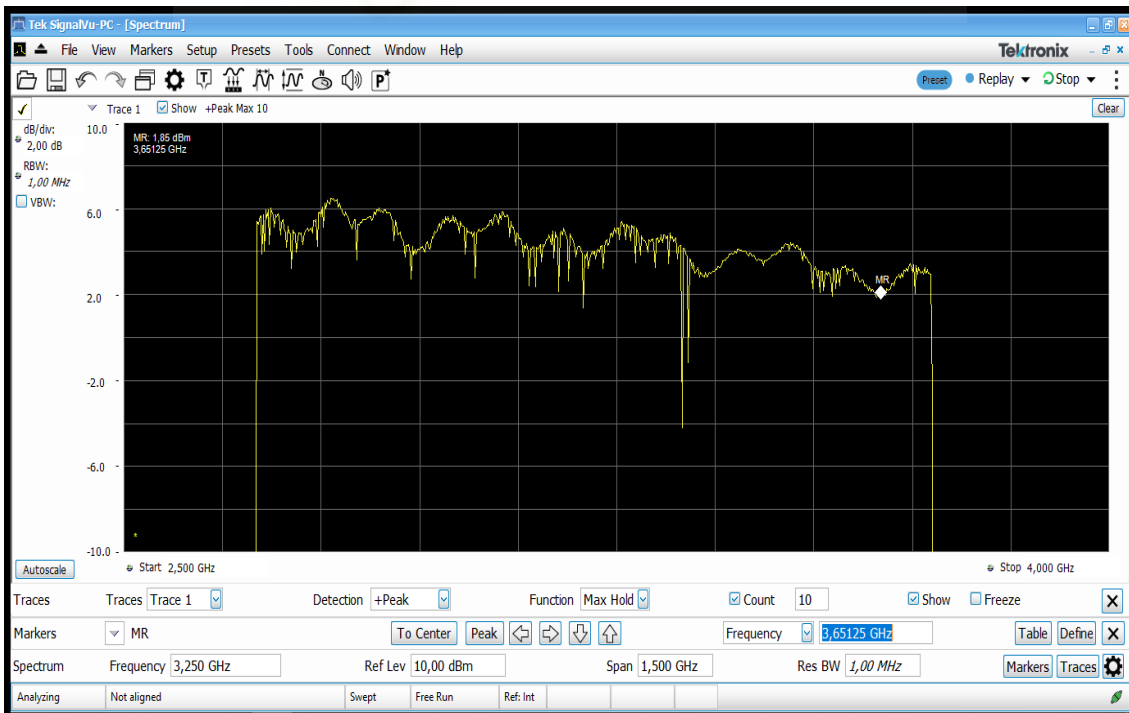


Figura 10. Ancho de banda de VCO_ZX95-3600B-S+.

Según vemos, al igual que en el oscilador anterior, existe un rizado en la potencia máxima bastante considerable que afecta especialmente a las altas frecuencias. Este valor oscila entre los 6 dBm y los 2 dBm.

- VCO_ZX95-5400-S+

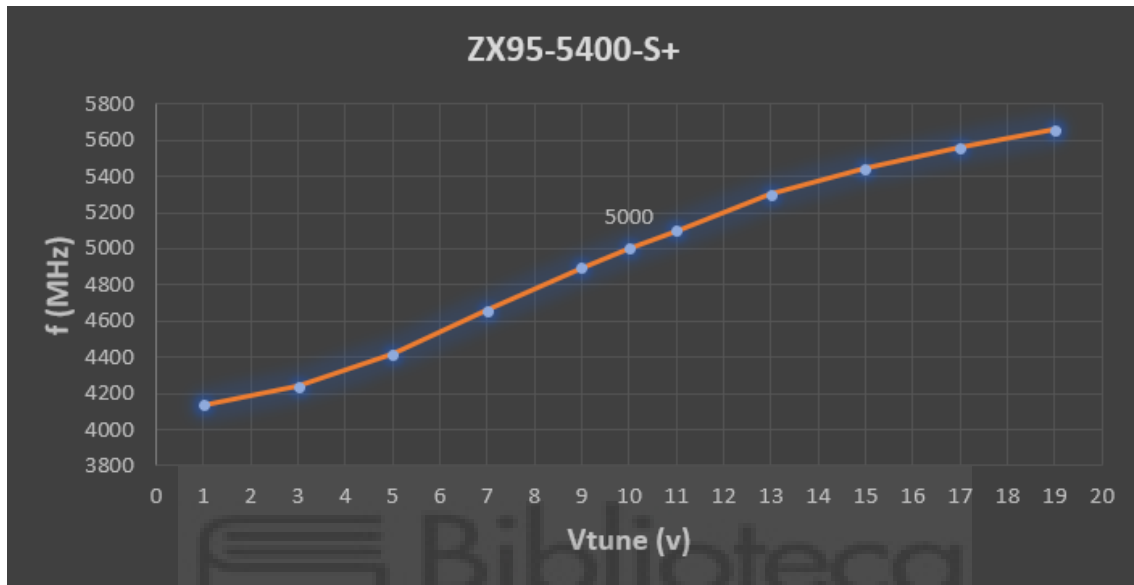


Figura 11. Relación tensión de control-frecuencia para VCO_ZX95-5400-S+.

Este es el último de los osciladores que van a ser analizados. Vemos que trabaja a unas frecuencias bastante más altas que las bandas de interés, por lo que su uso queda descartado para este proyecto.

No obstante, sí que serviría para cubrir la banda alta de WiFi de 5 GHz que cada vez emplean más dispositivos, por lo que también sería interesante incluirlo al inhibidor en una futura revisión.

Para concluir con esta sección de caracterización de los VCO, se muestra a continuación los resultados del barrido de frecuencia que se ha realizado a este componente.

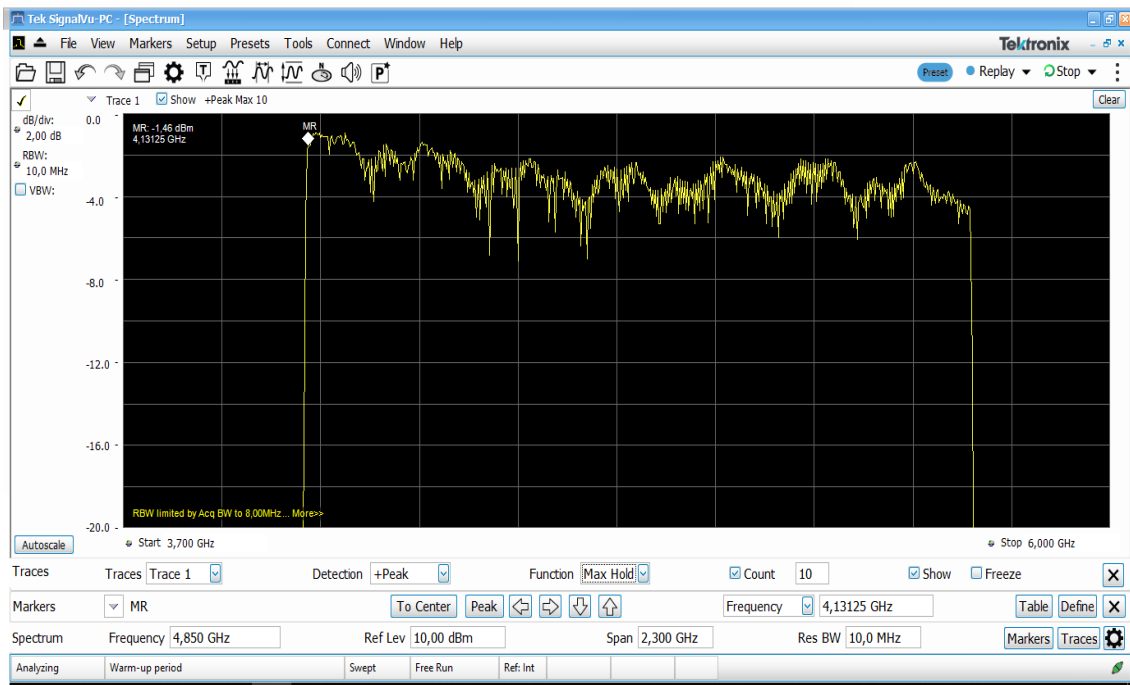


Figura 12. Ancho de banda de VCO_ZX95-5400-S+.

En esta última imagen, podemos ver unos niveles de potencia bastante más bajos que los obtenidos previamente, oscilando entre los -0.5 dBm y los -5 dBm. Además, también existe un rizado considerable a lo largo de todo el ancho de banda.

2.4.2. Amplificador

La caracterización del amplificador se dividirá en dos partes.

En la primera parte, se medirá la ganancia del amplificador para cada una de las bandas frecuenciales de interés. Para ello, se introducirá una señal a una frecuencia dada y se comenzará a aumentar la potencia de la señal para comprobar hasta qué nivel de potencia el amplificador es capaz de mantener la ganancia lineal. Se repetirá este proceso para todas las frecuencias.

En la segunda parte, el analizador vectorial de redes nos permitirá visualizar los parámetros de dispersión (S) que nos darán información acerca de la transmisión y reflexión que sucede en los puertos del amplificador, a lo largo de todo el ancho de banda operativo.

Una vez finalizada la primera parte, se incorporan los resultados en la siguiente gráfica:

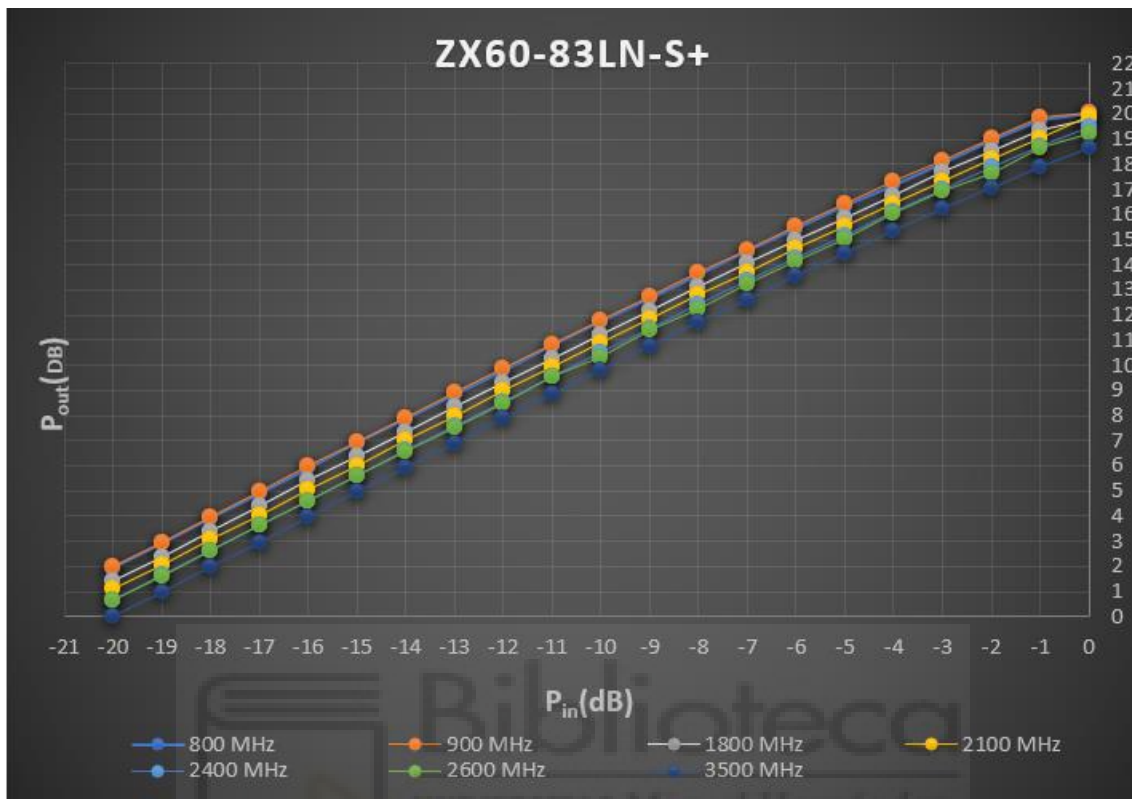


Figura 13. Potencia de entrada frente potencia de salida para ZX60-83LN-s+.

Según puede verse en la gráfica anterior, observamos unos valores de ganancia de entre 18.5 dB y 20 dB para todas las frecuencias de interés. Al igual que había ocurrido con los VCOs, vemos que la ganancia disminuye ligeramente a altas frecuencias, alcanzando una diferencia de 1.5 dB, entre la frecuencia más baja y la más alta. Además, la ganancia puede verse claramente que se mantiene lineal a lo largo de la práctica totalidad del rango, y que se produce una pequeña caída de 1 dB al superar, aproximadamente, los 19 dB. Este fenómeno se conoce como punto de compresión a 1dB o IP1 y es debido a que, a partir de ese nivel de potencia, el amplificador comienza a saturar y no es capaz de mantener a su salida una ganancia lineal.

Durante el proceso de caracterización de este amplificador, se esperaba poder visualizar también el punto de compresión a 3 dB o IP3. No obstante, no ha sido posible ya que, tras revisar el *datasheet* del fabricante, se ha podido comprobar que éste se produce, aproximadamente, a partir de los 30 dB, siendo

estos niveles de potencia muy superiores a los que podemos generar con los equipos del laboratorio.

En cualquier caso, esto no supone ningún problema ya que, durante el proceso de generación, modulación y amplificación de la señal de ruido del inhibidor, no alcanzaremos esos niveles y, por lo tanto, el amplificador no llegará a saturar en ningún momento.

A continuación, se mostrará los parámetros de dispersión obtenidos durante la segunda parte:

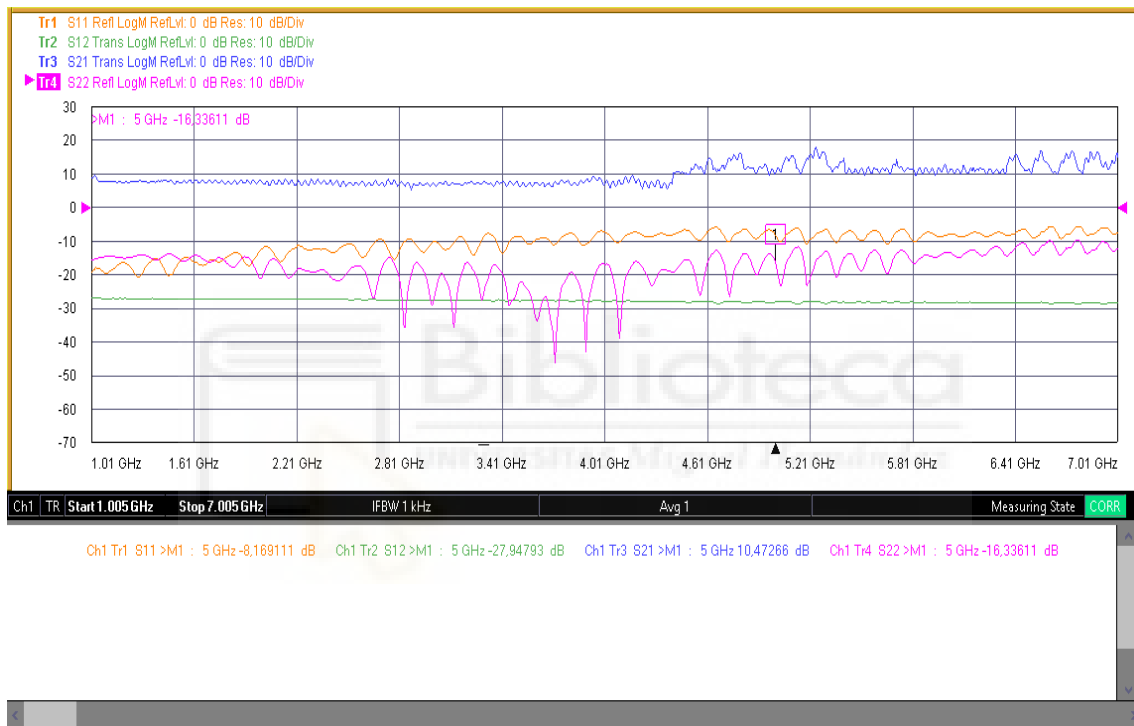


Figura 14. Parámetros de dispersión (S) para ZX60-83LN-s+.

En la imagen anterior quedan reflejados los resultados obtenidos por el analizador vectorial de redes. Antes de nada, cabe destacar que para asegurarse de no exceder los niveles de potencia máximos que soporta el equipo en cuestión, se colocó un atenuador de 10 dB a la entrada de éste. Por lo tanto, se debe sumar 10 dB a los resultados visualizados.

Si hacemos esto, podemos corroborar las ganancias de 18 ó 19 dB, que habíamos visto anteriormente, a través del parámetro S_{21} que corresponde con la transmisión del puerto 1, o entrada, al puerto dos, o salida.

Si nos fijamos en el resto de parámetros, vemos que las reflexiones en ambos puertos (parámetros S_{11} y S_{22}) son despreciables, y que la transmisión del puerto de salida al de entrada (parámetro S_{12}) es nulo como cabía esperar.

Es interesante observar que, en la gráfica anterior, para las altas frecuencias aumenta ligeramente la ganancia en contra de lo que habíamos obtenido en el ejercicio anterior. Esto puede ser debido a que el atenuador introducido en este segundo ejercicio no funciona correctamente a altas frecuencias y, por lo tanto, atenúa menos de lo que debería la señal.

2.5. Diseño 1^{er} Prototipo

2.5.1. Antena PIFA

Las antenas PIFA (*Planar Inverted F Antenna*) son un tipo de antenas de parche basadas en tecnología *microstrip*. Se caracterizan por tener uno de los lados cubierto de un material metálico, que sirve como plano de masa, el cual se encuentra en contacto con un pin que lo conecta con el otro lado, en el cual se encuentra la antena. De este modo, el pin actúa como cortocircuito y el tamaño de la antena se reduce de media onda ($\lambda/2$) a tan sólo un cuarto de onda ($\lambda/4$).

Debido a su tamaño reducido y compacto, este tipo de antena es comúnmente utilizado en el ámbito de las comunicaciones inalámbricas para aquellas frecuencias que se encuentran en el rango de las microondas y de las ondas milimétricas.

Entre sus principales características destacan su comportamiento omnidireccional, su ganancia moderada para entornos cerrados o *indoor*, su ancho de banda que puede ser fácilmente aumentado ajustando el tamaño del plano de masa, y la capacidad de recibir ondas electromagnéticas polarizadas tanto horizontales como verticales.

Tras estudiar el comportamiento y las principales características de esta antena, se ha decidido su incorporación al inhibidor como parte de un primer prototipo.

2.5.2. Diseño Antena PIFA

Para comenzar con el diseño de las antenas que se incorporarán al inhibidor, se ha tomado la decisión de implementar, en un principio, cuatro bandas frecuenciales correspondientes UMTS, LTE y WiFi. Estas bandas serán implementadas en dos antenas diferentes. La primera será diseñada para las bandas de UMTS 900 MHz y 2100 MHz; y la segunda para las bandas de 1800 MHz (LTE) y 2400 MHz (WiFi).

El esquema que se seguirá para su diseño será el siguiente:

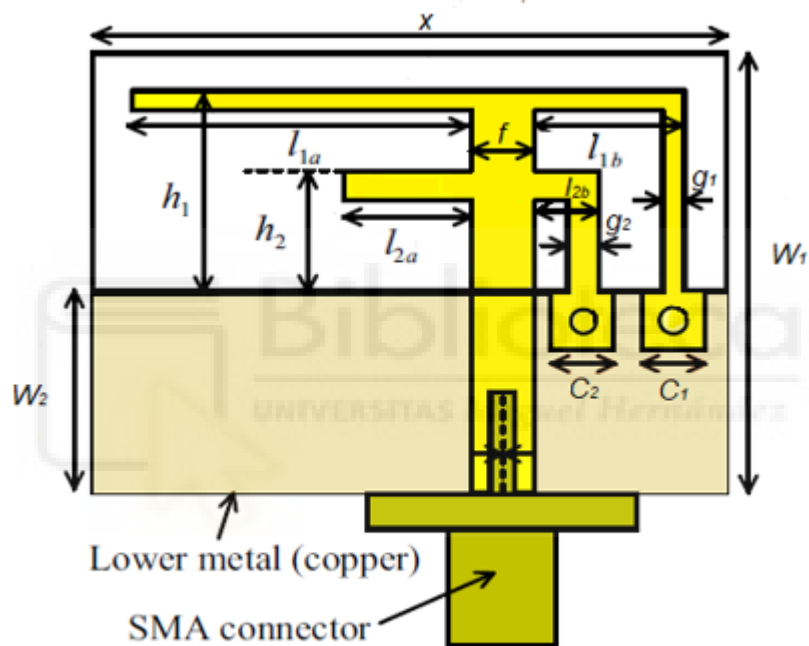


Figura 15. Diagrama de diseño de antena PIFA.

Tal y como puede verse, la antena tiene forma de F invertida, donde el brazo largo corresponde a la frecuencia más baja (f_1), y el brazo corto a la más alta (f_2).

Inicialmente, supondremos que las longitudes de ambos brazos se corresponden, según se ha visto en el apartado anterior, con un cuarto de onda de longitud, de la frecuencia a la cual se encuentran asociadas. El plano de masa deberá tener una longitud mayor que la del brazo más largo, y se situará en el plano reverso del sustrato.

A continuación, el proceso de diseño consiste en ir alterando los diferentes valores de longitud y grosor, e ir simulando tras cada cambio para ver cómo influyen en el comportamiento de la antena.

Según se ha podido comprobar, las longitudes l_{1a} y l_{2a} permiten controlar las frecuencias de resonancia de la antena, mientras que l_{1b} y l_{2b} no influyen en éstas. Al aumentar el valor de l_{1a} vemos que f_1 se desplaza hacia frecuencias más bajas, mientras que al reducirlo se produce un aumento en frecuencia. La variación de l_{2a} genera el mismo efecto sobre la frecuencia de resonancia más alta o f_2 .

A pesar de que la variación de los valores de l_{1b} y l_{2b} no genera ningún desplazamiento en frecuencia, éstos sí que producen un aumento o disminución en la ganancia de la antena. Podemos comprobar que, al reducir el valor de l_{1b} , la ganancia aumenta considerablemente para la frecuencia alta y viceversa. Con l_{2b} sucede lo mismo, pero con la frecuencia baja.

Por otro lado, tenemos los parámetros h_1 y h_2 . Al ir alterando estos valores, vemos que h_1 modifica la ganancia de f_1 y produce un desplazamiento en frecuencia de f_2 y, al igual que en los casos anteriores, h_2 genera el efecto opuesto.

La línea *microstrip* que se utilizará para alimentar a la antena tendrá un grosor (t) fijo de 3 mm para conseguir una adaptación a 50 Ω . El sustrato que se empleará para realizar la antena será el FR-4 y contará con un grosor de 1.5 mm para la parte dieléctrica, y 17 μm para las láminas de material conductor, en nuestro caso cobre.

Tras un largo proceso de diseño y optimización, conseguimos generar los siguientes diseños:

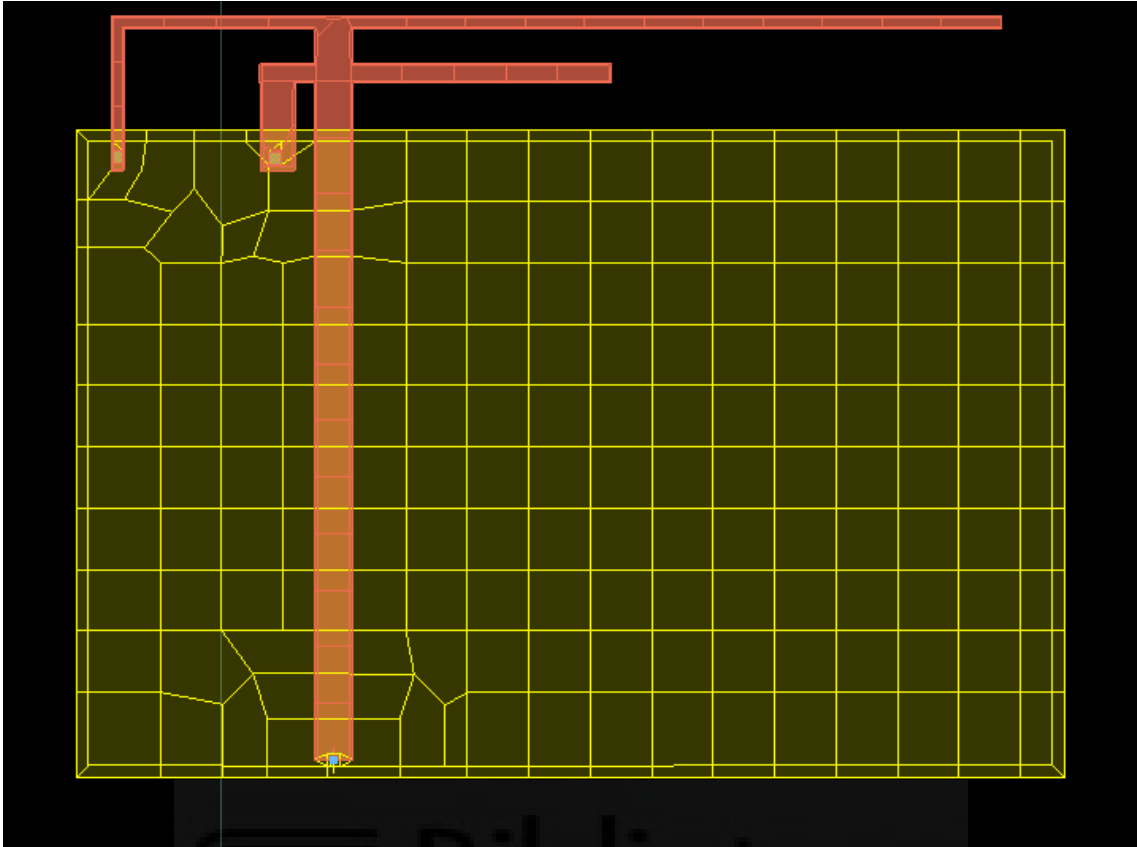


Figura 16. Layout de antena PIFA UMTS.

La imagen superior muestra el *Layout* correspondiente a la antena destinada a cubrir las bandas de UMTS 900MHz y 2100 MHz. Las dimensiones de la antena se recogen en la siguiente tabla (sus unidades se encuentran en mm):

l_{1a}	50.85
l_{2a}	20.25
l_{1b}	15.91
l_{2b}	4.28
h_1	8.91
h_2	5.14
w_1	8.91
w_2	50.85
g_1	1

g_2	2.75
c_1	1
c_2	2.75
f	3
x	77.43

Tabla 8. Dimensiones de diseño antena PIFA UMTS.

Tras simular el comportamiento de la antena, obtenemos los siguientes resultados:

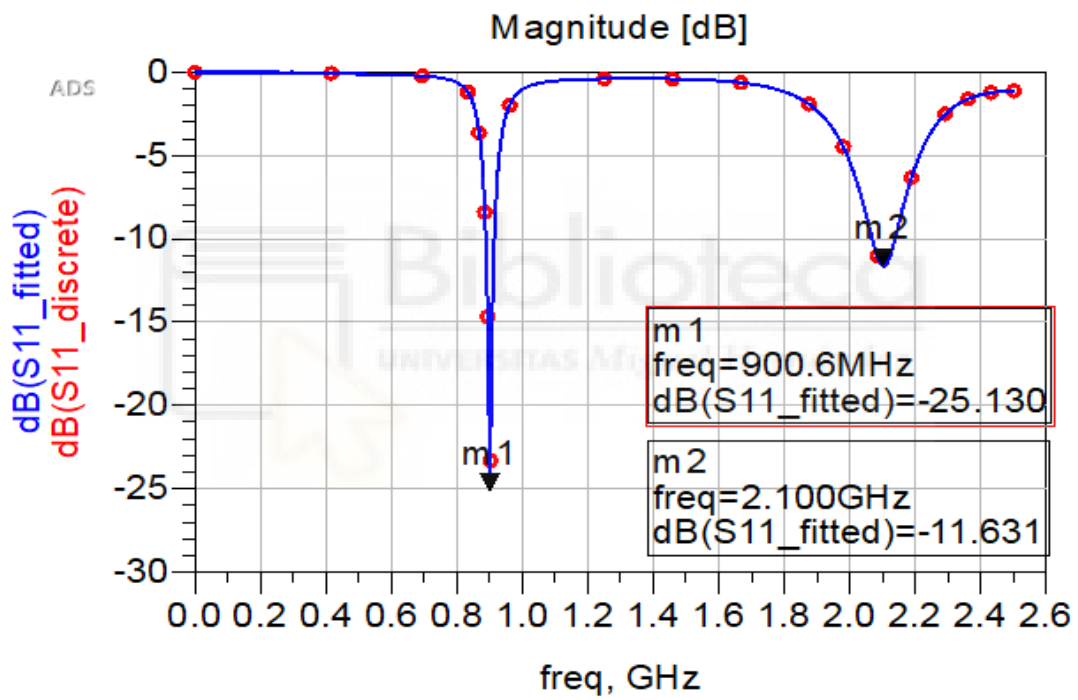


Figura 17. Parámetro de dispersión S_{11} de antena PIFA UMTS en módulo.

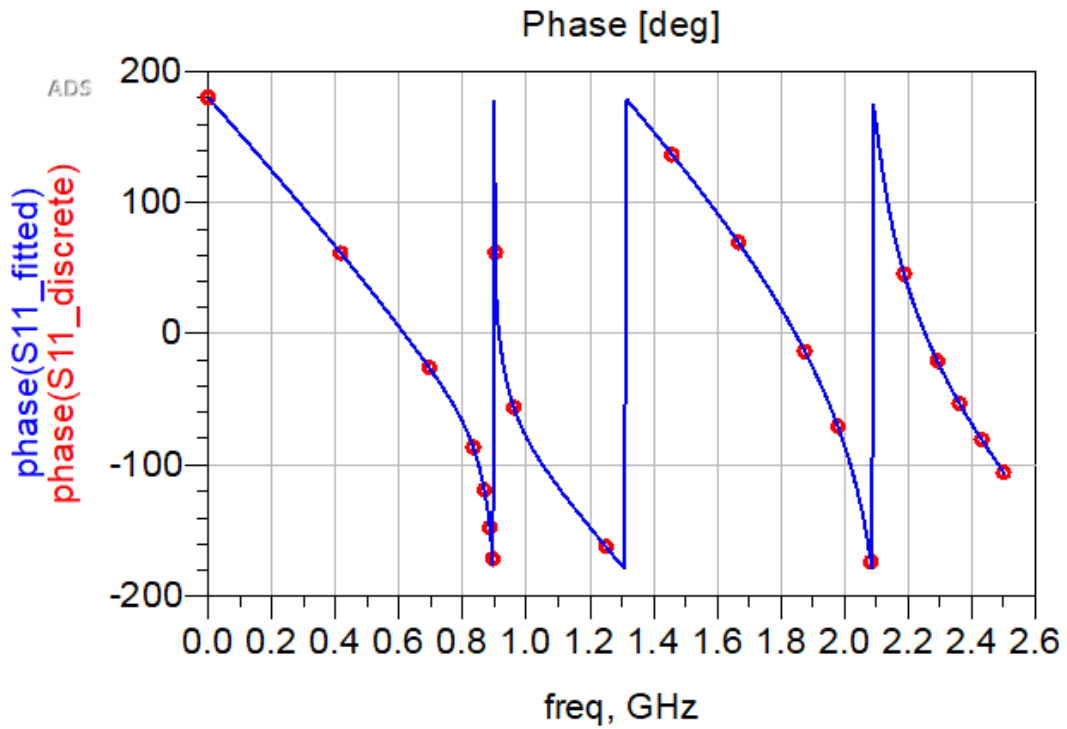


Figura 18. Parámetro de dispersión S_{11} de antena PIFA UMTS en fase.

En las dos imágenes superiores podemos ver el comportamiento del parámetro de dispersión S_{11} , tanto en magnitud como en fase, a lo largo de un amplio rango de frecuencias. Según puede verse, las dos frecuencias de resonancia de la antena se encuentran correctamente situadas en los 900 MHz y 2100 MHz y, además, se ha obtenido unos elevados valores de ganancia de hasta -25 dB y -11 dB, respectivamente.

A continuación, se muestran del mismo modo los resultados obtenidos para el diseño de la antena LTE+WiFi.

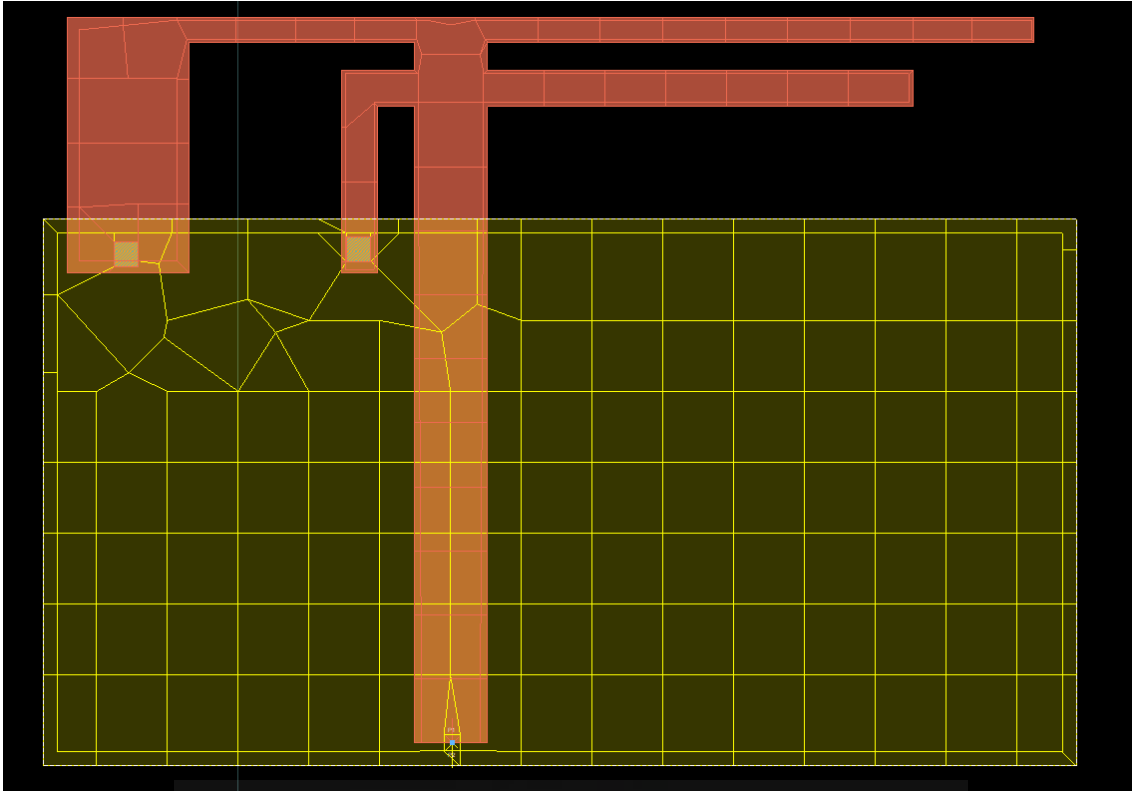


Figura 19. Layout de antena PIFA LTE+WiFi.

l_{1a}	22.5
l_{2a}	17.5
l_{1b}	14.3
l_{2b}	3
h_1	8.3
h_2	6.14
w_1	8.3
w_2	22.5
g_1	5.03
g_2	1.5
c_1	5.03
c_2	1.5
f	3
x	42.5

Tabla 9. Dimensiones de diseño antena PIFA LTE+WiFi.

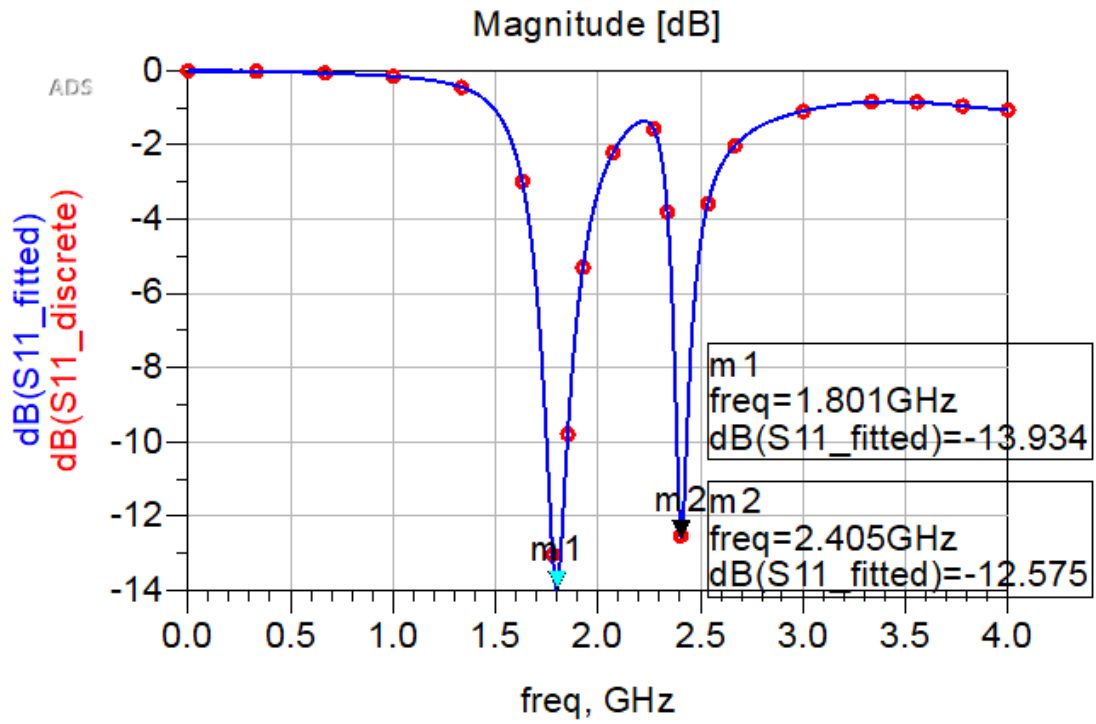


Figura 20. Parámetro de dispersión S_{11} de antena PIFA LTE+WiFi en módulo.

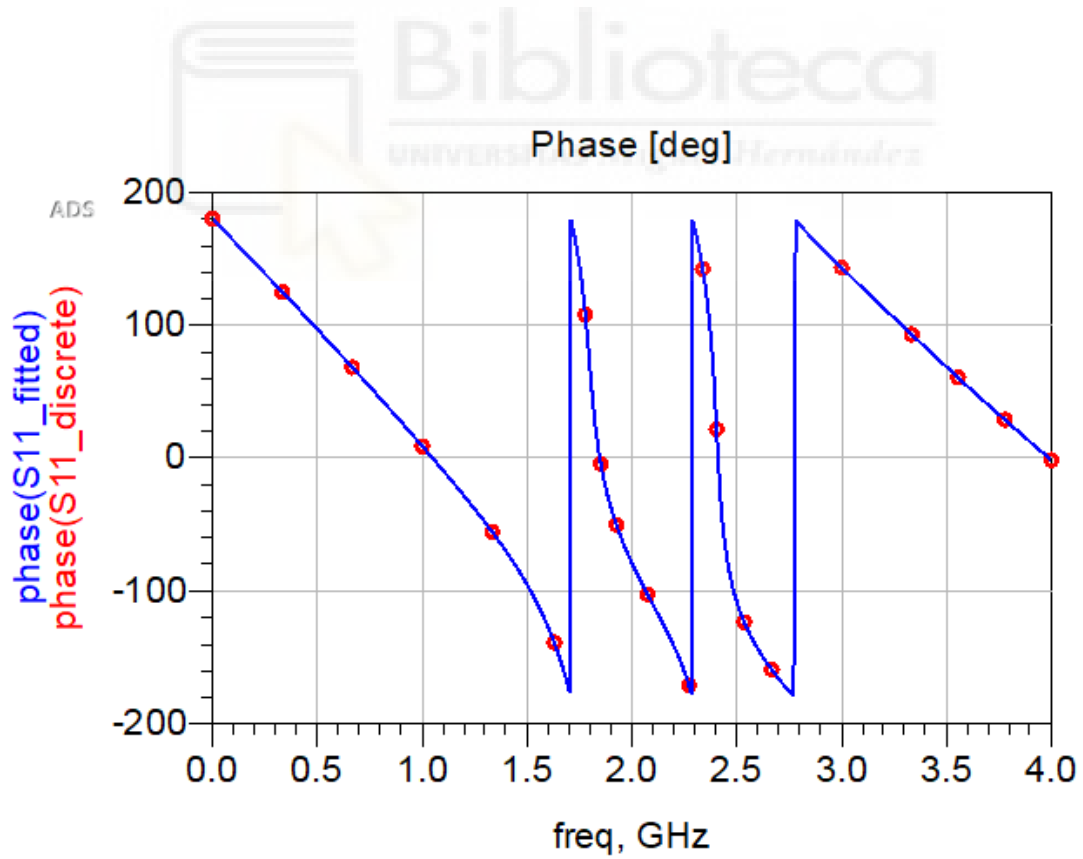


Figura 21. Parámetro de dispersión S_{11} de antena PIFA LTE+WiFi en fase.

A la vista de los resultados, vemos que se ha conseguido centrar las frecuencias de resonancia correctamente en los 1800 MHz y 2400 MHz. Los valores de ganancia obtenidos son inferiores con respecto a los de la antena UMTS. Esto es debido a que, para obtener los mejores resultados posibles, debe darse la condición de que la frecuencia más alta sea igual o superior a dos veces la frecuencia baja.

No obstante, siguen siendo buenos resultados por lo que podemos dar por válidos los diseños de ambas, y procedemos a su fabricación.

2.5.3. Fabricación

Una vez finalizado el proceso de diseño y simulación de las antenas PIFA, el siguiente paso será la fabricación de las mismas para su posterior incorporación al sistema inhibidor.

El primer paso a seguir será exportar los archivos que contienen los diagramas de diseño de las antenas para poder ser enviados a la impresora. A continuación, se introducirán en la impresora dos láminas de fotolito sobre las cuales quedarán impresos los diagramas de ambas antenas, por un lado, y sus correspondientes planos de masa por el lado reverso. El resultado se muestra a continuación:

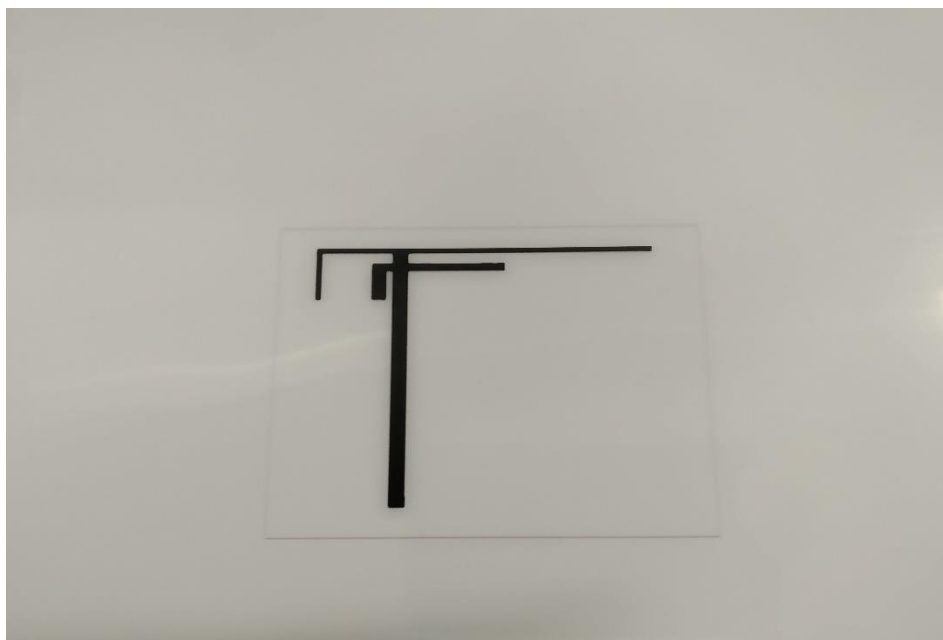


Figura 22. Fotolito de antena PIFA UMTS.

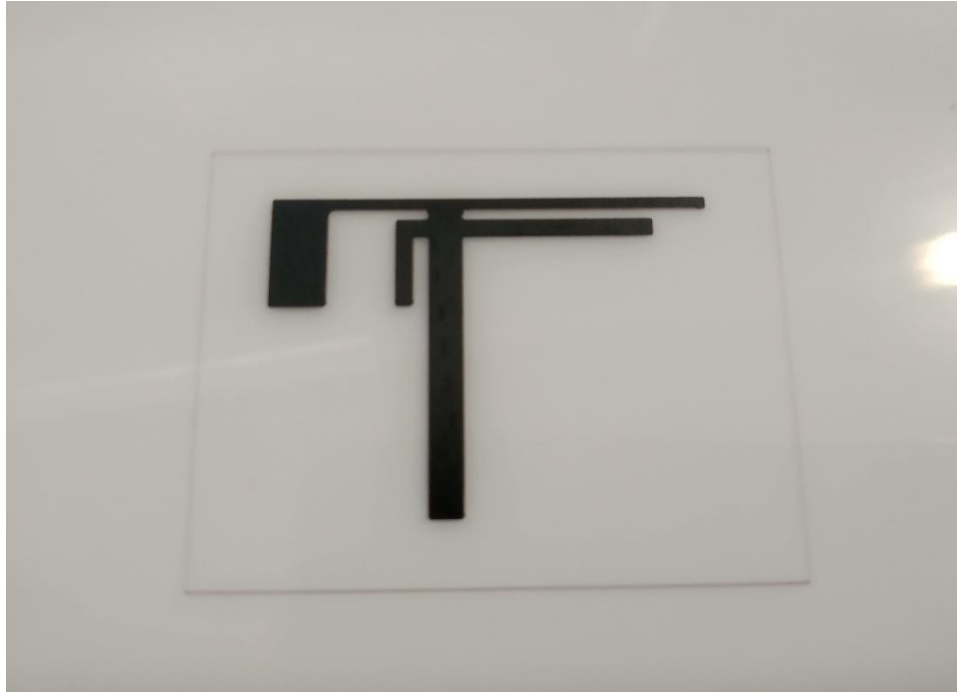


Figura 23. Fotelito de antena PIFA LTE+WiFi.



Figura 24. Fotelito de plano de masa.

Una vez disponemos de ambas láminas de fotolito, las doblamos por la mitad haciendo coincidir cada antena con su plano de masa, e introducimos una placa de sustrato FR-4 en su interior.

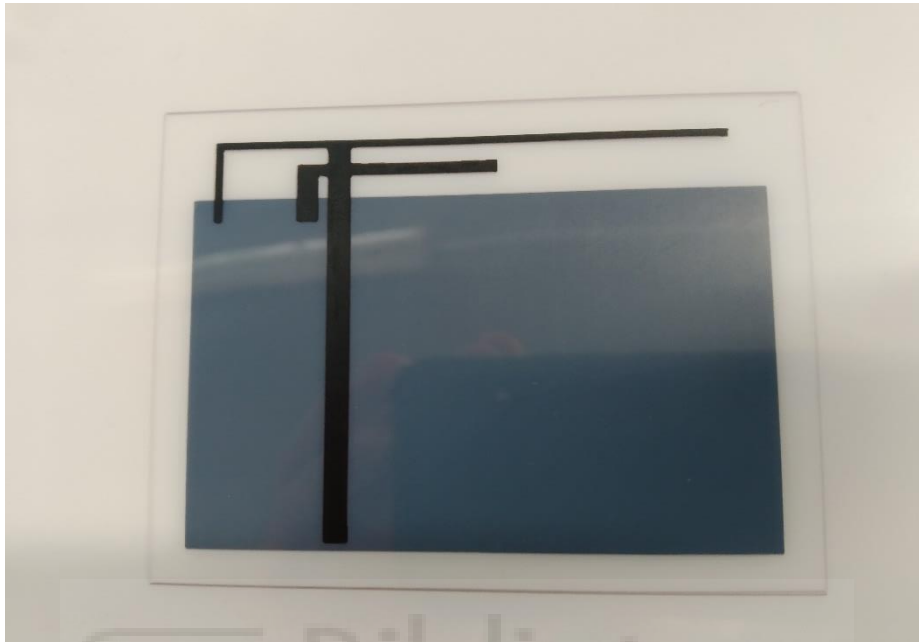


Figura 25. Fotolito de antena PIFA UMTS + plano de masa.

A continuación, introducimos la placa recubierta por el fotolito en la insoladora y la activamos.

La insoladora ilumina mediante una fuente de luz interna el fotolito, el cual se encuentra en contacto directo con el sustrato. El sustrato se encuentra recubierto de un material fotosensible, permitiendo así la formación de una imagen negativa sobre su superficie. Todo esto se produce en condiciones de vacío.

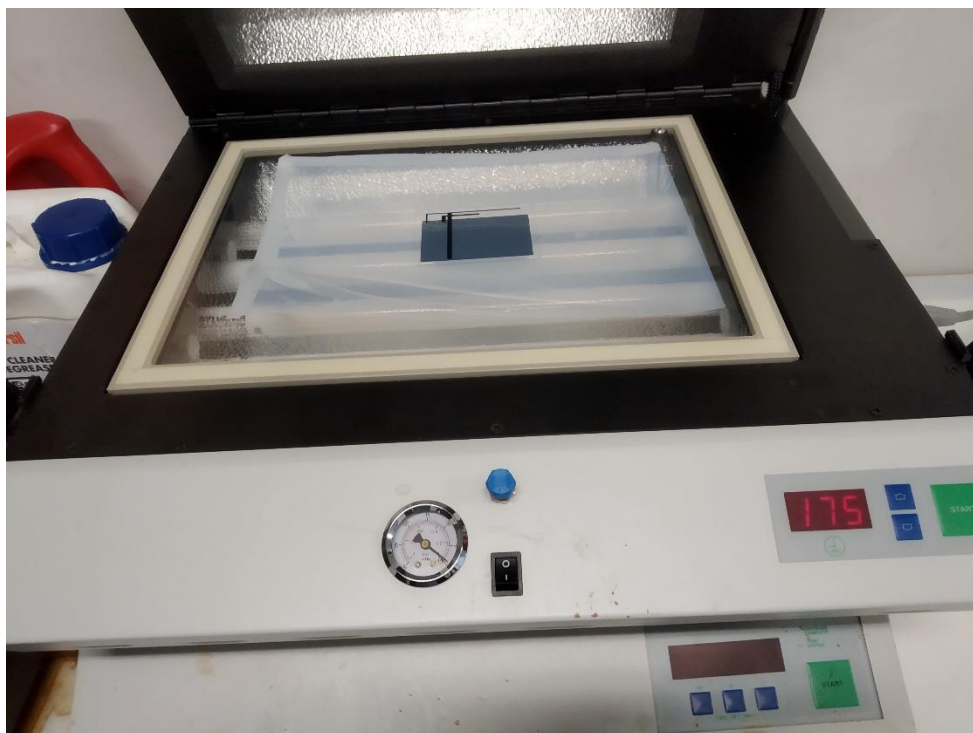


Figura 26. Fotolito introducido en la insoladora.

Al finalizar, se extrae la placa y se retira el fotolito. Acto seguido, se introduce la placa en un líquido revelador para que elimine los restos de barniz fotosensible que queden el sustrato. Se deja que repose en el líquido durante 10 ó 15 minutos.



Figura 27. Placa sumergida en líquido revelador.

Una vez transcurrido ese tiempo, se extrae nuevamente la placa y se somete a un ataque químico con ácido para eliminar toda la superficie de cobre que se encuentra en la placa, pero que no forma parte de la antena. Este proceso es bastante más largo y requiere, al menos, de unos 30 minutos.



Figura 28. Placa sometida a ataque químico con ácido.

Al finalizar este período de tiempo, comprobamos que la única superficie de cobre que queda sobre el sustrato sea la de la antena. Si esto es así, podemos proceder a cortar los bordes de la placa para eliminar aquellas partes que resulten innecesarias, y obtener finalmente las dimensiones de la placa deseadas.

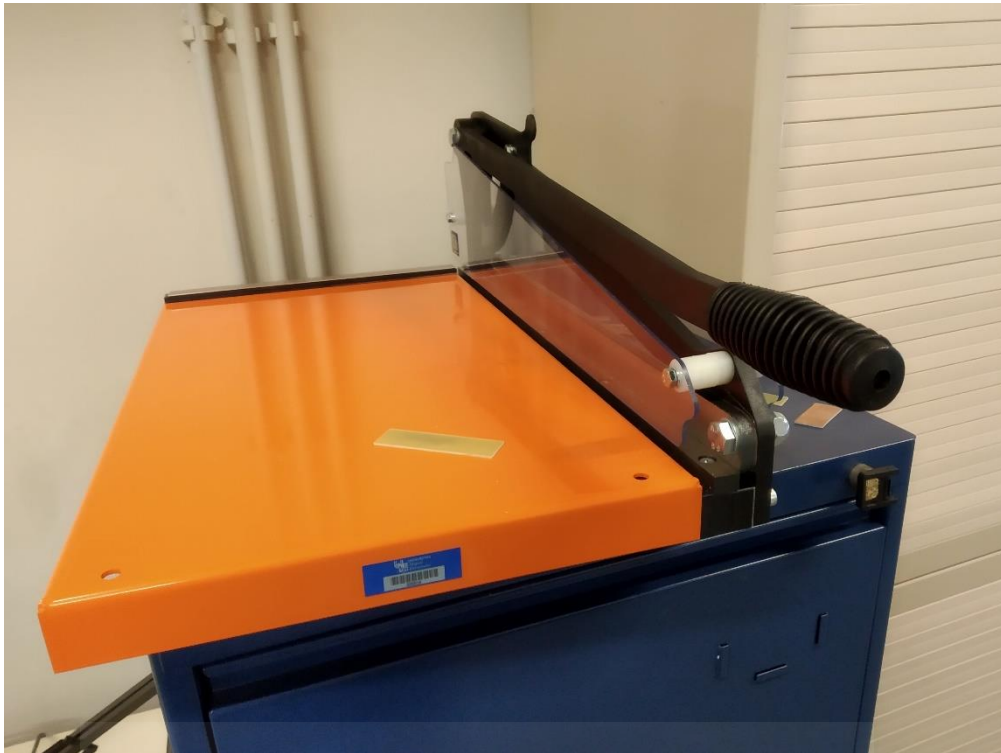


Figura 29. Corte de los bordes sobrantes.

Una vez cortadas las partes excedentes, obtenemos finalmente las antenas deseadas.

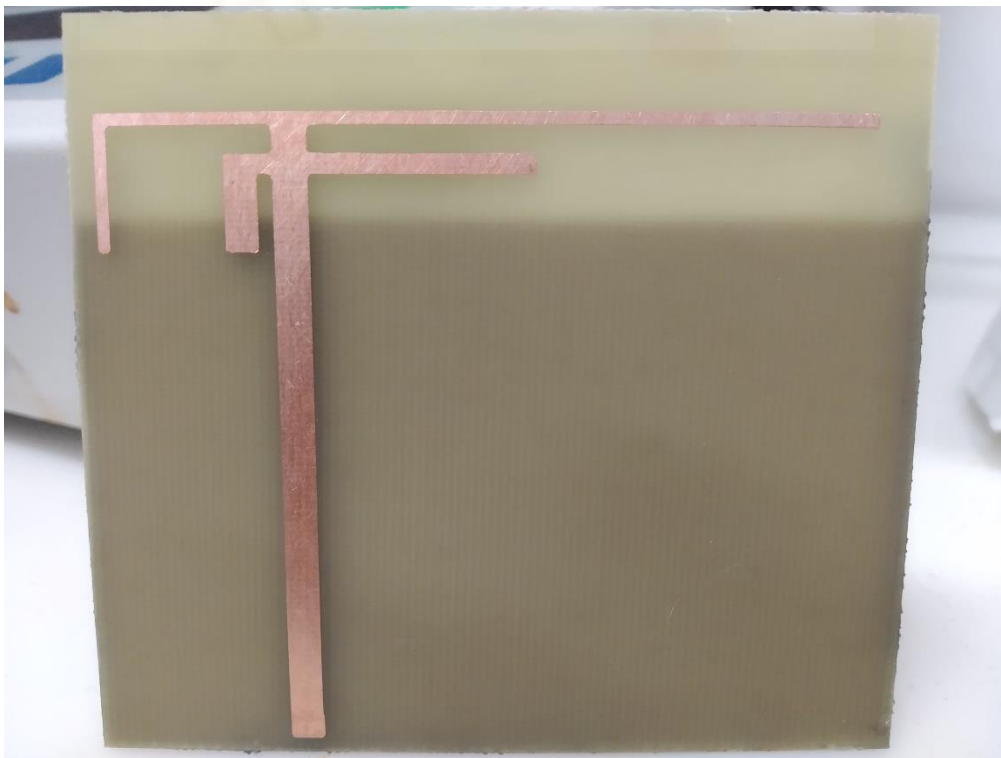


Figura 30. Antena UMTS parte frontal.

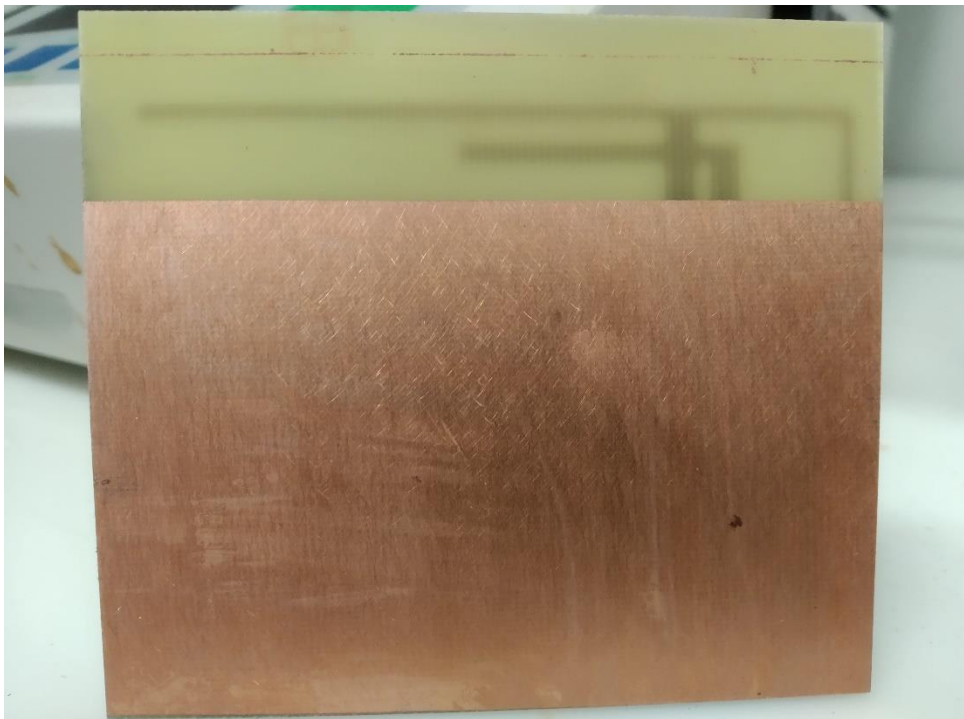


Figura 31. Antena UMTS parte trasera.

Por último, para finalizar el proceso de fabricación procederemos a soldar los conectores SMA a ambas placas, para permitir su conexión e incorporación al resto de elementos del sistema.

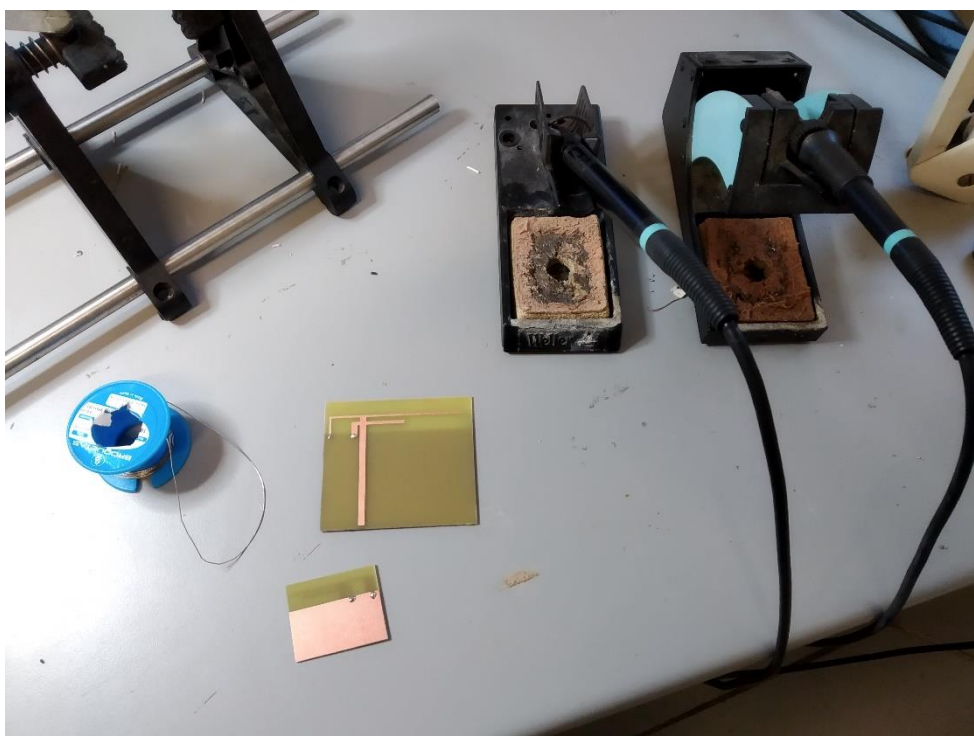


Figura 32. Proceso de soldadura de los conectores.

Ahora que disponemos de ambas antenas, procedemos a examinarlas con el analizador vectorial de redes para ver si los resultados que se obtienen se corresponden con los obtenidos durante las simulaciones.

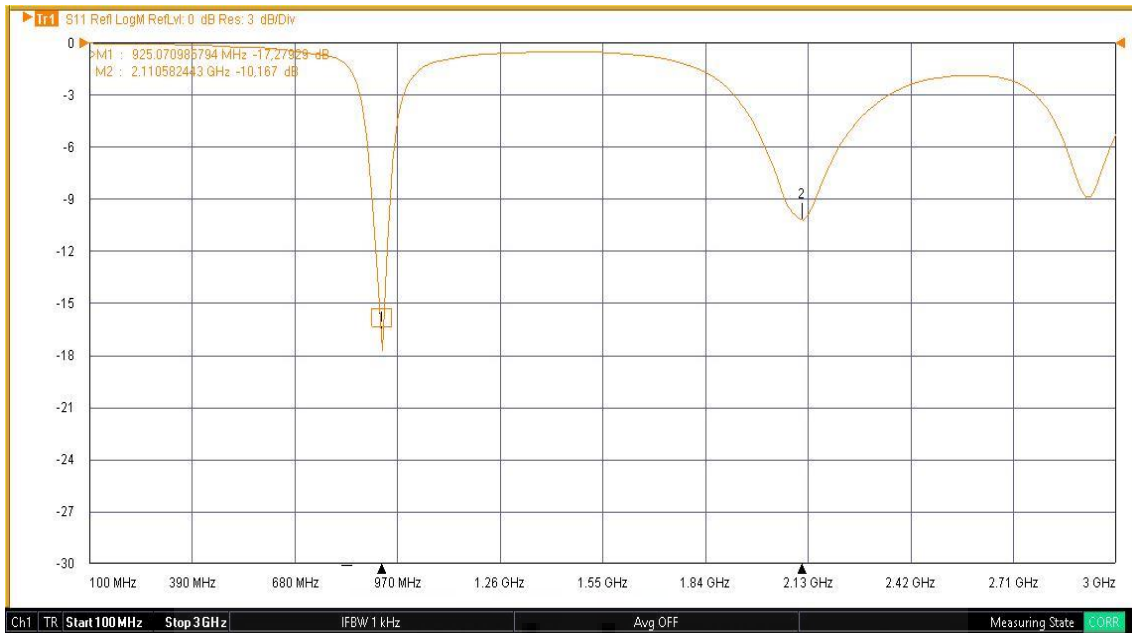


Figura 33. Parámetro S_{11} medido de antena UMTS.

En la gráfica superior se muestra el parámetro de dispersión S_{11} para la antena correspondiente a las bandas de 900 MHz y 2100 MHz, pertenecientes a la red UMTS. Este parámetro nos indica la reflexión que sufre la señal al alcanzar la antena. De este modo, los mínimos de reflexión suponen máximos de transmisión, es decir, las frecuencias a las cuales transmite la antena.

Según puede verse, encontramos tres mínimos de los cuales los dos primeros se corresponden con las dos bandas para las que ha sido diseñada la antena; y el tercero, se corresponde con un armónico.

Al parecer, se ha producido durante el proceso de fabricación un desplazamiento en frecuencia, de manera que los máximos de transmisión se encuentran ahora en torno a los 925 MHz y los 2110 MHz. Además, vemos que la transmisión también ha empeorado con respecto a los valores obtenidos durante la simulación.

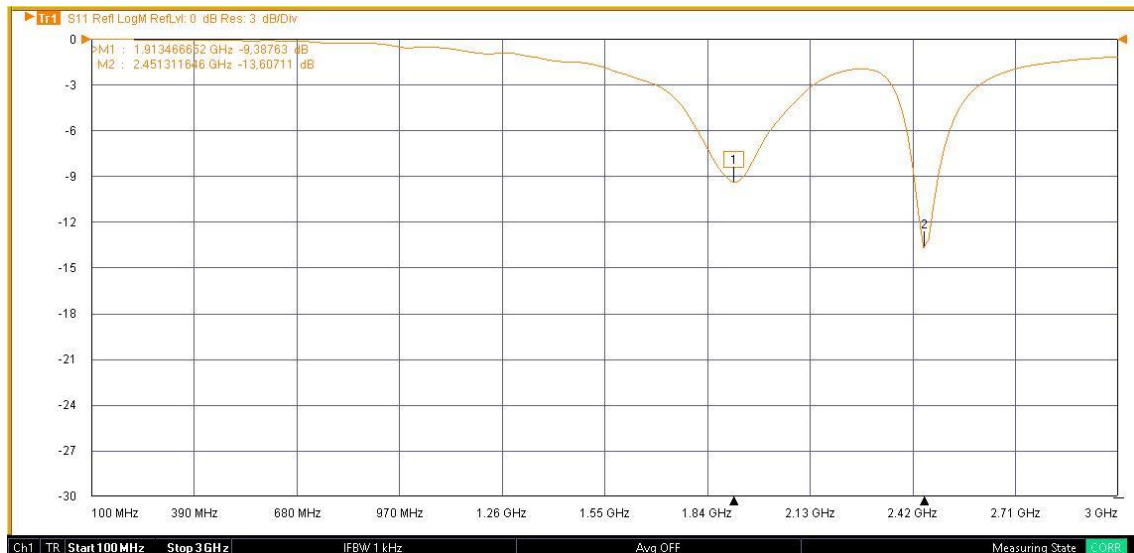


Figura 34. Parámetro S₁₁ medido de antena LTE+WiFi.

La gráfica anterior corresponde a la antena diseñada para las bandas de 1800 MHz (LTE) y 2400 MHz (WiFi). Al igual que ha ocurrido con la primera antena, vemos que se ha producido un desplazamiento en frecuencia, mucho mayor que en el caso anterior. Ahora las frecuencias en las cuales se encuentran los máximos son 1910 MHz y 2450 MHz.

Tras repasar y reevaluar todo el proceso de fabricación, averiguamos que el fallo se encuentra en que el sustrato FR-4 empleado, posee una permitividad relativa ligeramente inferior a la utilizada durante el proceso de diseño, por lo que el comportamiento de la antena se ve ligeramente alterado.

2.5.4. Prueba de Campo

Una vez que disponemos de todos los elementos que componen el sistema, se procede a su montaje para poner en prueba el funcionamiento del inhibidor.

La prueba consistirá en realizar una llamada telefónica a una distancia suficientemente lejana al inhibidor que permita el establecimiento e inicio de la llamada. A continuación, iremos acercando el terminal al inhibidor para ver a qué distancia se cae la llamada. Todo el proceso será monitorizado mediante el software **Nemo Outdoor**, que permitirá el posterior análisis de todos los parámetros y eventos relevantes que se produzcan durante la prueba.

Para la realización del experimento, se forzará el dispositivo móvil a la banda de 900 MHz (UMTS), a través de una de las opciones que ofrece el *software* presente en el terminal. Se ha escogido esta banda, ya que es la que presentaba mejores resultados tras el proceso de fabricación de su antena.

Los elementos que han sido finalmente seleccionados para la realización de esta prueba son: el oscilador VCO_ZX95-2150VW-S+, el amplificador ZX60-83LN-S+, la antena UMTS (900 y 2100 MHz) y el generador de señales del laboratorio.

El experimento se ha realizado en el pasillo que se encuentra a la salida de los laboratorios. Para ello, se han colocado el inhibidor y todos los equipos de alimentación necesarios sobre un carrito en uno de los extremos del pasillo, con la antena situada en dirección perpendicular al pasillo, tal y como se muestra en la siguiente imagen:

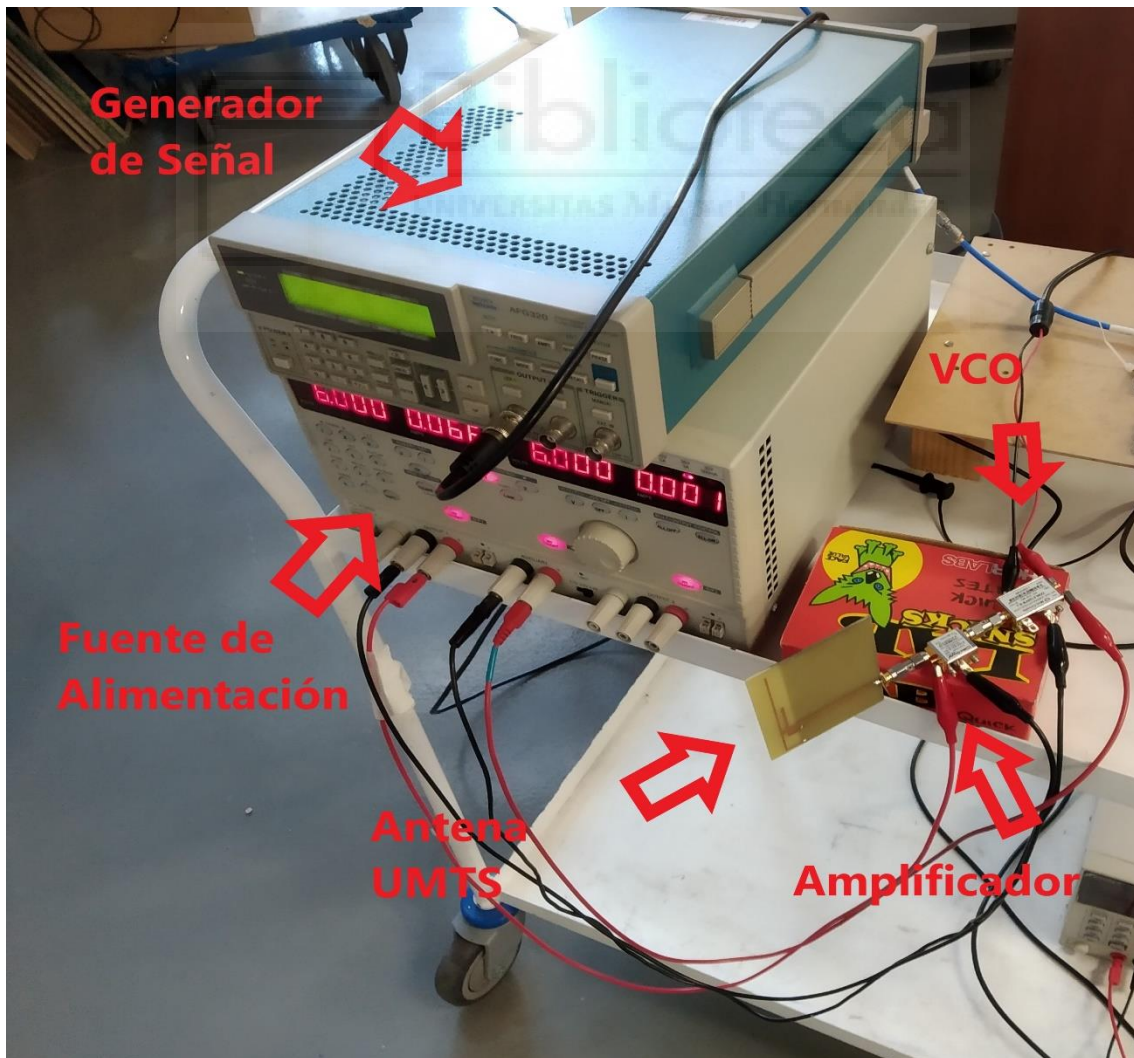


Figura 35. Sistema inhibidor al completo.

A continuación, se ha extendido un metro a lo largo del pasillo para poder comprobar la distancia a la cual el inhibidor es capaz de producir la caída de la llamada.



Figura 36. Zona de prueba. Pasillo de los laboratorios.

Una vez preparado el entorno de prueba, se ha comenzado a generar una señal de ruido con el generador de funciones, y se ha introducido en el sistema.

Tras el proceso de modulación y de amplificación la señal de ruido que llega a la antena es la siguiente:

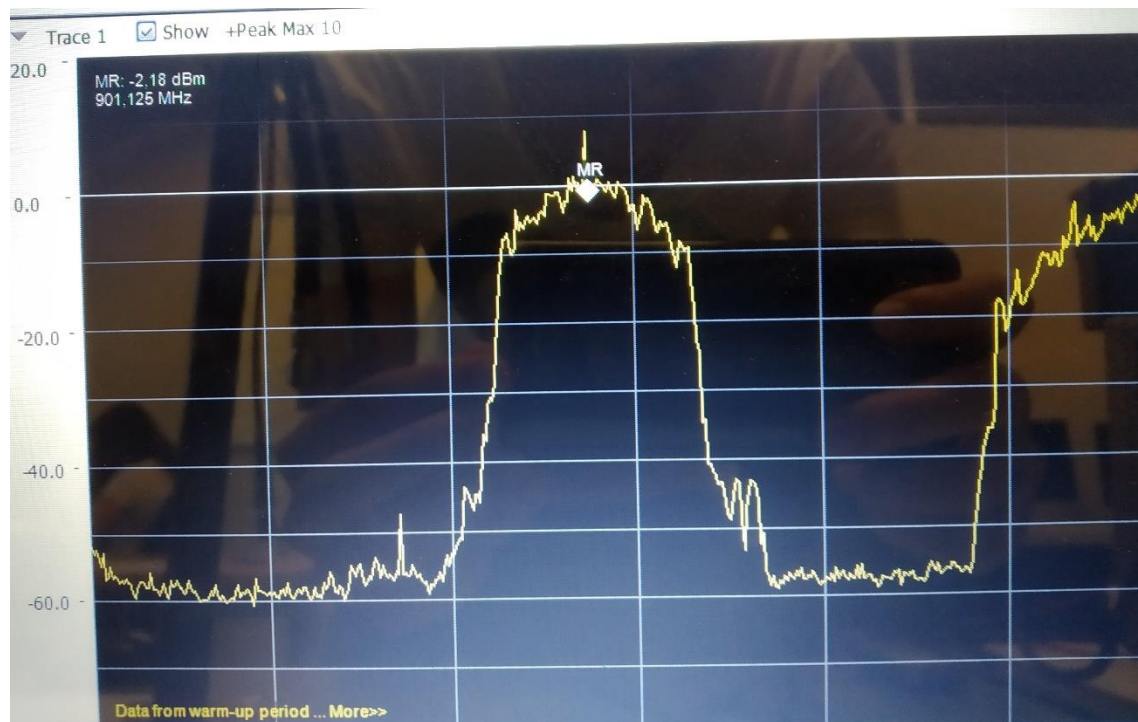


Figura 37. Señal de ruido transmitida.

Tras comprobar que el inhibidor se encuentra en funcionamiento, se inicia la llamada desde el otro extremo del pasillo y procedemos a acercarnos con el terminal. A medida que nos acercamos, podemos observar que el sonido se congela cada vez con más frecuencia, hasta que finalmente la llamada se corta por completo a 16 metros y medio del inhibidor.

Al observar el terminal, vemos que éste indica que no hay cobertura y que no es posible establecer conexión con la red.

Por último, intentamos realizar nuevamente una llamada desde esa misma distancia del inhibidor y vemos que es imposible. De este modo, queda comprobado que el inhibidor funciona correctamente.

2.5.5. Análisis de los resultados

Una vez finalizada la prueba, exportamos todos los datos almacenados en el terminal y los abrimos con el software **Nemo Outdoor** para proceder a analizarlos.

Los parámetros que han sido considerados de interés y que se van a analizar a continuación son los siguientes: E_c/N_0 , Block Error Rate (BLER) y Power-Up commands.

- **E_c/N_0 :** Este parámetro nos indica la relación entre la energía recibida de la señal piloto (CPICH) por chip (E_c), y la densidad de ruido (N_0) que se encuentra presente en el canal. O visto de otra manera, la relación entre la señal recibida (RSCP) y la suma de todos los niveles de señales en la misma frecuencia (RSSI).

Cuanto mayor sea el valor del E_c/N_0 , mayor será la diferencia entre la señal y el ruido y, por lo tanto, mayor será la calidad de la llamada.

Este parámetro resulta clave para analizar el efecto disruptivo de la señal del inhibidor durante la llamada, puesto que a medida que el terminal se acerque al inhibidor, el ruido aumentará y veremos como el valor del E_c/N_0 se reduce de manera drástica.

- **Block Error Rate (BLER):** La tasa de error de bloque, o BLER, es un parámetro que indica la relación entre los bloques recibidos con errores, y la suma total de los bloques recibidos a lo largo del tiempo de medición. Éste resulta de interés, ya que, a medida que el terminal entre en el rango de acción del inhibidor, se podrá ver cómo el número de bloques recibidos con errores comienza a aumentar gradualmente y, por consiguiente, aumentará el valor de la BLER.

- **Power-Up commands:** A lo largo del proceso de comunicación que se produce entre la estación base y el terminal durante una llamada, la estación base envía continuamente señales de control de potencia (TPC) al terminal, indicando si éste debe aumentar o disminuir su potencia de transmisión. Estas señales se conocen como comandos *Power-Up* y *Power-Down* y producen un aumento o una disminución de 1 dB en la potencia de transmisión del terminal. Será interesante su estudio, puesto que a medida que aumente el ruido y disminuya la E_c/N_0 , podremos ver

cómo el número de comandos *Power-Up* recibidos se incrementa, en un intento de mantener la llamada activa.

Una vez vistos cuáles son los parámetros de interés que vamos a analizar, procedemos a la visualización de los mismos. En primer lugar, comenzaremos con el Ec/No.

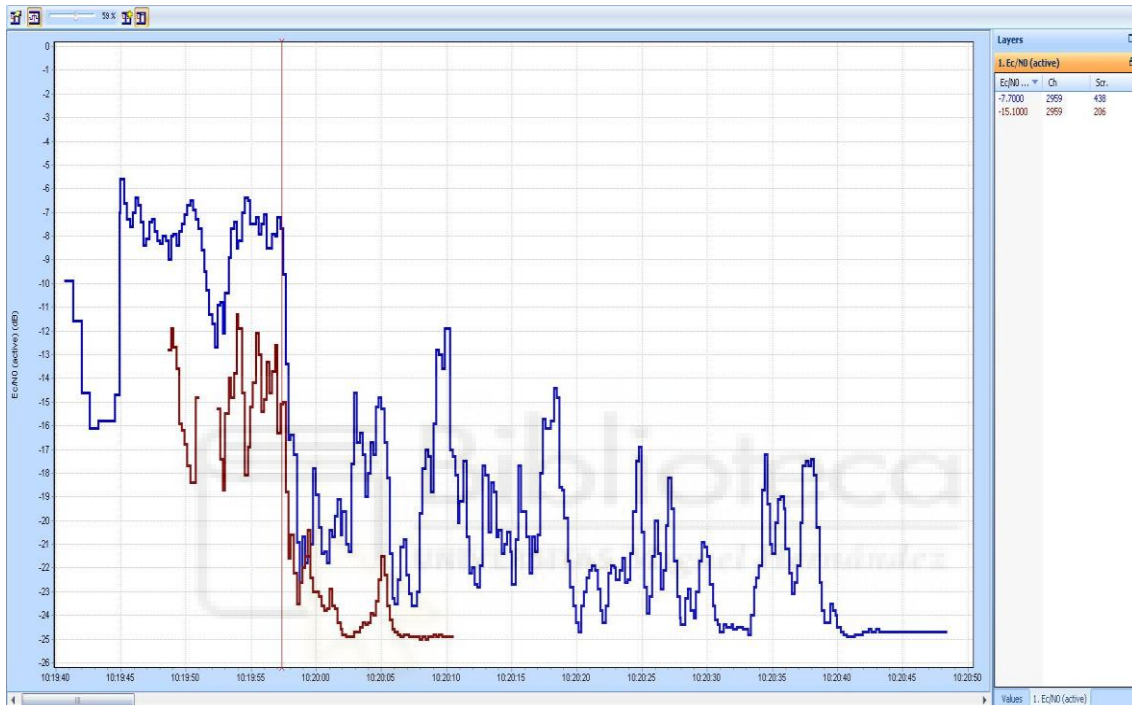


Figura 38. Evolución del Ec/No a lo largo de la prueba.

En la imagen superior se muestra la gráfica correspondiente al Ec/No obtenido durante la simulación. Se puede apreciar que, inicialmente, el móvil se encuentra conectado simultáneamente a dos estaciones base diferentes y que presenta unos niveles de Ec/No altos y estables. No obstante, al comenzar a acercarnos al inhibidor, estos niveles comienzan a disminuir y a tener un comportamiento inestable hasta que finalmente la llamada se corta.

La bajada del Ec/No supone que cada vez el ruido presente en el canal es mayor. Es interesante apreciar que ambas conexiones se cortan cuando el Ec/No cae por debajo de los -25dB.

A continuación, se mostrarán los resultados obtenidos para la BLER.

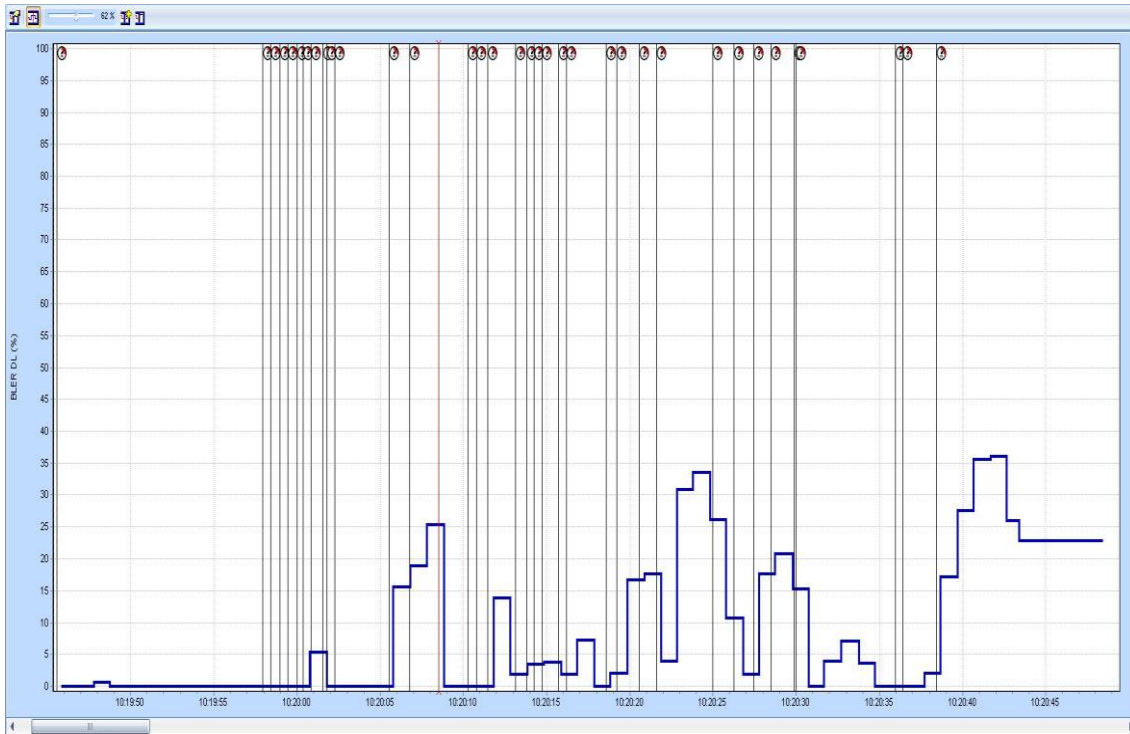


Figura 39. Evolución de la BLER a lo largo de la prueba.

Según puede apreciarse, al inicio de la conexión la BLER es prácticamente nula, pero conforme el terminal se va acercando al inhibidor (vemos que coincide con la caída del E_c/N_0 vista en la gráfica anterior) comienza a aumentar su valor hasta que finalmente se corta la llamada. Parece ser que la pérdida de la conexión se produce cuando el BLER sobrepasa, aproximadamente, el 25%. Es posible que al superar este valor la red decida que la conexión no es viable y finalice la llamada de manera automática.

Finalmente, tenemos como tercer y último parámetro de interés el porcentaje de comandos de *Power-Up* del canal descendente.

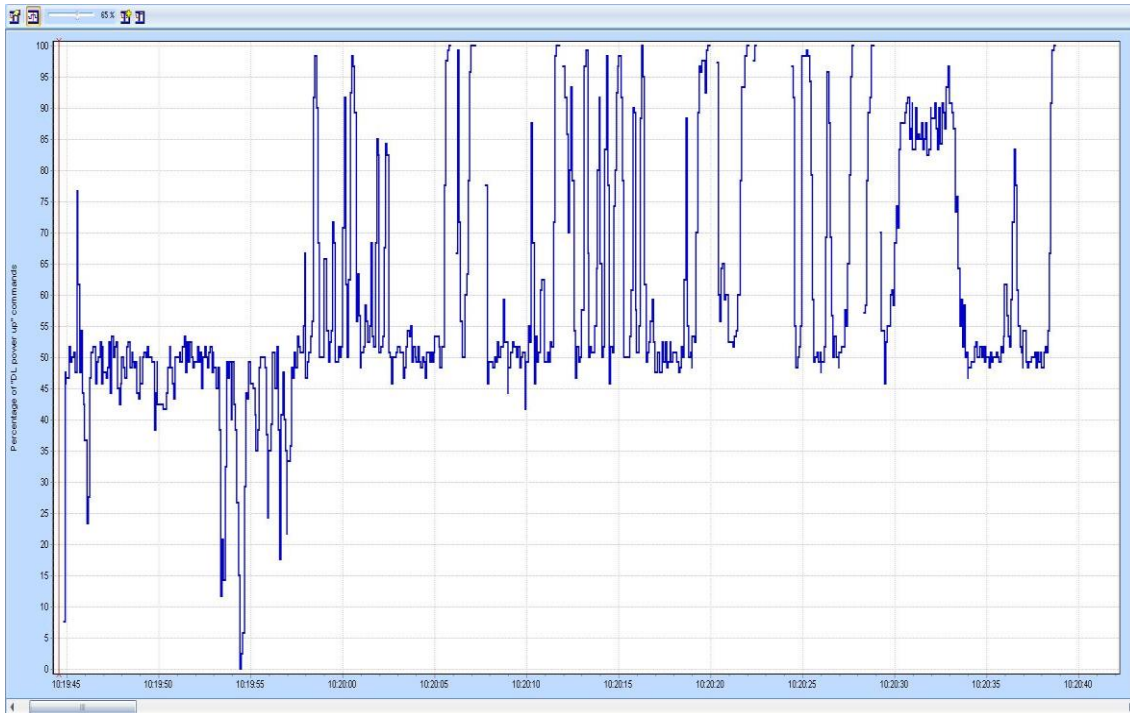


Figura 40. Porcentaje de comandos *Power-Up* a lo largo de la prueba.

En la imagen anterior se puede observar que, al acercar el terminal a la distancia efectiva del inhibidor, el número de comandos *Power-Up* recibidos se eleva hasta suponer el 100% de los comandos de control de potencia que se reciben durante la transmisión. De este modo, el terminal intenta aumentar la potencia de transmisión para compensar el ruido introducido por el inhibidor, aunque finalmente no sea suficiente y se produzca la caída de la llamada.

2.5.6. Conclusiones de la Prueba

Según se ha podido comprobar con la realización de la prueba, el inhibidor es capaz de interferir las llamadas telefónicas realizadas en la banda de los 900 MHz (UMTS), dentro de un radio de alcance de aproximadamente 16 metros. No obstante, hay que tener en cuenta que la prueba fue realizada en un pasillo, por lo que éste pudo haber servido de guía, aumentando el alcance efectivo del inhibidor.

Es de esperar que en espacio abierto la distancia efectiva se reduzca, por lo que sería interesante el uso de antenas más directivas para “simular” el efecto de guía del pasillo y aumentar la distancia también en espacios abiertos, ya que un aumento de potencia de transmisión en nuestro caso no es viable.

Con el objetivo de aumentar el rango de alcance del inhibidor y de corregir los defectos de fabricación que afectan a las antenas, se procederá al diseño de nuevos tipos de antenas.

2.6. 2º Prototipo

2.6.1. Antena Yagi

La antena Yagi es un tipo de antena direccional que fue inventada por los ingenieros japoneses Hidetsugu Yagi y Shintaru Uda en 1926. Fue durante la Segunda Guerra Mundial cuando adquirió gran notoriedad debido a su uso como antena de radar, aunque en la actualidad su uso se ha limitado principalmente a la recepción de señales de televisión y de señales, generalmente, correspondiente a las bandas HF, VHF y UHF.

Esta antena se encuentra formada esencialmente por dos tipos de elementos: elementos de excitación y elementos parásitos.

Los elementos de excitación pueden ser activos o excitados y suelen estar directamente conectados a una línea de transmisión que recibe potencia de la fuente. Suelen conocerse comúnmente como alimentadores o excitadores.

Por otro lado, se encuentran los elementos parásitos que no se encuentran conectados a ninguna fuente de alimentación y reciben la energía a través de la inducción mutua. Estos elementos pueden clasificarse a su vez en dos tipos: reflectores y directores.

El reflector es el elemento parásito más largo de todos. Su tamaño debe ser siempre superior al del excitador y su función es reducir la intensidad de la señal que está en su dirección, aumentando la que se encuentra en dirección del dipolo; es decir, concentra toda la señal que se irradia en la parte trasera de la antena, y la redirige a la parte frontal de ésta.

Los directores, por el contrario, son elementos con un tamaño menor al del elemento excitador y su función es incrementar la intensidad de campo en su dirección. El número de estos elementos determina la ganancia directiva de la antena, pues al aumentar el número de directores la ganancia aumenta rápidamente con pocos elementos, y lentamente para un número mayor.

La antena Yagi puede llegar a conseguir una ganancia de hasta 15 dBi y suele presentar unos niveles de ruido relativamente bajos debido a su reducida anchura de banda.

2.6.2. Diseño de Antena Yagi

Una vez visto el funcionamiento de la antena Yagi y sus principales elementos y características, procedemos al diseño de varias de estas antenas para cubrir las bandas de frecuencias deseadas: 800, 900, 1800, 2100, 2400 y 2600 MHz.

Para ello, usaremos el software 4nec2, el cual nos permitirá tanto realizar el diseño de las antenas, como simular su comportamiento y visualizar los resultados obtenidos. A continuación, se describirá detalladamente todo el proceso de diseño de la antena Yagi, tomando como ejemplo la correspondiente a la banda de 800 MHz, que posteriormente se irá repitiendo para cada una de las bandas de interés.

Lo primero que deberemos de tener en cuenta es el diagrama de la antena y los parámetros físicos de diseño que vamos a ir alterando a lo largo del proceso.

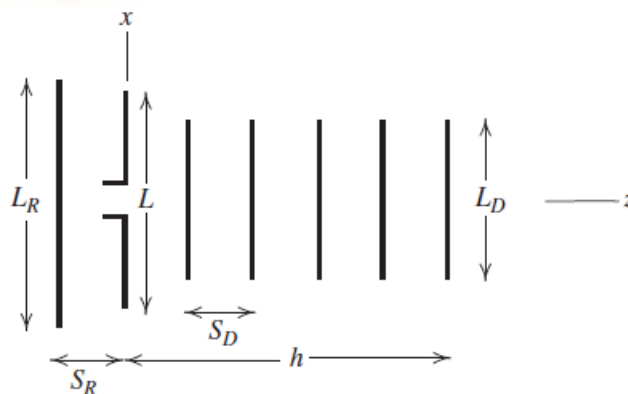


Figura 41. Diagrama de una antena Yagi.

Tal y como se puede ver en la imagen anterior, los principales parámetros de la antena son: la longitud del reflector L_R , la longitud del excitador L , la longitud de los directores L_D , la separación entre el reflector y el excitador S_R , y la

distancia entre cada uno de los directores S_D . También cabe destacar la importancia del radio de dichos elementos R y de la longitud total de la antena h .

Para comenzar con el diseño, hacemos uso de la siguiente tabla, la cual muestra unos valores optimizados para las longitudes de los diferentes elementos parásitos que componen la antena. Estos valores servirán inicialmente de referencia y serán ajustados a lo largo del proceso de diseño.

$d/\lambda = 0.0085$ $S_R = 0.2\lambda$	Boom Length of Yagi-Uda Array, λ					
	0.4	0.8	1.20	2.2	3.2	4.2
Length of reflector, L_R/λ	0.482	0.482	0.482	0.482	0.482	0.475
D_1	0.442	0.428	0.428	0.432	0.428	0.424
D_2		0.424	0.420	0.415	0.420	0.424
D_3		0.428	0.420	0.407	0.407	0.420
D_4			0.428	0.398	0.398	0.407
D_5				0.390	0.394	0.403
D_6				0.390	0.390	0.398
D_7				0.390	0.386	0.394
D_8				0.390	0.386	0.390
D_9				0.398	0.386	0.390
D_{10}				0.407	0.386	0.390
D_{11}					0.386	0.390
D_{12}					0.386	0.390
D_{13}					0.386	0.390
D_{14}					0.386	
D_{15}					0.386	
Spacing between directors (S_D/λ)	0.20	0.20	0.25	0.20	0.20	0.308
Gain relative to half-wave dipole, dBd	7.1	9.2	10.2	12.25	13.4	14.2
Design curve (Fig. 6-25)	(A)	(C)	(C)	(B)	(C)	(D)
Front-to-back ratio, dB	8	15	19	23	22	20

Figura 42. Valores de referencia optimizados para elementos parásitos.

Para el diseño de estas antenas, se ha optado por incorporar doce elementos directores y un único reflector, junto con el excitador. Además, la distancia entre elementos será la misma para todos, siendo esta de 0.25λ ; y el radio será de 0.5 mm.

A continuación, realizamos una primera simulación usando como referencia algunos de los valores presentes en la tabla y obtenemos el siguiente resultado:

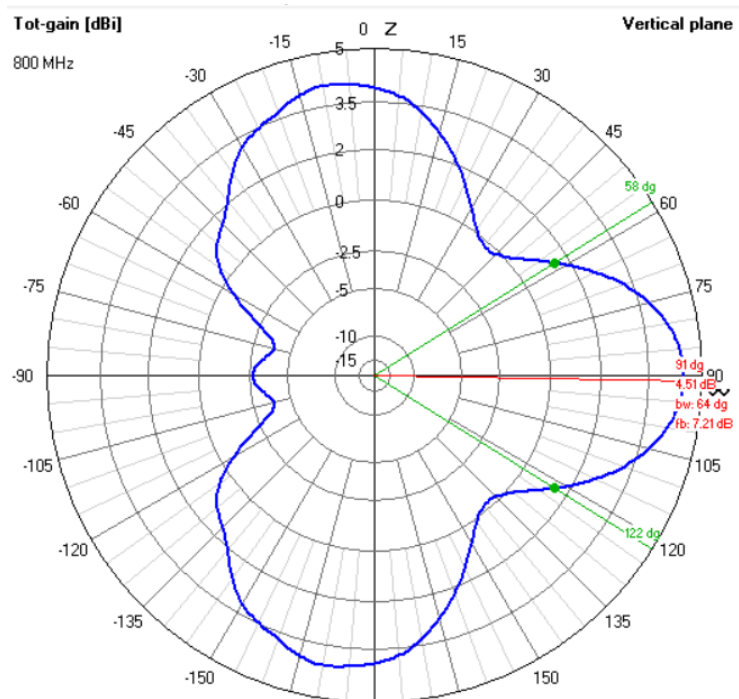


Figura 43. Diagrama de radiación inicial.

La imagen anterior nos muestra el plano vertical del diagrama de radiación de la antena, generada a partir de los valores de referencia. Tal y como se puede ver, la ganancia obtenida es muy baja y la forma no coincide con el patrón típico de una antena Yagi. Para solucionar esto, es necesario iniciar el proceso de ajuste de los parámetros de la antena.

En primer lugar, se buscará aumentar la ganancia de la antena. Para ello, se deberá modificar la longitud de los elementos directores hasta obtener la máxima ganancia posible.

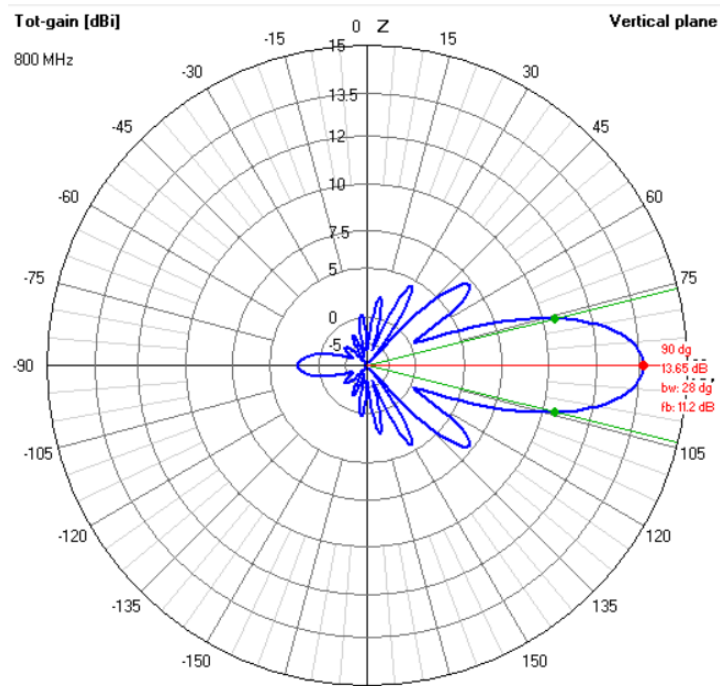


Figura 44. Diagrama de radiación con ajuste de directores para máx. ganancia.

Una vez obtenida la mayor ganancia posible (vemos que hemos pasado de 4.5 a 13.65 dB), el siguiente paso será ajustar la longitud del reflector para obtener la mayor relación delante/atrás (f/b) que sea posible, manteniendo la ganancia máxima dentro de lo posible.

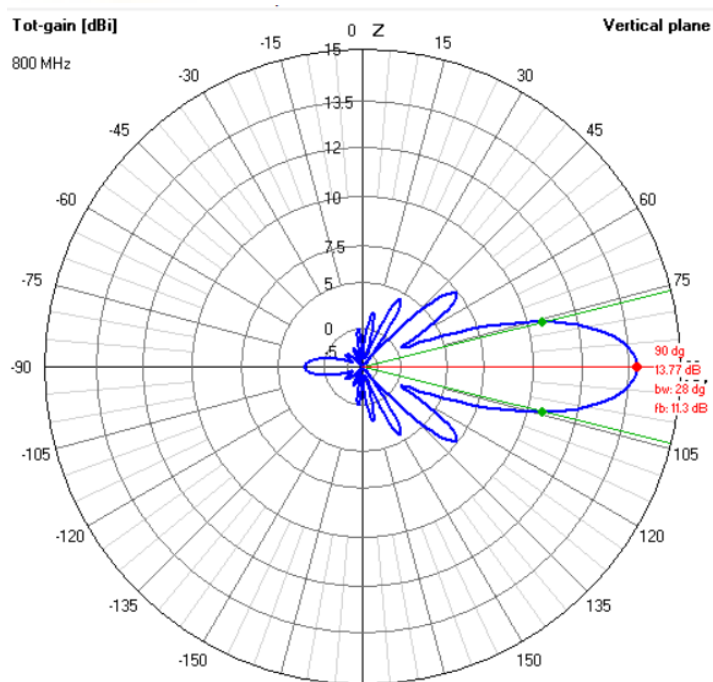


Figura 45. Diagrama de radiación con ajuste de reflector para máx. f/b.

Según vemos en la imagen anterior, al modificar el tamaño del reflector se ha conseguido mejorar ligeramente tanto la ganancia máxima como la relación delante/atrás.

El último paso por realizar será ajustar el excitador hasta conseguir una impedancia de entrada real de 50 Ω . Cabe mencionar que este proceso altera los valores obtenidos anteriormente, por lo que es necesario realizar un reajuste de dichos parámetros.

Finalmente, obtenemos el siguiente resultado:

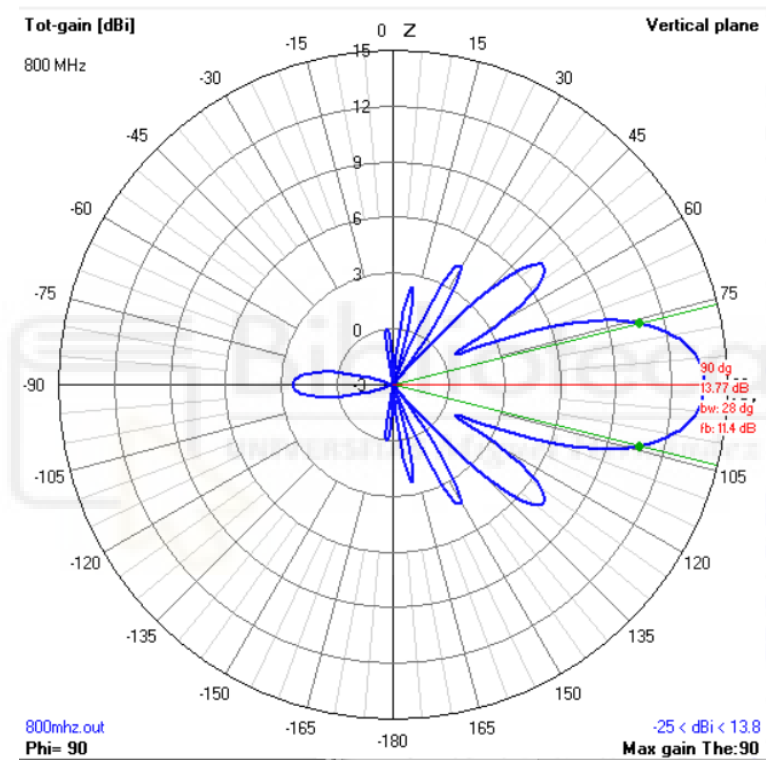


Figura 46. Diagrama de radiación final @800 MHz.

Según se puede apreciar, el resultado final obtenido ha sido una ganancia de 13.77 dB, una relación delante/atrás de 11.4 dB, y un ancho de haz a 3 dB de 28°. Todo esto manteniendo una impedancia de entrada de 50 Ω .

De esta manera, queda referenciado todo el proceso de diseño de una antena Yagi. Para el resto de bandas frecuenciales, bastará con repetir exactamente el mismo procedimiento para cada una de ellas.

Una vez realizado el diseño y optimización de todas las antenas, sus parámetros físicos quedan plasmados en la siguiente tabla (las dimensiones se muestran en mm):

Frecuencia MHz	800	900	1800	2100	2400	2600
	LTE	GSM/UMTS	GSM/LTE	UMTS	WiFi	LTE
L_R	178	150	75	66	55	52
L	152.5	135	64	54	47	43
L_D	140.5	124.5	56.7	47	40.4	35.8
S	93.8	83.3	41.7	35.7	31	29
R	5	5	5	5	5	5
h	1219	1083	541	464	403	377

Tabla 10. Parámetros de diseño antenas Yagi.

2.6.3. Resultados

A continuación, se muestran los diagramas de radiación obtenidos para cada una de las antenas:

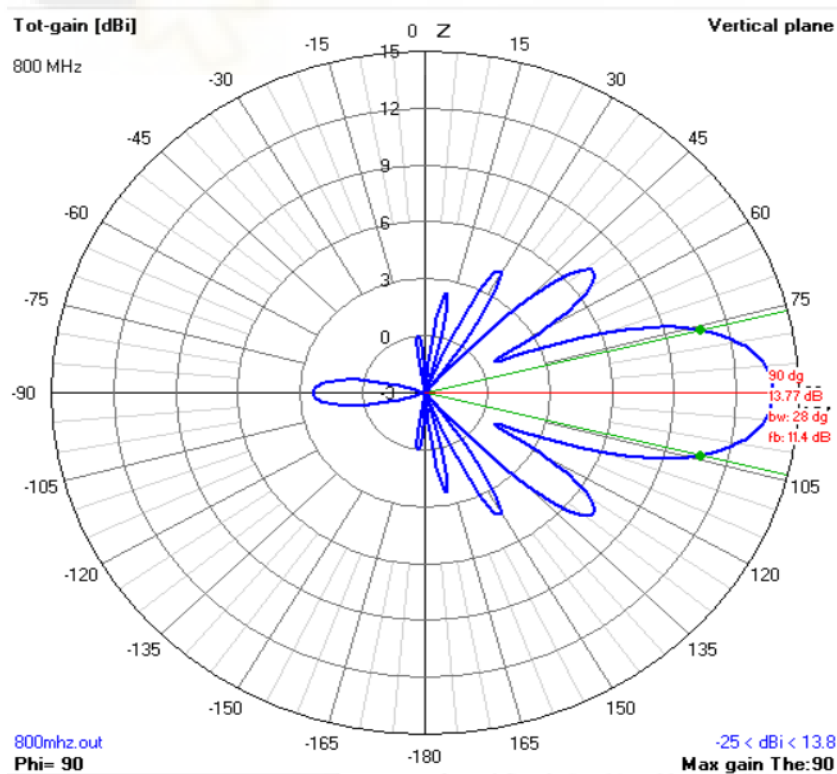


Figura 47. Diagrama de radiación @800 MHz.

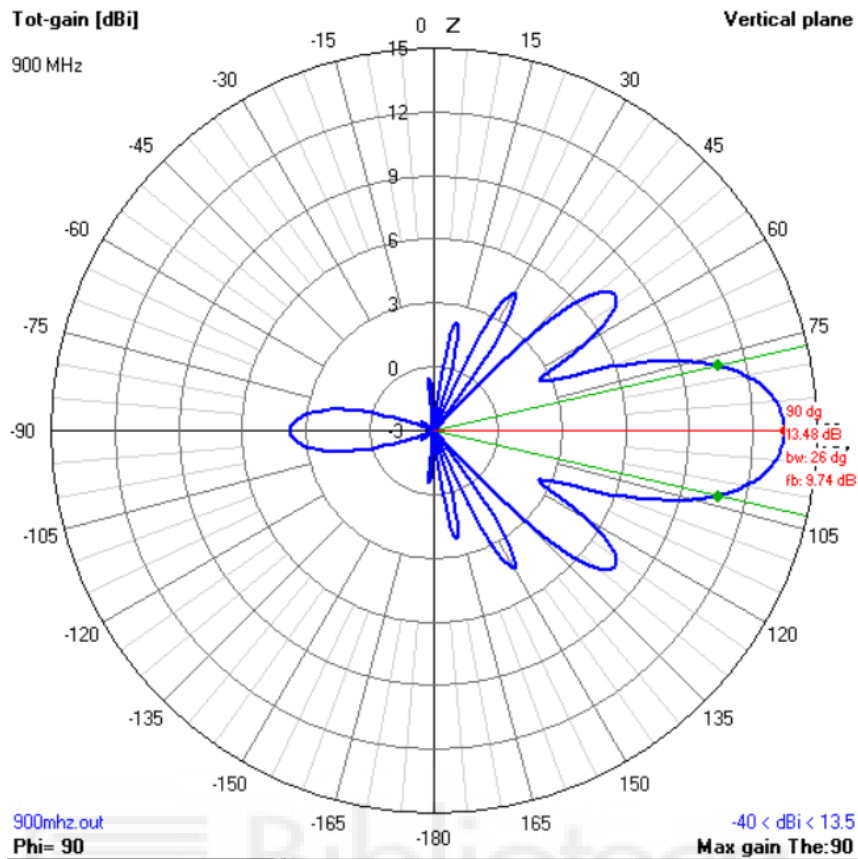


Figura 48. Diagrama de radiación @900 MHz.

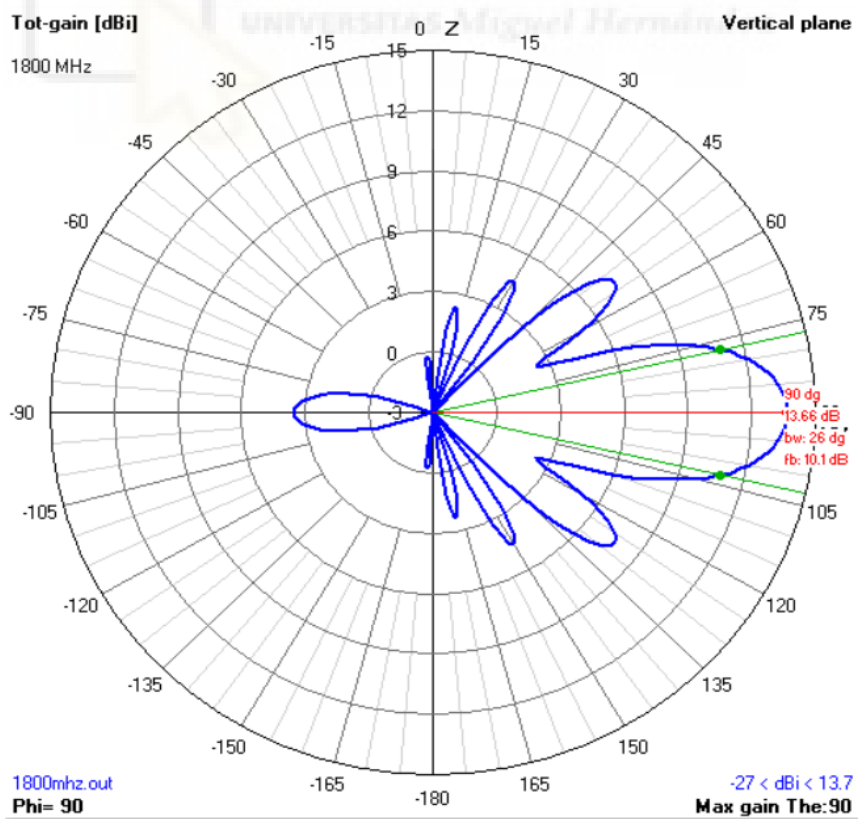


Figura 49. Diagrama de radiación @1800 MHz.

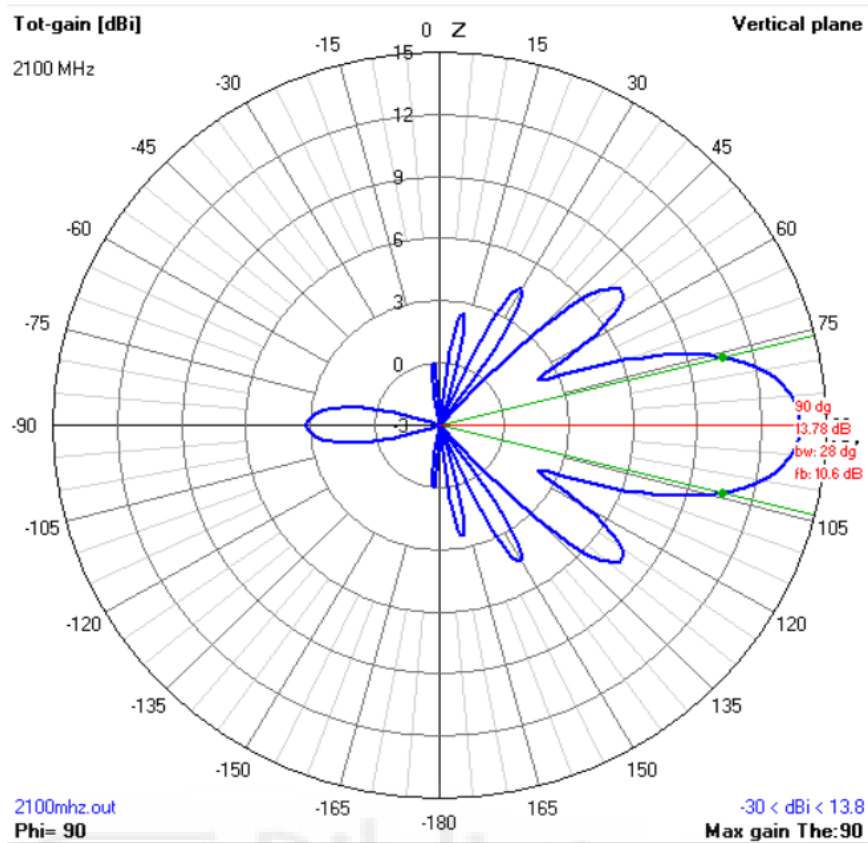


Figura 50. Diagrama de radiación @2100 MHz.

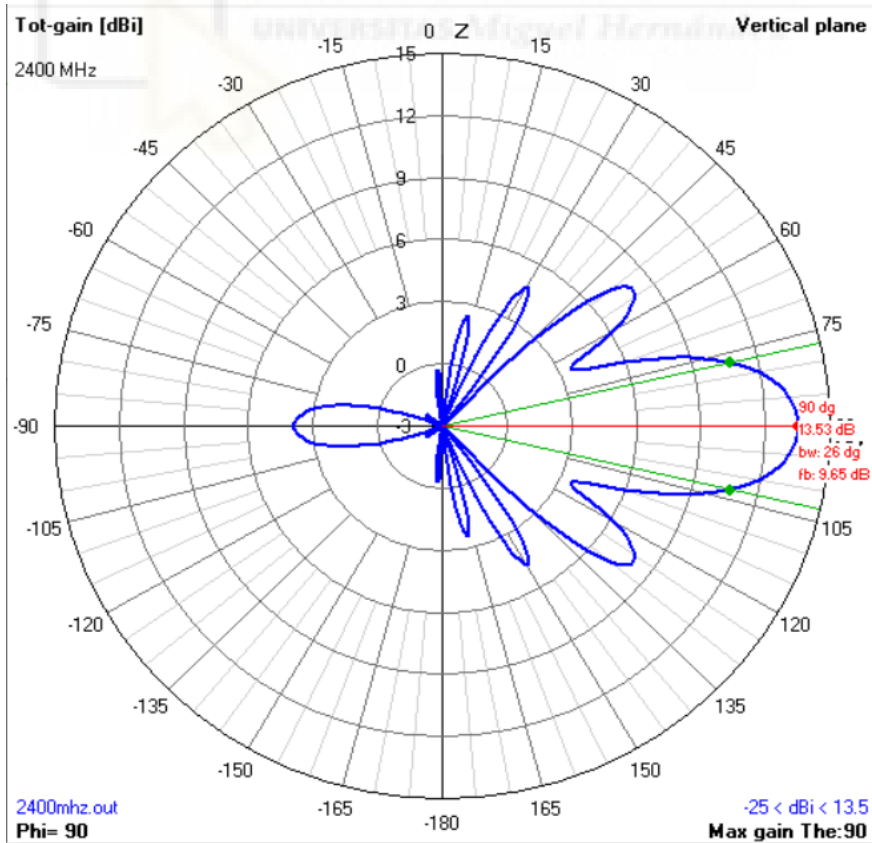


Figura 51. Diagrama de radiación @2400 MHz.

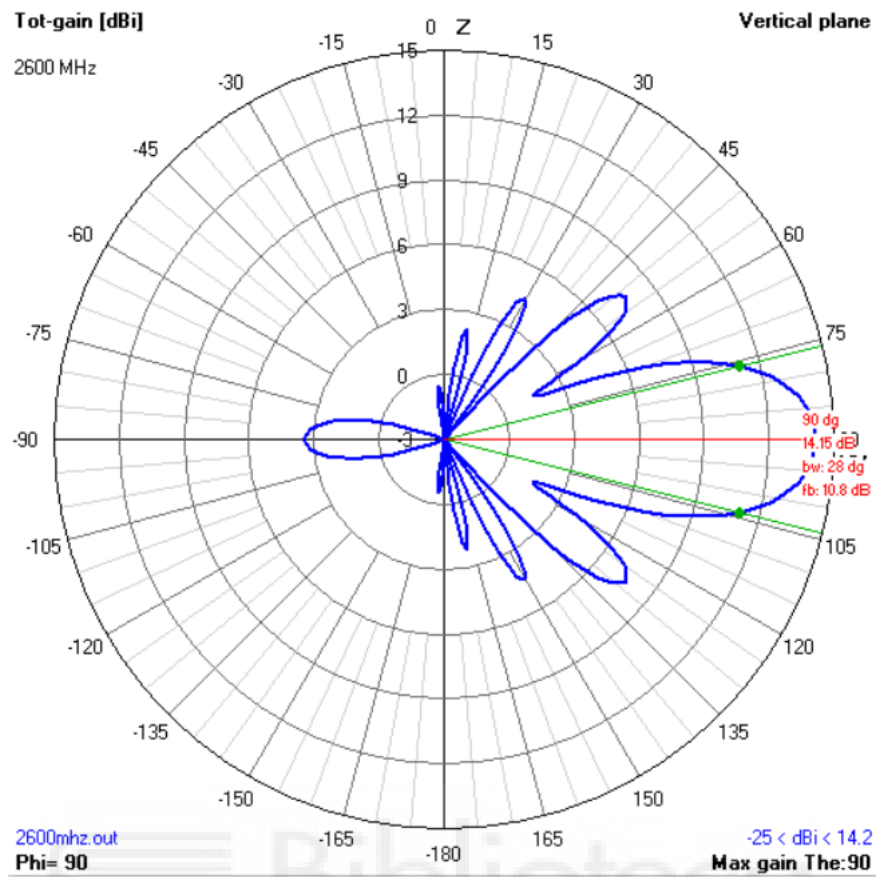


Figura 52. Diagrama de radiación @2600 MHz.

Finalmente, los principales parámetros de interés quedan recogidos en la siguiente tabla:

Frecuencia (MHz)	800 LTE	900 GSM/UMTS	1800 GSM/LTE	2100 UMTS	2400 WiFi	2600 LTE
Ganancia (dBi)	13.8	13.5	13.5	13.6	13.3	13.9
Relación delante/atrás (dB)	11.4	9.74	10.1	10.6	9.65	10.8
Impedancia (Ω)	49.6+j0.7	50.6+j0.15	50-j0.43	50-j0.47	50.6+j0.16	50+j0.62
SWR (50 Ω)	1.02	1.01	1.01	1.01	1.01	1.01

Ancho de Haz (3dB)	28°	26°	26°	28°	26°	28°
---------------------------	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Tabla 11. Resultados de simulación de antenas Yagi.

Tal y como podemos observar, hemos obtenido para todas las bandas unos valores de ganancia en torno a 13.5 dBi, lo cual supone un gran aumento con respecto a la ganancia que se había obtenido con la antena PIFA, la cual recordemos que era mucho inferior al tratarse de una antena de tipo omnidireccional. De este modo, podemos esperar que la distancia a la cual el inhibidor es capaz de interferir las comunicaciones haya aumentado considerablemente.

En cuanto al resto de parámetros, vemos presente una relación delante/atrás de alrededor de 10 dB, lo cual es buen resultado; una impedancia de entrada de 50 Ω que permite una buena adaptación con el cable coaxial; una relación de onda estacionaria SWR de 1.01 que indica que la práctica totalidad de la señal es transmitida, siendo muy bajas las reflexiones; y un ancho de haz a 3 dB de 26°/28° que resulta suficiente para cubrir la superficie de interés.

2.6.4. Fabricación

A pesar de que finalmente este proyecto no incluye la fabricación de dichas antenas, se procederá a continuación a detallar el proceso de fabricación de éstas que deberá seguirse de cara a posibles futuras implementaciones.

Para la fabricación de las antenas Yagi, se empleará una varilla de metal de 5 mm de radio, un conector coaxial SMA macho con una impedancia de 50 Ω , una soldadora y unos alicates o, en su defecto, cualquier herramienta que nos permita cortar la varilla de metal con la mayor precisión posible.

En primer lugar, se deberá cortar la varilla para obtener tanto los elementos parásitos (directores y reflector) como el elemento excitador. Para cada antena habrá que cortar 12 partes correspondiente a los directores, 1 parte para el excitador y otra para el reflector. Es de suma importancia que todas las piezas tengan la longitud exacta reflejada en el proceso de diseño, ya que cualquier variación supondrá, especialmente a altas frecuencias, alteraciones no

deseadas del comportamiento de la antena como el desplazamiento en frecuencia o la alteración del diagrama de radiación.

Una vez obtenidas todas las piezas, se deberá cortar la varilla correspondiente al excitador en dos partes iguales, que formarán el dipolo de media onda que generará la señal. Una de las partes deberá ser soldada al elemento activo del conector coaxial, y la otra a la malla exterior de éste. Es importante asegurarse de que durante el proceso de soldadura el elemento activo y la malla no entren en contacto pues, de lo contrario, quedarán cortocircuitados y el dipolo no será capaz de generar ninguna señal.

Finalmente, todas las piezas son soldadas o adheridas al mástil (dependiendo del material que vaya a ser empleado como mástil o *boom* de la antena) respetando la separación entre elementos indicada en el proceso de diseño. Debe tenerse en cuenta que, tras el proceso de soldadura del excitador, éste debe seguir teniendo en su conjunto una longitud inferior al elemento reflector, o, de lo contrario, la antena no funcionará correctamente.

Tras realizar todo este proceso, la antena quedará finalizada y lista para ser analizada en una cámara anecoica, donde podremos comprobar el correcto funcionamiento de la antena y medir los parámetros electromagnéticos reales de la antena.

2.7. 3^{er} Prototipo

Según se ha visto en la sección anterior, al sustituir la antena PIFA, que recordemos era de tipo omnidireccional, por una antena direccional como la Yagi, se conseguía aumentar la ganancia directiva y, por lo tanto, la máxima distancia de alcance del inhibidor. No obstante, el hecho de tener que emplear una antena diferente para cada frecuencia de interés resulta poco práctico además de un inconveniente si tenemos en cuenta que las antenas con una frecuencia más baja, como la de 800 MHz, llegan a tener unas dimensiones de más de un metro de longitud.

Para solventar este inconveniente, el objetivo será diseñar un tipo de antena que, al igual que la antena Yagi, sea direccional y que, además, posea un ancho de banda lo bastante amplio como para contener todas o la mayor

parte de las bandas frecuenciales de interés y, de este modo, reducir el número de antenas necesarias a 1 ó 2 como máximo. Para conseguir este objetivo se hará uso de la antena Log-periódica LPDA.

2.7.1. Antena LPDA

La antena log-periódica es un tipo de antena direccional multielemento inventada por los ingenieros estadounidenses Dwight Isbell y Raymond DuHamel en 1958. Se caracteriza por ser capaz de funcionar sobre una amplia banda de frecuencias y se compone, esencialmente, de una serie de dipolos de media onda de diferentes longitudes situados progresivamente en orden creciente. Estos dipolos se encuentran dispuestos en línea a lo largo de un mástil y son conectados en paralelo a una línea de alimentación con alternancia de fase.

Estas antenas tienen una apariencia similar al de una antena Yagi pero funcionan de manera diferente. Si bien en la antena Yagi el aumento de elementos suponía un aumento en su direccionalidad, o ganancia directiva, en la LPDA la adición de elementos supone un aumento en el ancho de banda.

Debido a sus características, como una ganancia relativamente alta y un gran ancho de banda, este tipo de antena es usado frecuentemente como receptor de señales de televisión y en comunicaciones HF.

2.7.2. Diseño Antena LPDA

Una vez visto qué es una antena log-periódica y cuáles son los motivos por los que resulta interesante para su incorporación al inhibidor, procedemos al diseño de la misma.

En primer lugar, deberemos escoger unos valores para el factor de escalado (τ) y para el factor de espaciado (σ). El primero nos indica la relación entre la longitud de un elemento y el siguiente elemento contiguo, y el segundo nos indica la relación entre la distancia entre dos elementos contiguos y la distancia entre los siguientes dos elementos. Para seleccionar estos valores nos fijaremos en la gráfica de Carrel:

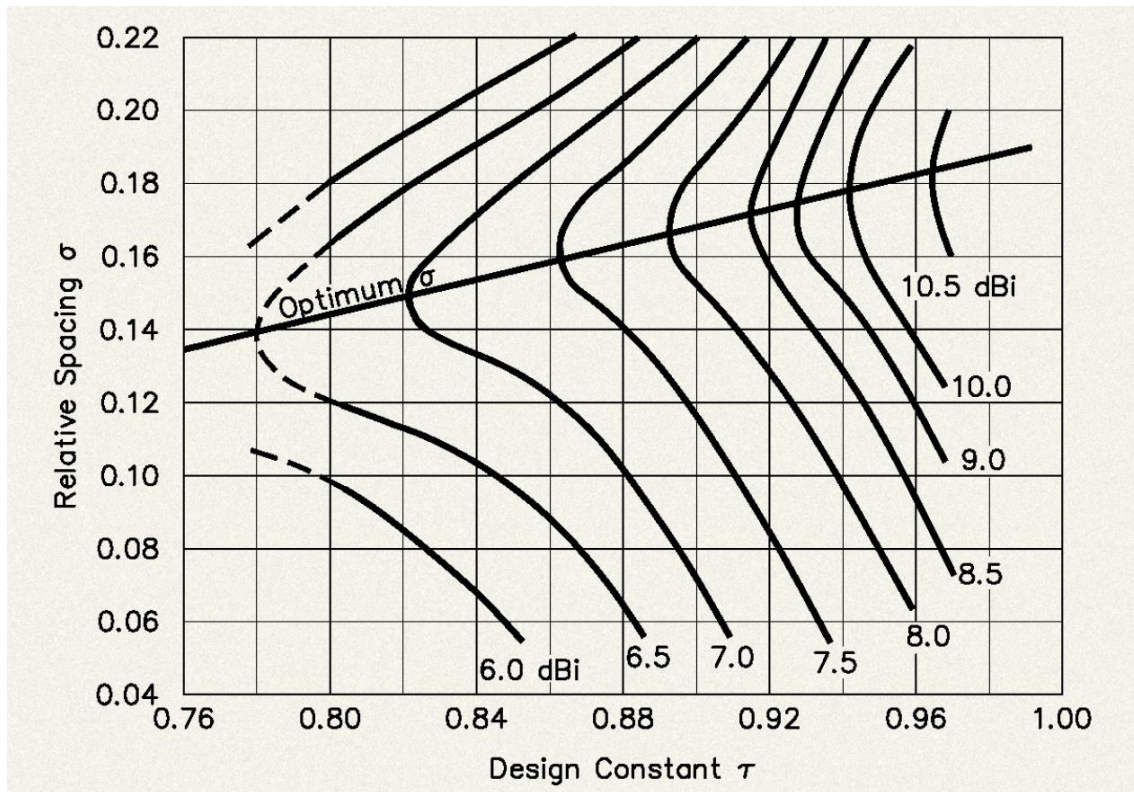


Figura 53. Gráfica de Carrel.

Como podemos ver en la gráfica anterior, las dos constantes a escoger dependerán de la ganancia que se pretenda que tenga la antena. En nuestro caso, tras realizar diferentes pruebas, se ha podido observar que a partir de una ganancia de en torno a 9 dB, el número de elementos necesarios para fabricar la antena aumenta considerablemente por encima de los 20 elementos. Por este motivo, se ha decidido escoger una ganancia objetivo de entre 8 y 8.5 dB, lo que supone una $\tau = 0.91$ y una $\sigma = 0.17$.

Una vez obtenidos estos valores, procedemos a ir resolviendo la siguiente serie de ecuaciones, a través de las cuales iremos calculando todos los parámetros de diseño de la antena.

Para cubrir todas las bandas de interés, la antena deberá ser capaz de trabajar desde los 800 MHz hasta los 2600 MHz. Por lo tanto, estos valores corresponderán a las frecuencias mínima y máxima de la antena. Si introducimos estos valores en la siguiente expresión:

$$B = \frac{f_u}{f_l} \quad (1)$$

obtenemos un ancho de banda relativo B de 3.25.

El número de elementos que conformarán la antena viene dado por la siguiente expresión:

$$N = 1 + \frac{\log B_s}{\log \frac{1}{\tau}} \quad (2)$$

Según se puede ver, es necesario calcular primero el ancho de banda B_s . Para ello, deberemos calcular previamente el ancho de banda en la región activa (B_{ar}) y la cotangente del vértice del semi-ángulo α . Estos valores pueden ser obtenidos resolviendo las siguientes fórmulas:

$$\cot \alpha = \frac{4\sigma}{1-\tau} \quad (3)$$

$$B_{ar} = 1.1 + 7.7(1-\tau)^2 \cot \alpha \quad (4)$$

Tras esto, ya es posible obtener B_s mediante la siguiente expresión:

$$B_s = B \times B_{ar} \quad (5)$$

Si sustituimos en la expresión (2), obtendremos finalmente que el número de elementos N necesarios deberá de ser superior o igual a 18. Una vez obtenidos el número de elementos que compondrán la antena, el siguiente paso es calcular la longitud de cada elemento y la separación que mantendrán entre sí mismos.

La longitud de cada elemento dependerá del factor de escalado y de la longitud del elemento anterior, tal que:

$$L_N = \tau L_{N-1} \quad (6)$$

Siendo la longitud del primer elemento la siguiente:

$$L_1 \geq \frac{\lambda_{\max}}{2} = \frac{c}{f_{\min}} \quad (7)$$

Finalmente, la separación entre elementos puede ser obtenida de la siguiente manera:

$$S_n = 2(L_n \sigma) \quad (8)$$

Tras realizar los cálculos para todos los elementos, los resultados finales del diseño quedan plasmados en la siguiente tabla:

Número de elemento	Longitud (mm)	Espaciado (mm)	Posición (mm)
1	187	64	0
2	171	58	64
3	155	53	122
4	141	48	174
5	128	44	222
6	117	40	266
7	106	36	306
8	97	33	342
9	88	30	375
10	80	27	405
11	73	25	432
12	66	23	457
13	60	21	480
14	55	19	500
15	50	17	519
16	46	15	536
17	41	14	551
18	38	-	565

Tabla 12. Dimensiones de diseño antena LPDA.

Si nos fijamos bien, hemos conseguido reducir notablemente el tamaño total de la antena, con respecto al obtenido en el diseño de la antena Yagi, pasando de 1.2 m (800 MHz) a 0.56 m; lo cual lo convierte en un diseño mucho más viable y práctico para su implementación en el inhibidor.

2.7.3. Resultados

En esta sección se mostrarán los resultados obtenidos tras la simulación de la antena LPDA.

Una vez modelado el diseño de la antena, simulamos un barrido en frecuencia desde los 800 MHz hasta los 2600 MHz que, recordemos, son los límites del rango de frecuencias de interés. A continuación, se muestra la ganancia que presenta la antena a lo largo de dicho rango de frecuencias.

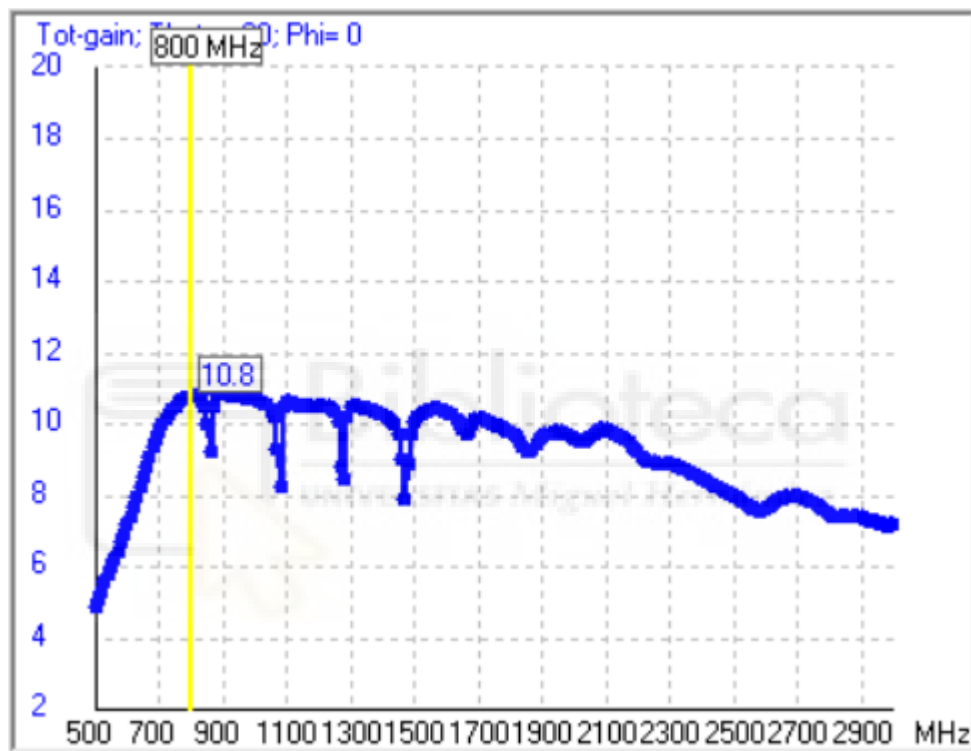


Figura 54. Ganancia antena LPDA a lo largo de todo el ancho de banda.

Según podemos ver, la ganancia se mantiene estable en torno a los 10dB desde los 800 MHz hasta los 2100 MHz. Para frecuencias más altas, se puede apreciar que la ganancia comienza a disminuir considerablemente.

Para conocer con exactitud los valores de ganancia en cada una de las frecuencias de interés, se presenta la siguiente tabla:

Frecuencia (MHz)	Ganancia (dB)
800	10.8
900	10.87
1800	9.77
2100	9.85
2400	8.49
2600	7.64

Tabla 13. Ganancia antenna LPDA.

A la vista de los resultados, podemos ver unos buenos valores de ganancia para bajas y medias frecuencias, y unos valores un poco más bajos para las altas frecuencias; no obstante, puesto que el valor mínimo obtenido es de 7.64 dB, sigue siendo más que suficiente por lo que podemos darlo por válido.

Otros de los parámetros de interés obtenidos tras el proceso de simulación es el diagrama de radiación, el cual nos muestra la potencia transmitida en cada dirección. A continuación, se adjunta el plano vertical correspondiente al diagrama de radiación de la antenna para una frecuencia de 1800 MHz.

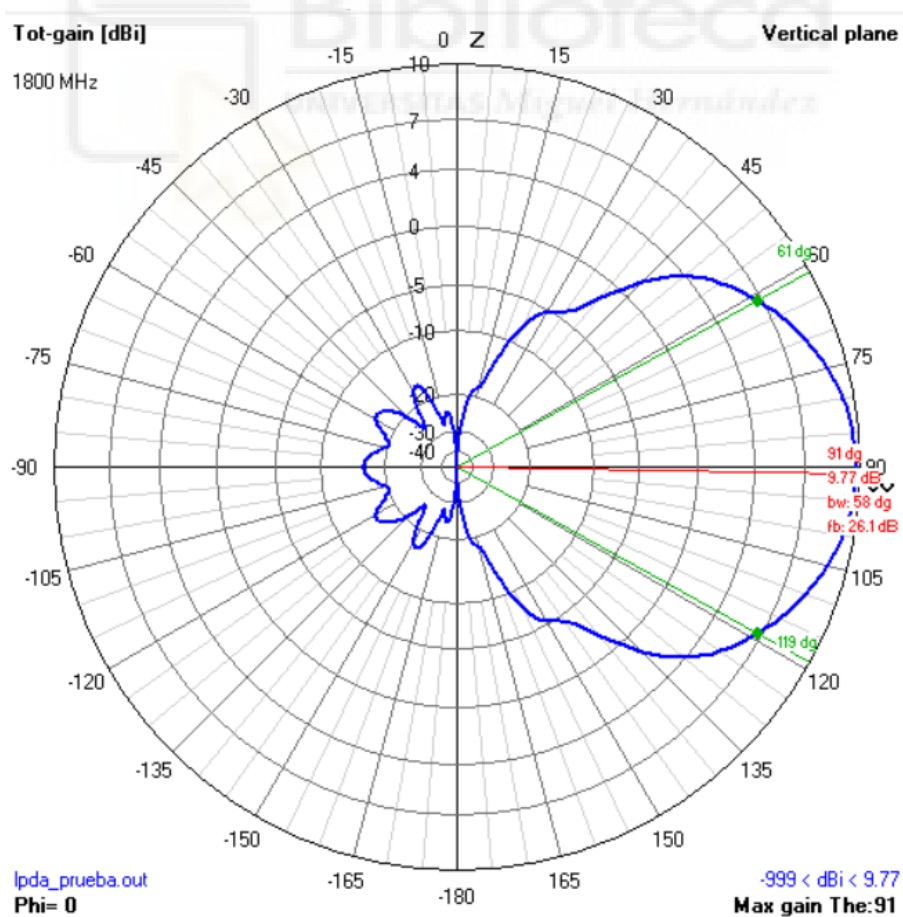


Figura 55. Diagrama de radiación antenna LPDA @ 1800 MHz.

Para el resto de frecuencias, el diagrama obtenido es prácticamente idéntico, por lo que usaremos éste como referencia. Si comparamos el patrón de radiación anterior con los obtenidos en los diseños de las antenas Yagi, vemos que la ganancia obtenida es alrededor de 3 dB inferior de media, pero el ancho de haz a 3 dB ha aumentado de 26° a 58° y la relación delante/atrás ha aumentado también de los 10 dBs de media hasta 26 dB.

Estos resultados suponen una gran mejora con respecto a los de la antena Yagi, ya que sacrificando un poco de ganancia hemos conseguido que el inhibidor sea capaz de cubrir un mayor ángulo de superficie (más del doble), y que la práctica totalidad de la potencia sea transmitida en la dirección de la antena, disminuyendo el efecto que pueda tener sobre dispositivos que se encuentren detrás de éste.

2.7.4. Fabricación

Al igual que con las antenas Yagi, esta antena LPDA no llegó a ser finalmente fabricada. No obstante, se incluirá a continuación el procedimiento que deberá seguirse para su fabricación de cara a futuras implementaciones.

El proceso de fabricación es muy similar al ya descrito anteriormente, durante la fabricación de la antena Yagi. Para éste, será necesario disponer de una varilla de metal de 5 mm de radio, de una línea de transmisión con una impedancia interna de 50 Ω , de una soldadora y de unos alicates.

El primer paso, será cortar la varilla metálica para obtener cada uno de los elementos que componen la antena. Cabe destacar que, según se pudo observar durante el proceso de diseño y simulación, una imprecisión de 1 mm no supone un efecto tan negativo sobre las características de la antena como sí lo hacía en la antena Yagi.

Una vez se dispone de todos los elementos, éstos deben ser cortados por la mitad para obtener los dipolos que empleará la antena. A continuación, se colocarán sobre el mástil siguiendo la siguiente disposición:

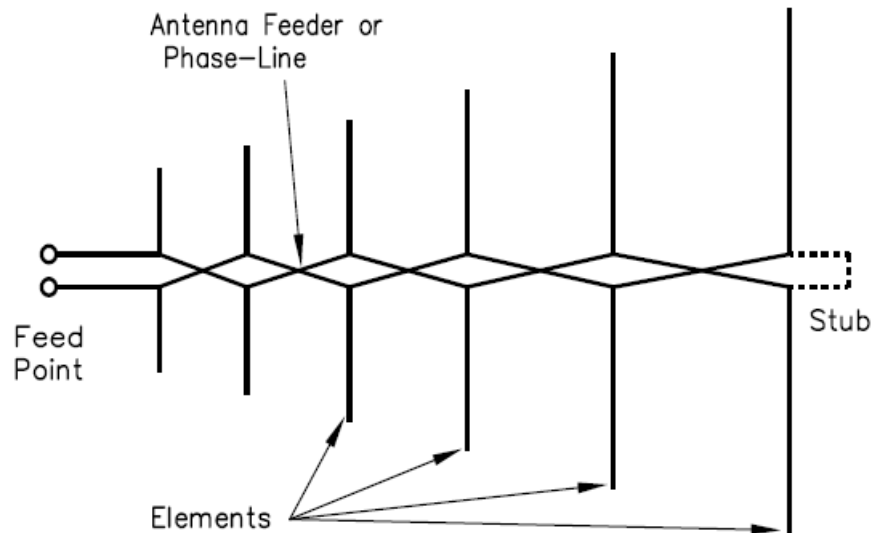


Figura 56. Diagrama de antena LPDA.

Una vez los elementos han sido situados en orden creciente como se muestra en la imagen anterior, y respetando las distancias de separación obtenidas durante el diseño, el siguiente paso a seguir será la soldadura de la línea de transmisión a los dipolos. Para ello, cada elemento del dipolo deberá ser soldado a un extremo de la línea de transmisión y, a continuación, deberá unirse con el elemento opuesto del siguiente dipolo y así sucesivamente. El objetivo de este proceso es el de alimentar cada dipolo con un cambio de fase de 180° .

Es importante que la separación entre las dos partes del dipolo sea la menor posible para evitar posibles alteraciones del correcto funcionamiento de la antena.

De este modo, queda concluido el proceso de fabricación de la antena LPDA.

3. CONCLUSIONES

Una vez concluido todo el proceso de diseño, simulación, fabricación y medición del sistema inductor, podemos proceder a valorar los resultados obtenidos a lo largo de este proyecto.

En primer lugar, podemos considerar que el objetivo de este proyecto ha sido completado con éxito. Tal y como se vio en la sección **Prueba de Campo** nuestro dispositivo inhibidor fue capaz de interferir e interrumpir por completo las comunicaciones correspondientes a la red de telefonía UMTS-3G, en su banda de 900 MHz, hasta una distancia de 16 metros. Para lograrlo sólo fue necesario contar con un sistema muy sencillo y económico, compuesto por una fuente de generación de ruido, un oscilador de frecuencia, un amplificador y una antena.

Puesto que se pretendía aumentar el alcance efectivo del dispositivo, pero no era posible aumentar la potencia de transmisión, se tomó la decisión de implementar antenas más direccionales, capaces de concentrar una mayor cantidad de energía en la dirección de propagación de la antena, permitiendo cubrir así unas mayores distancias.

A pesar de que, en un principio, unos de los objetivos de este proyecto era implementar el inhibidor en una placa de circuito impreso que permitiera obtener un diseño mucho más compacto y portable, y también fabricar los diferentes tipos de antenas tratados en este documento, debido a la situación extraordinaria ocurrida durante el tiempo en el que se produjo el desarrollo de este proyecto, finalmente no pudo ser realizado, aunque sí todo lo relativo al proceso de diseño y simulación.

De este modo, quedaría como trabajo para el futuro la fabricación de las antenas para poder cubrir el resto de las bandas de telefonía. Además, debido a la simplicidad del diseño, en caso de querer emplear el inhibidor para otras aplicaciones como el bloqueo de señales en espacios exteriores, bastaría con añadir al sistema presente una segunda etapa de amplificación, o bien una fuente de generación de ruido más potente. Esto permitiría la posibilidad de emplear este dispositivo para aplicaciones de seguridad como la protección de eventos deportivos, espacios exteriores de cuarteles de la policía, juzgados u otros edificios públicos o gubernamentales que requieran una mayor protección.

ANEXOS

ANEXO 1: Datasheets

NON-CATALOG

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator ZX95-1200W-S+

Linear Tuning 612 to 1200 MHz

Features

- wide bandwidth
- high power output, +10 dBm typ.
- linear tuning characteristics
- low pushing
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- test equipment



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model
SMA	ZX95-1200W-S+

+RoHS Compliant
The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSI-TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)		Typ.	Typ.			Max.	Typ.
ZX95-1200W-S+	612	1200	+10	-71	-96	-117	-139	0.5	18	35-50	220	40	-90	-16	-	11	0.9	12	30

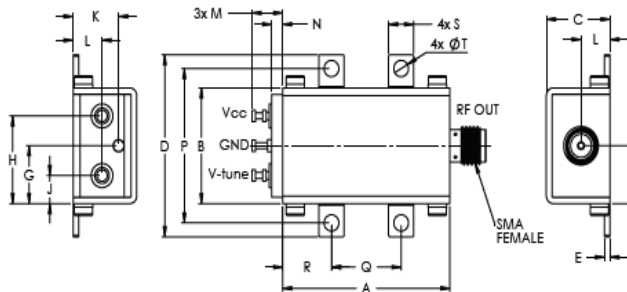
Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	15V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	25V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

NOTE: When soldering the DC connections, caution must be used to avoid overheating the DC terminals. See Application Note AN-40-10.

Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	Wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.38	.57	.18	.33	.21	.22	.08	1.00	.50	.35	.18	.106	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	9.65	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	2.03	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Notes

- Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp

Mini-Circuits
www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

REV. D
M171656
EDR-780771
ZX95-1200W-S+
RAV/URJ
181227
Page 1 of 2

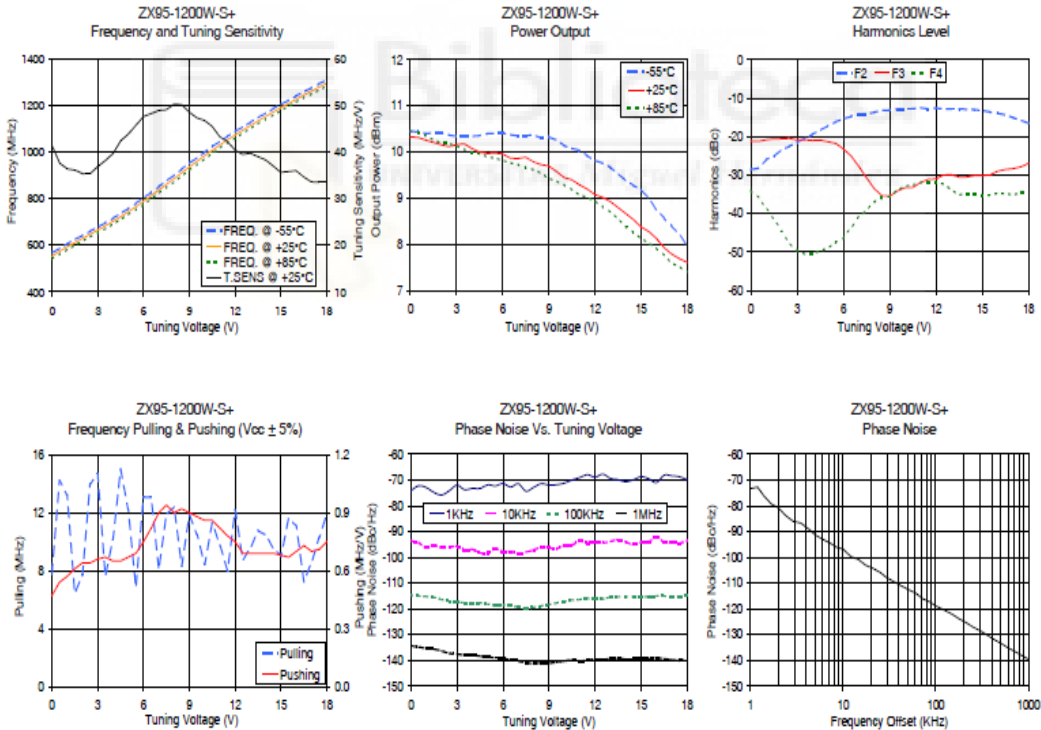
NON-CATALOG

Performance Data & Curves*

ZX95-1200W-S+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ. OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 800 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	41.32	567.3	554.4	542.1	10.45	10.33	10.46	23.78	-28.6	-21.2	-34.1	0.47	7.77	-74.0	-93.6	-114.6	-134.4	1.0	-73.26
0.50	37.62	587.7	575.1	563.2	10.44	10.32	10.42	23.80	-28.2	-21.2	-35.8	0.54	14.20	-72.2	-94.3	-114.9	-134.7	2.0	-80.70
1.00	36.40	606.4	593.9	582.1	10.40	10.26	10.35	23.82	-26.0	-20.8	-38.7	0.57	13.24	-72.9	-96.3	-115.1	-135.3	3.5	-86.64
2.00	35.38	642.7	630.2	618.3	10.42	10.16	10.20	23.87	-23.3	-20.6	-44.6	0.64	7.66	-75.8	-96.2	-116.3	-136.3	5.0	-91.18
3.00	36.93	678.2	665.6	654.0	10.34	10.16	10.14	23.92	-21.4	-20.9	-49.6	0.66	14.70	-71.9	-95.7	-117.1	-137.5	7.1	-94.24
4.00	39.74	716.1	703.1	691.4	10.34	10.08	10.00	23.99	-19.4	-21.0	-50.5	0.65	10.15	-73.2	-96.9	-117.8	-138.0	10.0	-96.74
5.00	43.89	758.1	744.2	731.8	10.40	9.97	9.90	24.07	-17.2	-21.3	-49.0	0.67	12.22	-71.8	-98.4	-118.1	-138.7	20.8	-104.15
6.00	47.66	803.6	789.1	776.2	10.41	9.96	9.82	24.18	-15.4	-23.2	-46.3	0.75	13.08	-71.3	-97.8	-118.5	-139.1	35.5	-109.41
7.00	48.96	851.9	837.1	824.0	10.35	9.86	9.73	24.32	-14.2	-27.7	-40.9	0.90	8.10	-71.4	-98.5	-119.4	-140.2	50.7	-112.51
8.00	50.34	901.5	886.1	873.1	10.37	9.79	9.62	24.47	-13.6	-33.5	-37.0	0.90	12.42	-72.8	-97.1	-119.4	-141.0	72.5	-116.05
9.00	48.59	952.0	936.4	922.8	10.33	9.70	9.43	24.63	-13.1	-35.5	-35.5	0.90	11.84	-71.9	-96.3	-118.3	-141.0	100.0	-118.83
10.00	46.81	999.9	984.4	971.1	10.14	9.45	9.29	24.77	-12.8	-33.3	-32.9	0.86	8.42	-71.2	-95.3	-117.1	-140.2	148.1	-121.87
11.00	43.30	1045.8	1030.5	1017.4	10.04	9.29	9.07	24.90	-12.5	-31.9	-31.9	0.82	9.75	-69.0	-93.7	-116.3	-140.2	211.6	-125.24
12.00	40.45	1088.6	1073.3	1060.5	9.82	9.08	8.94	24.98	-12.6	-31.0	-31.8	0.75	12.18	-68.9	-94.2	-116.0	-139.4	361.5	-130.17
13.00	39.77	1127.8	1113.3	1101.2	9.67	8.93	8.70	25.05	-12.8	-29.9	-33.8	0.69	9.59	-69.3	-93.8	-115.4	-139.3	432.2	-132.00
14.00	38.34	1167.4	1152.7	1140.7	9.38	8.67	8.39	25.08	-12.9	-30.5	-34.8	0.69	10.45	-70.6	-94.0	-115.3	-139.3	507.5	-133.34
15.00	35.68	1204.7	1190.4	1178.5	9.19	8.38	8.13	25.11	-13.2	-30.1	-35.2	0.68	9.02	-68.7	-94.1	-115.0	-139.4	600.0	-135.01
16.00	36.04	1240.9	1226.2	1214.1	8.76	8.13	7.92	25.10	-13.9	-29.0	-34.7	0.70	11.06	-70.9	-92.0	-114.9	-139.0	712.4	-136.46
17.00	33.63	1275.9	1261.6	1249.5	8.40	7.79	7.59	25.11	-15.0	-28.3	-35.1	0.70	8.58	-68.3	-93.9	-115.1	-139.7	851.6	-138.05
18.00	33.51	1309.7	1295.1	1282.9	7.98	7.61	7.40	25.08	-16.5	-27.0	-34.4	0.75	11.89	-69.8	-93.4	-114.8	-139.7	1000.0	-139.49

*at 25°C unless mentioned otherwise



Notes
 A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Coaxial Voltage Controlled Oscillator

ZX95-2150VW+ ZX95-2150VW

Linear Tuning 970 to 2150 MHz

Features

- wide bandwidth
- 5V supply voltage
- low pushing
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- test equipment



CASE STYLE: GB866

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-2150VW-S+	\$54.95 ea.	(1-9)
SMA	ZX95-2150VW-S	\$54.95 ea.	(1-9)

+ RoHS compliant in accordance with EU Directive (2002/95/EC)

The + Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications.

Electrical Specifications

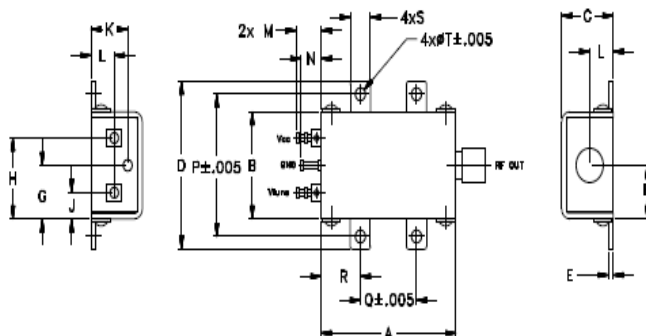
MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE (dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz)				TUNING				NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER (Vcc Current (volts) (mA))		
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)		3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	Typ.				Max.	Typ.
ZX95-2150VW(+)	970	2150	+4	-74	-99	-120	-140	0.5	25	32-78	290	15	-90	-22	-	4	1.5	5	26

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	6V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	28V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Drawing



Outline Dimensions (inches/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.38	.57	.18	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.106	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	9.65	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Mini-Circuits
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350186, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

IF/RF MICROWAVE COMPONENTS

For detailed performance specs & shopping online see web site

REV. A
M98898
EOR-6296
ZX95-2150VW
RAV/URJ
12/11/10
Page 1 of 2

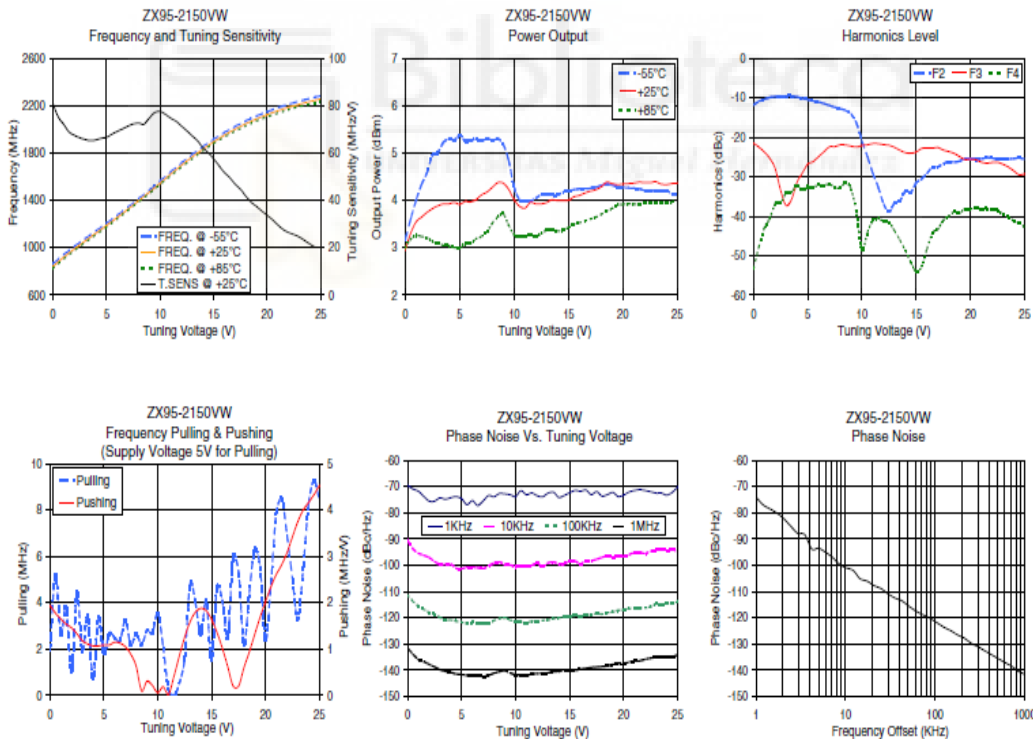
Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCSStore/terms.jsp.

Performance Data & Curves*

ZX95-2150VW+ ZX95-2150VW

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			I _{cc} (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 1500 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	80.81	864.6	842.6	823.6	3.16	2.96	3.00	20.56	-11.7	-21.4	-53.3	1.94	1.92	-89.6	-90.4	-111.4	-131.5	1.0	-74.01
0.50	75.30	904.7	893.0	864.7	3.61	3.31	3.18	20.73	-10.8	-22.4	-47.7	1.78	5.25	-70.9	-93.7	-113.7	-133.8	2.0	-81.93
1.00	72.25	942.3	920.7	903.3	4.01	3.55	3.26	20.85	-10.3	-23.7	-42.9	1.65	2.62	-71.8	-95.3	-115.6	-135.8	3.5	-88.31
2.00	67.61	1011.6	991.3	976.3	4.59	3.75	3.21	21.01	-9.8	-27.9	-36.8	1.46	1.02	-75.5	-97.0	-117.9	-137.7	6.0	-95.04
6.00	69.29	1275.2	1257.5	1245.8	5.27	3.97	3.10	21.05	-11.0	-24.8	-31.9	1.15	2.50	-75.4	-100.7	-121.8	-142.2	8.5	-99.48
9.00	74.98	1488.4	1471.9	1460.9	5.19	4.37	3.72	20.98	-14.1	-22.2	-33.1	0.31	2.82	-72.8	-99.7	-119.9	-140.0	10.0	-100.86
10.00	77.74	1565.5	1548.0	1536.5	4.29	4.02	3.28	21.00	-20.9	-22.0	-48.7	0.06	3.52	-73.8	-100.6	-121.3	-141.7	20.8	-107.71
11.00	74.85	1644.4	1625.1	1612.4	4.01	3.84	3.24	21.00	-29.1	-21.5	-41.2	0.03	0.26	-73.1	-100.3	-121.9	-141.9	35.5	-112.42
12.00	71.48	1719.0	1699.3	1688.0	4.05	3.93	3.24	20.98	-36.9	-21.8	-41.3	0.85	0.51	-73.5	-99.1	-121.2	-141.2	60.7	-117.37
13.00	67.35	1789.7	1769.8	1756.3	4.15	3.96	3.38	20.91	-36.6	-22.5	-43.8	1.59	4.80	-72.5	-99.1	-120.8	-141.0	86.7	-120.05
14.00	62.34	1856.6	1836.1	1822.2	4.12	4.00	3.36	20.84	-33.7	-23.8	-48.7	1.88	2.62	-74.2	-99.4	-120.0	-140.5	100.0	-121.36
15.00	57.09	1918.8	1897.4	1882.8	4.21	4.01	3.43	20.78	-31.5	-23.6	-54.1	1.64	1.54	-72.4	-98.4	-119.6	-140.2	148.1	-124.81
16.00	51.93	1975.7	1953.6	1938.3	4.25	4.11	3.53	20.77	-29.0	-22.6	-48.2	1.02	4.10	-71.8	-99.5	-119.3	-139.6	211.6	-127.72
17.00	47.00	2027.5	2004.4	1988.2	4.26	4.20	3.61	20.75	-27.4	-22.5	-43.2	0.20	6.02	-73.1	-98.3	-118.9	-138.9	361.5	-132.80
18.00	41.93	2074.1	2050.3	2033.3	4.32	4.29	3.71	20.75	-26.2	-23.6	-39.9	0.80	2.18	-73.6	-97.0	-118.6	-138.5	432.2	-134.14
19.00	37.51	2115.5	2091.0	2073.5	4.33	4.36	3.83	20.74	-26.0	-24.8	-39.1	1.32	6.34	-72.2	-97.0	-117.7	-137.7	507.5	-135.53
20.00	33.76	2152.8	2127.5	2109.1	4.28	4.35	3.92	20.71	-25.4	-25.5	-38.1	2.02	2.37	-73.3	-96.7	-116.9	-137.5	600.0	-137.01
21.00	29.68	2185.5	2160.3	2141.3	4.26	4.37	3.92	20.70	-25.4	-26.2	-38.1	2.61	7.87	-71.5	-95.0	-116.3	-136.4	712.4	-138.38
22.00	26.48	2214.8	2189.0	2170.0	4.21	4.38	3.94	20.66	-25.2	-26.3	-38.4	3.08	6.91	-71.5	-95.5	-116.1	-135.8	851.6	-140.32
25.00	20.26	2286.2	2259.8	2239.1	4.12	4.37	3.99	20.54	-25.5	-29.2	-42.8	4.53	8.45	-70.2	-94.9	-113.9	-134.2	1000.0	-141.51

*at 25°C unless mentioned otherwise



P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 The Design Engineers Search Engine [minicircuits.com](http://www.minicircuits.com) Provides ACTUAL Data Instantly at [minicircuits.com](http://www.minicircuits.com)

For detailed performance specs & shopping online see web site

IR/F MICROWAVE COMPONENTS

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCISStore/terms.jsp.

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

ZX95-2420+

Wide Band 1220 to 2420 MHz

Features

- low phase noise
- low pushing
- low pulling
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- lab
- instrumentation
- wireless communications
- test equipment



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model	Price	Qty.
SMA	ZX95-2420-S+	\$49.95 ea.	(1-9)

+RoHS Compliant

The + Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

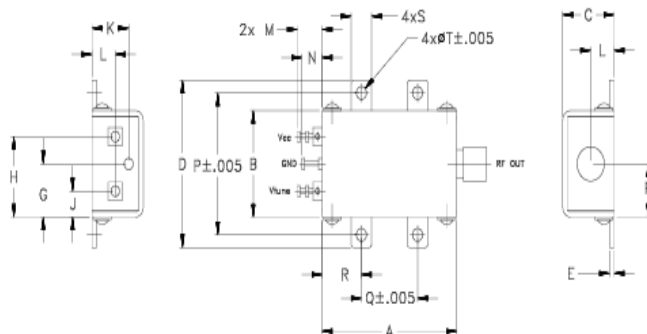
MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING				NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER		
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSITIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)		3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)	Typ.			Typ.	Max.	Typ.
ZX95-2420+	1220	2420	+5	-70	-95	-117	-138	0.5	20	50-82	73	90	-90	-20	-10	1.5	1.5	5	47

Maximum Ratings

Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	6V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	22V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.

Outline Drawing



Outline Dimensions (Inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.38	.57	.18	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.106	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	9.65	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Mini-Circuits®
ISO 9001 ISO 14001 AS 9100 CERTIFIED

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

IFRF MICROWAVE COMPONENTS

For detailed performance specs & shipping online see web site

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MC/Store/terms.jsp.

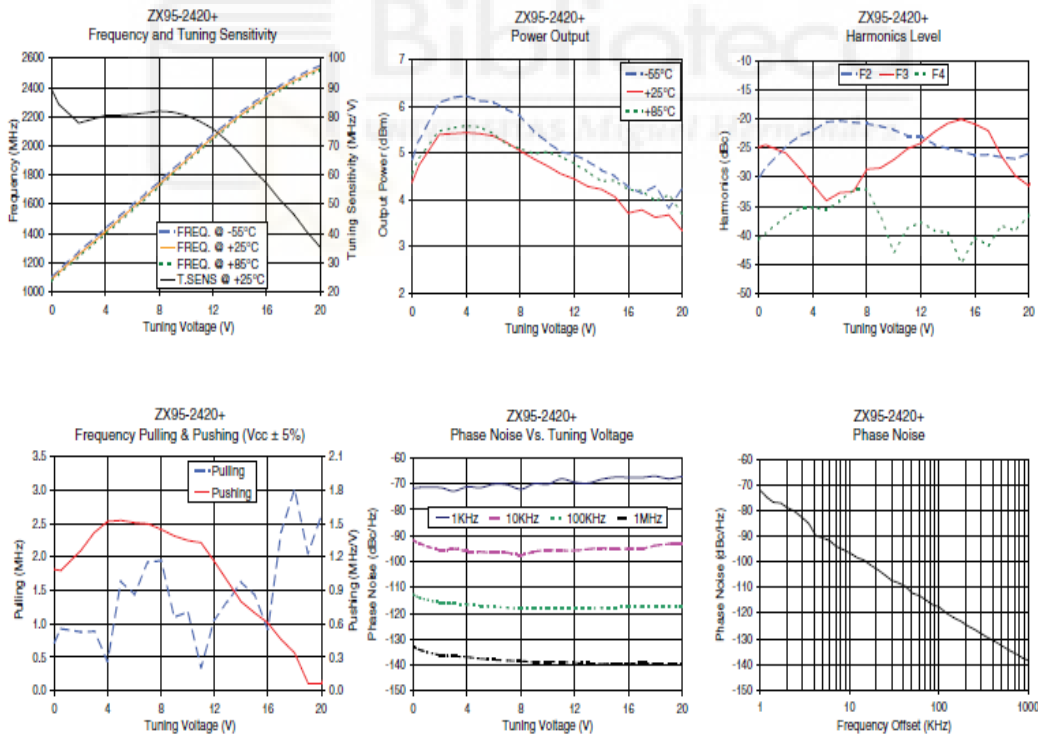
REV. OR
M114757
EDR 8567F9
ZX95-2420+
RAV
130804
Page 1 of 2

Performance Data & Curves*

ZX95-2420+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ. OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 1820 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	89.09	1101.8	1087.9	1076.8	4.87	4.38	4.57	38.32	-30.0	-24.9	-40.7	1.09	0.72	-71.7	-91.7	-112.7	-132.7	1.0	-72.04
0.50	84.24	1148.1	1132.5	1120.2	5.28	4.74	4.91	38.40	-28.5	-24.5	-39.7	1.08	0.93	-71.4	-93.1	-114.0	-134.1	2.0	-78.79
2.00	77.82	1276.3	1256.4	1241.3	6.08	5.40	5.47	38.60	-24.7	-25.9	-36.7	1.26	0.88	-71.5	-95.6	-115.9	-136.2	3.5	-84.99
3.00	79.10	1355.8	1334.2	1318.3	6.19	5.42	5.54	38.68	-23.0	-28.4	-35.4	1.42	0.89	-72.8	-95.1	-116.2	-136.5	6.0	-91.68
4.00	80.42	1435.6	1413.3	1397.5	6.23	5.44	5.59	38.74	-22.1	-31.3	-35.3	1.52	0.44	-71.2	-96.0	-116.5	-136.8	8.5	-95.23
5.00	80.45	1515.5	1493.7	1478.3	6.12	5.42	5.56	38.80	-20.6	-34.0	-35.6	1.53	1.64	-71.5	-96.2	-117.0	-137.5	10.0	-96.43
6.00	80.75	1595.4	1574.2	1559.3	6.10	5.37	5.42	38.84	-20.4	-32.7	-34.1	1.51	1.44	-70.1	-96.7	-117.5	-137.9	20.8	-103.08
7.00	81.29	1675.7	1654.9	1640.6	5.94	5.23	5.19	38.88	-20.6	-32.5	-32.2	1.50	1.92	-70.4	-96.6	-117.8	-138.2	35.5	-108.24
8.00	81.88	1756.9	1736.2	1722.4	5.80	5.05	5.10	38.91	-20.9	-28.7	-32.1	1.45	1.95	-72.1	-97.5	-118.2	-138.4	60.7	-113.16
9.00	81.54	1838.4	1818.1	1804.5	5.47	4.88	4.99	38.95	-21.3	-28.5	-36.6	1.39	1.10	-69.9	-96.2	-118.1	-138.8	86.7	-116.89
10.00	80.40	1919.4	1899.7	1886.3	5.24	4.73	5.03	38.99	-21.9	-27.0	-42.9	1.35	1.18	-70.2	-95.6	-118.2	-138.7	100.0	-117.53
11.00	78.43	1999.5	1980.1	1967.0	5.03	4.56	4.93	39.05	-22.9	-25.2	-38.9	1.33	0.35	-68.1	-95.7	-118.2	-138.8	148.1	-121.84
12.00	75.83	2078.0	2058.5	2045.7	4.97	4.45	4.78	39.11	-22.9	-24.2	-37.7	1.16	1.07	-69.4	-95.7	-118.1	-139.1	177.0	-123.19
13.00	71.91	2153.5	2134.3	2121.3	4.83	4.29	4.60	39.18	-24.4	-22.3	-39.2	0.98	1.34	-69.7	-95.3	-118.1	-139.2	211.6	-125.04
14.00	67.40	2225.2	2206.2	2193.0	4.64	4.23	4.40	39.26	-25.1	-20.8	-39.5	0.80	1.63	-68.3	-94.8	-117.9	-139.4	302.4	-128.16
15.00	61.67	2292.4	2273.6	2260.0	4.51	4.07	4.42	39.34	-25.6	-20.1	-44.7	0.70	1.43	-67.4	-95.3	-117.7	-139.3	361.5	-129.78
16.00	57.19	2354.5	2335.3	2322.0	4.28	3.72	4.22	39.40	-26.3	-20.9	-40.4	0.61	0.92	-67.5	-95.0	-117.4	-139.4	507.5	-132.72
17.00	51.47	2411.2	2392.5	2378.9	4.14	3.79	4.20	39.51	-26.2	-22.1	-41.7	0.46	2.39	-67.6	-95.0	-117.5	-139.2	606.7	-134.42
18.00	46.69	2463.8	2444.0	2430.5	4.30	3.63	3.98	39.56	-26.6	-26.5	-38.3	0.34	3.01	-67.1	-93.8	-117.4	-139.3	851.6	-137.34
20.00	35.32	2551.3	2531.2	2517.2	4.24	3.34	3.70	39.66	-25.9	-31.5	-36.5	0.07	2.61	-67.3	-93.0	-117.5	-139.2	1000.0	-138.52

*at 25°C unless mentioned otherwise



For detailed performance specs & shipping online see web site

P.O. Box 350166, Brooklyn, New York 11235-0003 (718) 934-4500 Fax (718) 332-4861 The Design Engineers Search Engine Provides ACTUAL Data Instantly at minicircuits.com

Notes: 1. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification sheet are intended to be excluded and do not form a part of this specification sheet. 2. Electrical specifications and performance data contained herein are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions. 3. The parts covered by this specification sheet are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp.

NON-CATALOG

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

ZX95-3600B+

Linear Tuning 2950 to 3600 MHz

Features

- low phase noise
- low pulling
- low pushing
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- military
- radar
- navigation
- point-to-point



CASE STYLE: GB956

Connectors	Model
SMA	ZX95-3600B-S+

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING					NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)		PULLING pk-pk @ 12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
	Min.	Max.		Typ.	1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSI- TIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)		Typ.	Typ.			Max.	Typ.
ZX95-3600B+	2950	3600	+5.8	-69	-94	-114	-135	1	12	75-95	17	95	-90	-20	-10	3.0	1.1	5	50

Maximum Ratings

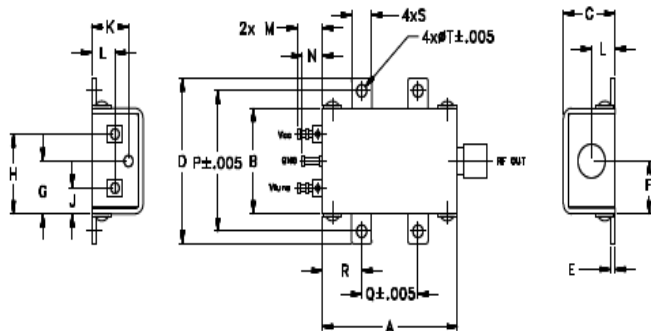
Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	6V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	14V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.



NOTE: When soldering the DC connections, caution must be used to avoid overheating the DC terminals. See Application Note AN-40-10.

Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.38	.57	.18	.33	.21	.22	.18	1.00	.50	.35	.18	.106	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	9.65	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Notes

- Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

REV. B
M157541
EQR-9965-02P2
ZX95-3600B+
RAW
160913
Page 1 of 2

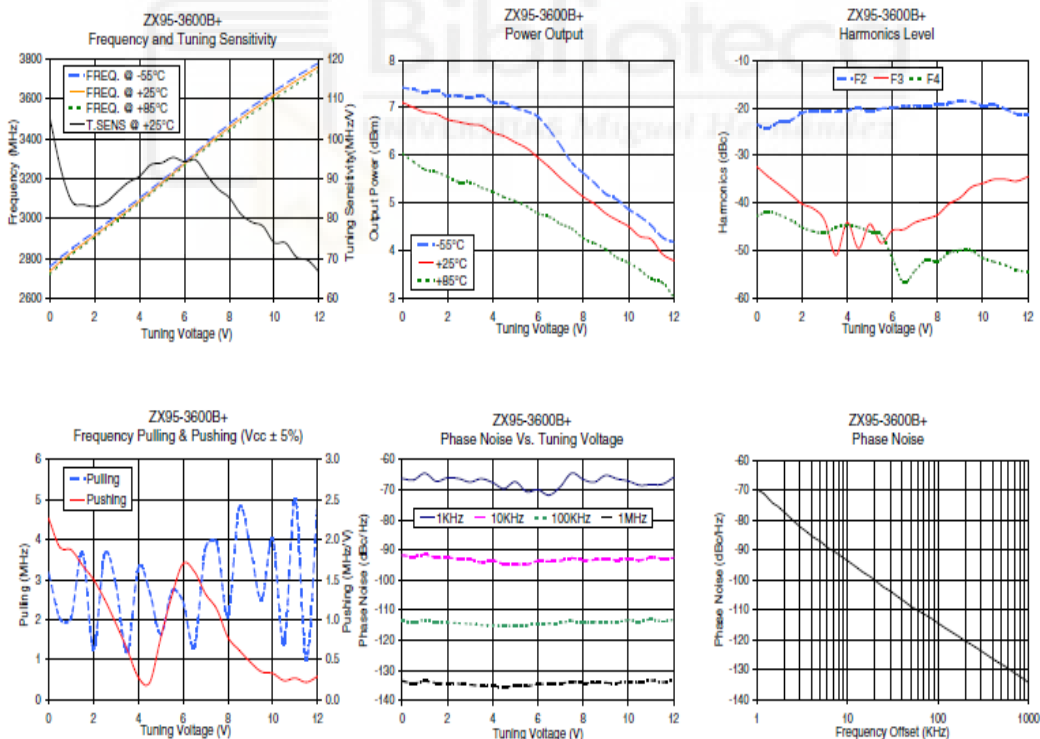
NON-CATALOG

Performance Data & Curves*

ZX95-3600B+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (KHz)	PHASE NOISE at 3275 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	105.47	2757.3	2733.8	2718.3	7.42	7.11	6.04	41.58	-23.5	-32.4	-42.8	2.26	3.16	-86.4	-91.8	-113.3	-133.4	1.0	-89.55
0.50	92.40	2806.1	2786.5	2774.7	7.38	7.00	5.86	41.58	-24.2	-34.5	-41.9	1.90	2.02	-86.8	-92.3	-114.0	-134.3	1.2	-75.08
1.50	83.49	2892.1	2874.9	2864.4	7.37	6.87	5.65	41.50	-22.6	-38.2	-43.6	1.88	3.08	-87.2	-92.6	-114.0	-134.2	1.5	-77.84
2.00	83.06	2933.1	2916.6	2906.2	7.24	6.75	5.55	41.48	-21.1	-40.2	-45.2	1.50	1.27	-86.1	-92.5	-114.1	-134.4	1.7	-80.80
2.50	84.02	2973.8	2958.1	2948.1	7.26	6.70	5.44	41.46	-20.6	-41.2	-46.0	1.25	3.63	-86.4	-93.1	-114.3	-134.4	6.1	-89.22
3.00	86.80	3015.7	3000.1	2990.0	7.20	6.65	5.44	41.45	-20.8	-43.7	-46.4	0.95	2.87	-87.5	-93.1	-114.5	-134.7	10.0	-93.45
4.00	90.62	3101.8	3088.0	3078.7	7.10	6.48	5.24	41.45	-20.6	-44.1	-44.6	0.28	3.30	-87.7	-93.6	-115.0	-135.2	21.1	-100.50
4.50	93.51	3146.5	3133.3	3124.7	7.10	6.40	5.12	41.45	-20.1	-49.6	-45.1	0.21	2.70	-89.7	-94.7	-115.3	-135.3	36.1	-105.53
5.00	94.02	3191.2	3180.1	3171.9	6.99	6.27	5.04	41.47	-20.8	-44.5	-46.0	0.77	1.84	-87.4	-94.7	-115.1	-135.2	60.5	-110.18
5.50	95.35	3236.0	3227.1	3219.3	6.92	6.15	4.93	41.48	-20.2	-48.5	-46.7	1.30	2.71	-70.7	-94.9	-115.1	-135.2	84.9	-112.77
6.00	94.28	3282.2	3274.7	3266.2	6.81	5.95	4.78	41.49	-19.9	-45.8	-51.7	1.70	2.44	-70.1	-93.7	-114.5	-134.6	100.0	-114.35
6.50	94.73	3330.2	3321.9	3312.2	6.53	5.75	4.71	41.50	-19.7	-45.6	-56.8	1.80	1.33	-71.8	-93.9	-114.4	-134.5	142.4	-117.39
7.00	90.93	3380.2	3369.3	3357.7	6.20	5.52	4.56	41.50	-19.4	-44.1	-54.3	1.32	3.79	-89.0	-93.6	-114.2	-134.4	167.2	-118.65
7.50	87.44	3429.5	3414.7	3400.6	5.84	5.32	4.46	41.48	-19.6	-43.4	-52.0	1.13	3.93	-84.5	-92.7	-113.5	-133.6	199.9	-120.38
8.50	81.24	3518.5	3501.1	3484.3	5.42	4.98	4.16	41.46	-19.0	-40.2	-50.6	0.82	4.78	-87.5	-93.3	-113.9	-134.0	280.6	-123.07
9.00	79.16	3560.4	3541.7	3524.5	5.19	4.78	4.03	41.44	-18.6	-38.9	-50.0	0.47	3.79	-85.3	-92.9	-113.9	-134.1	329.4	-124.47
9.50	78.08	3600.3	3581.3	3563.6	5.07	4.64	3.85	41.43	-18.7	-36.7	-50.1	0.35	2.48	-86.5	-93.4	-114.0	-134.2	462.4	-127.44
10.00	73.98	3639.7	3620.3	3601.1	4.87	4.51	3.75	41.41	-19.5	-35.9	-51.6	0.33	4.03	-87.2	-92.8	-113.3	-133.6	552.7	-128.81
11.50	69.53	3749.4	3729.4	3710.1	4.28	3.93	3.33	41.36	-21.3	-35.4	-54.1	0.22	1.01	-88.3	-92.8	-113.7	-133.9	648.9	-130.27
12.00	66.63	3784.3	3764.2	3743.9	4.18	3.79	3.03	41.31	-21.5	-34.5	-54.6	0.29	4.92	-86.0	-92.6	-113.2	-133.3	1000.0	-134.23

*at 25°C unless mentioned otherwise



Notes

- Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

NON-CATALOG

Coaxial

Voltage Controlled Oscillator

ZX95-5400-S+

Linear Tuning 4300 to 5400 MHz

Features

- linear tuning characteristics
- low harmonics, -30 dBc typ.
- low pulling
- low pushing
- protected by US patent 6,790,049

Applications

- r & d
- lab
- instrumentation
- wireless communications
- point-to-point



CASE STYLE: GB856

Connectors	Model
SMA	ZX95-5400-S+

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications

MODEL NO.	FREQ. (MHz)		POWER OUTPUT (dBm)	PHASE NOISE dBc/Hz SSB at offset frequencies, kHz				TUNING				NON HARMONIC SPURIOUS (dBc)	HARMONICS (dBc)			PULLING pk-pk @12 dB (MHz)	PUSHING (MHz/V)	DC OPERATING POWER	
	Min.	Max.		1	10	100	1000	VOLTAGE RANGE (V)	SENSITIVITY (MHz/V)	PORT CAP (pF)	3 dB MODULATION BANDWIDTH (MHz)		Typ.	Typ.	Max.			Vcc (volts)	Current (mA)
	Typ.				Min.	Max.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.	Typ.		Typ.	Max.	Min.			Max.	
ZX95-5400-S+	4300	5400	-0.5	-56	-83	-104	-124	0.5	19	70-130	20	150	-90	-30	-15	9	14	5	30

Maximum Ratings

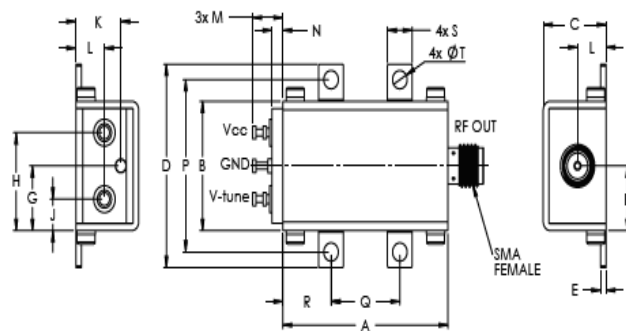
Operating Temperature	-55°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Absolute Max. Supply Voltage (Vcc)	6.5V
Absolute Max. Tuning Voltage (Vtune)	21.0V
All specifications	50 ohm system

Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.



NOTE: When soldering the DC connections, caution must be used to avoid overheating the DC terminals. See Application Note AN-40-10.

Outline Drawing



Outline Dimensions (inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	S	T	wt.
1.20	.75	.46	1.18	.04	.38	.38	.57	.18	.33	.21	.22	.08	1.00	.50	.35	.18	.106	grams
30.48	19.05	11.68	29.97	1.02	9.65	9.65	14.48	4.57	8.38	5.33	5.59	2.03	25.40	12.70	8.89	4.57	2.69	35.0

Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCUStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

REV. B
M172028
EDR-11354
ZX95-5400-S+
RAV
190128
Page 1 of 2

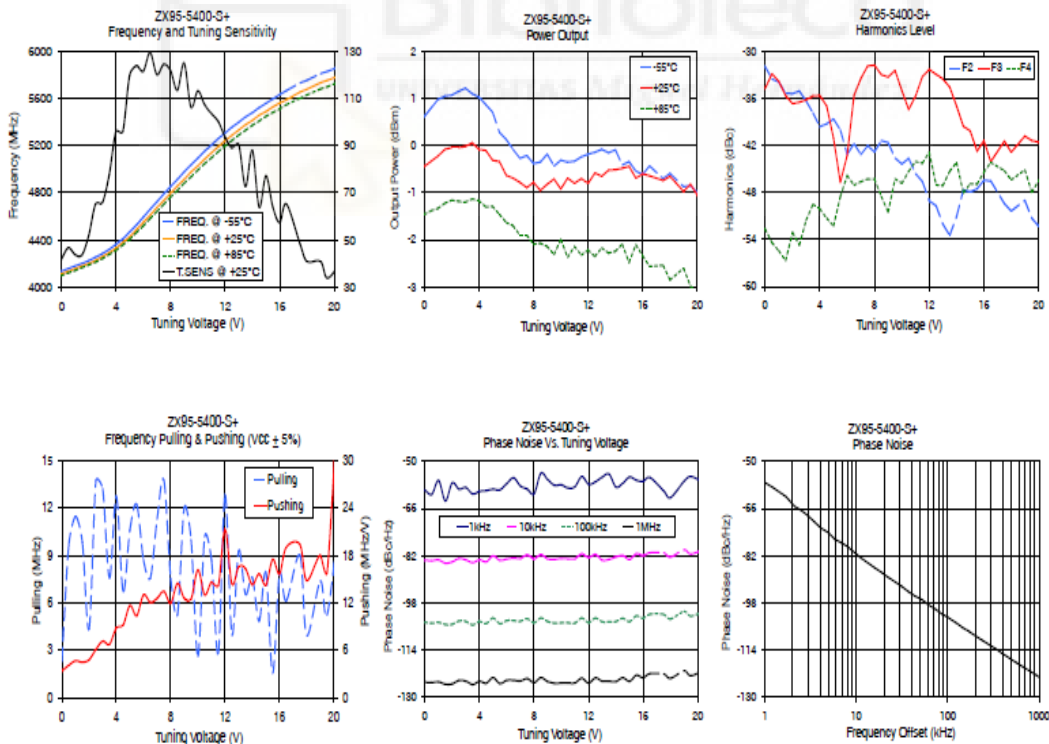
NON-CATALOG

Performance Data & Curves*

ZX95-5400-S+

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			Icc (mA)	HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ. PULL (MHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz) at offsets				FREQ OFFSET (kHz)	PHASE NOISE at 4850 MHz (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C		F2	F3	F4			1kHz	10kHz	100kHz	1MHz		
0.00	41.82	4132.5	4111.6	4098.6	0.62	-0.44	-1.46	22.74	-32.0	-34.8	-52.6	3.36	2.33	-59.74	-83.5	-104.5	-124.8	1.0	-57.22
0.50	46.65	4156.1	4132.6	4119.6	0.80	-0.33	-1.38	22.76	-33.6	-32.9	-54.4	4.08	9.62	-61.21	-83.7	-104.9	-125.0	2.5	-66.68
1.00	43.78	4177.3	4155.9	4140.4	0.98	-0.22	-1.33	22.77	-34.0	-33.9	-55.4	4.65	11.48	-56.48	-83.4	-104.6	-124.7	4.1	-72.67
2.50	65.26	4252.9	4225.5	4211.1	1.15	-0.04	-1.18	22.80	-35.1	-36.5	-54.7	6.09	13.75	-59.40	-82.9	-104.1	-124.2	6.9	-77.65
3.00	65.80	4283.1	4258.1	4240.8	1.22	-0.02	-1.20	22.78	-36.4	-36.2	-51.5	7.14	13.22	-58.87	-83.4	-104.3	-124.5	10.0	-81.47
4.00	96.08	4362.9	4329.8	4311.5	1.03	-0.08	-1.17	22.69	-39.6	-35.7	-50.1	8.83	12.74	-60.21	-83.4	-104.3	-124.6	11.3	-82.82
5.00	119.84	4467.2	4425.8	4405.3	0.71	-0.31	-1.29	22.55	-38.6	-41.1	-52.3	11.65	10.63	-59.45	-82.1	-103.1	-123.3	22.3	-89.35
6.00	121.58	4592.5	4547.7	4518.1	0.13	-0.63	-1.63	22.36	-43.2	-43.3	-45.9	13.00	8.72	-57.53	-83.1	-103.9	-124.2	37.5	-94.28
7.00	120.19	4723.2	4673.2	4640.8	-0.27	-0.78	-1.90	22.26	-43.2	-33.5	-46.6	12.57	11.31	-58.35	-83.0	-104.2	-124.4	61.8	-98.65
7.50	124.51	4788.8	4733.3	4701.3	-0.21	-0.89	-1.90	22.20	-42.1	-31.9	-46.3	13.45	13.76	-59.42	-81.7	-103.3	-123.6	86.7	-101.75
8.00	121.82	4852.9	4795.6	4762.6	-0.38	-0.78	-2.09	22.18	-42.8	-31.8	-46.3	11.97	7.56	-61.02	-83.1	-104.7	-125.0	100.0	-102.84
8.00	125.03	4977.2	4913.3	4880.8	-0.18	-0.82	-2.14	22.11	-41.7	-33.3	-50.5	12.57	12.05	-56.18	-83.1	-104.3	-124.6	145.5	-106.33
10.00	113.24	5093.3	5028.9	4991.7	-0.31	-0.92	-1.99	22.03	-44.4	-35.0	-46.8	16.16	12.82	-57.96	-82.9	-104.7	-125.1	170.8	-107.65
12.00	93.68	5307.0	5241.2	5197.5	-0.18	-0.80	-2.22	21.97	-49.1	-32.4	-42.9	21.33	12.85	-57.76	-82.6	-104.7	-125.2	204.2	-109.26
13.00	90.49	5398.7	5332.6	5289.7	-0.08	-0.65	-2.17	21.96	-52.0	-33.5	-47.1	16.57	9.30	-55.34	-83.5	-104.4	-124.5	286.7	-112.25
13.50	72.63	5443.5	5377.8	5330.6	-0.15	-0.52	-2.28	21.97	-53.5	-34.6	-45.3	16.33	6.55	-54.34	-83.2	-104.4	-124.5	336.6	-113.56
15.00	77.16	5559.5	5490.1	5448.4	-0.34	-0.44	-2.48	21.92	-47.9	-40.2	-46.9	14.24	7.93	-55.31	-83.3	-104.4	-124.5	472.5	-116.66
16.00	57.42	5633.0	5560.7	5511.3	-0.61	-0.60	-2.34	21.89	-46.5	-41.4	-45.4	15.68	7.79	-56.79	-81.9	-103.2	-123.3	564.9	-118.19
18.00	40.89	5754.9	5678.9	5630.4	-0.59	-0.65	-2.85	21.84	-50.4	-42.9	-46.4	14.83	3.93	-62.27	-82.4	-103.4	-123.5	931.1	-122.43
19.00	40.89	5811.1	5734.1	5680.8	-0.87	-0.97	-2.60	21.80	-49.0	-40.8	-45.1	18.05	7.37	-56.77	-80.0	-100.9	-121.0	1000.0	-123.12

*at 25°C unless mentioned otherwise



Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at www.minicircuits.com/MCIS/Store/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Voltage Controlled Oscillator

ZX95-5400-S+

Typical Performance Data

V TUNE	TUNE SENS (MHz/V)	FREQUENCY (MHz)			POWER OUTPUT (dBm)			HARMONICS (dBc)			FREQ. PUSH (MHz/V)	FREQ OFFSET (kHz)	PHASE NOISE (dBc/Hz)
		-55°C	+25°C	+85°C	-55°C	+25°C	+85°C	F2	F3	F4			
0.0	41.8	4132.5	4111.6	4098.6	0.6	-0.4	-1.5	-32.0	-34.8	-52.6	3.4	1	-56
0.5	46.7	4156.1	4132.6	4119.6	0.8	-0.3	-1.4	-33.6	-32.9	-54.4	4.1	10	-83
1.0	43.8	4177.3	4155.9	4140.4	1.0	-0.2	-1.3	-34.0	-33.9	-55.4	4.7	100	-104
1.5	43.6	4198.5	4177.8	4164.4	1.1	-0.1	-1.2	-35.4	-35.7	-56.7	4.5	1000	-124
2.0	51.9	4223.2	4199.5	4187.0	1.1	0.0	-1.2	-35.4	-36.7	-53.1	4.8		
2.5	65.3	4252.9	4225.5	4211.1	1.2	0.0	-1.2	-35.1	-36.5	-54.7	6.1		
3.0	65.8	4283.1	4258.1	4240.8	1.2	0.0	-1.2	-36.4	-36.2	-51.5	7.1		
3.5	77.6	4318.7	4291.0	4276.1	1.1	0.1	-1.1	-37.9	-35.7	-49.5	6.8		
4.0	96.1	4362.9	4329.8	4311.5	1.0	-0.1	-1.2	-39.6	-35.7	-50.1	8.8		
4.5	95.9	4408.3	4377.8	4357.1	0.9	-0.1	-1.3	-39.3	-37.0	-51.3	9.2		
5.0	119.8	4467.2	4425.8	4405.3	0.7	-0.3	-1.3	-38.6	-41.1	-52.3	11.7		
5.5	123.9	4526.8	4485.7	4463.0	0.3	-0.3	-1.5	-40.0	-46.7	-48.5	10.4		
6.0	121.6	4592.5	4547.7	4518.1	0.1	-0.6	-1.6	-43.2	-43.3	-45.9	13.0		
6.5	129.5	4659.5	4608.5	4580.9	-0.1	-0.7	-1.7	-41.8	-35.7	-47.1	12.1		
7.0	120.2	4723.2	4673.2	4640.8	-0.3	-0.8	-1.9	-43.2	-33.5	-46.6	12.6		
7.5	124.5	4788.8	4733.3	4701.3	-0.2	-0.9	-1.9	-42.1	-31.9	-46.3	13.5		
8.0	121.8	4852.9	4795.6	4762.6	-0.4	-0.8	-2.1	-42.8	-31.8	-46.3	12.0		
8.5	113.6	4912.7	4856.5	4819.2	-0.4	-1.0	-2.1	-41.4	-33.0	-48.5	14.5		
9.0	125.0	4977.2	4913.3	4880.8	-0.2	-0.8	-2.1	-41.7	-33.3	-50.5	12.6		
9.5	106.3	5037.1	4975.8	4934.5	-0.4	-0.7	-2.3	-43.6	-32.5	-46.3	12.5		
10.0	113.2	5093.3	5028.9	4991.7	-0.3	-0.9	-2.0	-44.4	-35.0	-46.8	16.2		
10.5	107.5	5152.5	5085.6	5047.1	-0.4	-0.7	-2.4	-43.7	-37.4	-45.3	13.0		
11.0	103.6	5205.2	5139.3	5096.8	-0.3	-0.8	-2.1	-45.6	-35.7	-44.1	14.6		
11.5	100.3	5259.7	5191.1	5149.2	-0.2	-0.7	-2.3	-46.6	-33.3	-44.3	14.2		
12.0	93.7	5307.0	5241.2	5197.5	-0.2	-0.8	-2.2	-49.1	-32.4	-42.9	21.3		
12.5	89.0	5356.5	5288.0	5244.1	-0.1	-0.6	-2.4	-49.7	-33.0	-47.0	14.4		
13.0	90.5	5398.7	5332.6	5289.7	-0.1	-0.7	-2.2	-52.0	-33.5	-47.1	16.6		
13.5	72.6	5443.5	5377.8	5330.6	-0.2	-0.5	-2.3	-53.5	-34.6	-45.3	16.3		
14.0	88.0	5479.9	5414.1	5372.8	-0.1	-0.5	-2.2	-51.1	-37.0	-44.2	14.3		
14.5	63.9	5522.8	5458.1	5409.0	-0.4	-0.5	-2.1	-47.7	-39.6	-48.0	15.7		
15.0	77.2	5559.5	5490.1	5448.4	-0.3	-0.4	-2.5	-47.9	-40.2	-46.9	14.2		
15.5	64.0	5596.0	5528.7	5481.8	-0.5	-0.7	-2.1	-47.5	-42.7	-47.0	17.5		
16.0	57.4	5633.0	5560.7	5511.3	-0.6	-0.6	-2.3	-46.5	-41.4	-45.4	15.7		
16.5	65.2	5667.4	5589.4	5547.4	-0.4	-0.6	-2.6	-46.5	-44.1	-44.2	19.0		
17.5	48.2	5732.2	5654.8	5602.4	-0.7	-0.7	-2.5	-49.4	-41.5	-45.2	19.4		
18.0	40.9	5754.9	5678.9	5630.4	-0.6	-0.7	-2.9	-50.4	-42.9	-46.4	14.8		
19.0	40.9	5811.1	5734.1	5680.8	-0.9	-1.0	-2.6	-49.0	-40.8	-45.1	18.1		
19.5	33.8	5830.4	5754.6	5701.0	-0.9	-0.8	-3.0	-51.3	-41.4	-48.0	15.8		
20.5	39.9	5874.7	5798.3	5749.2	-1.1	-1.3	-3.2	-53.3	-41.8	-45.2	39.3		

Notes
 A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

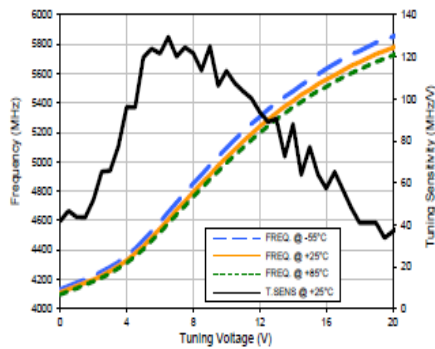
Rev. OR
 ZX95-5400-S+
 190128
 Page 1 of 1

Voltage Controlled Oscillator

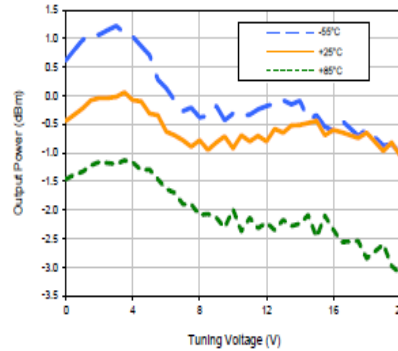
ZX95-5400-S+

Typical Performance Data

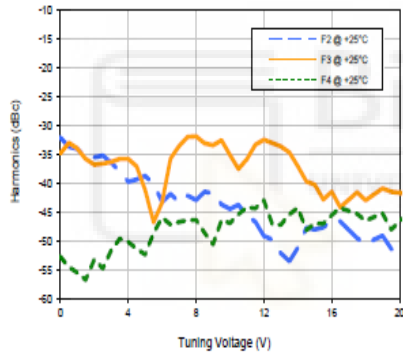
Frequency and Tuning Sensitivity



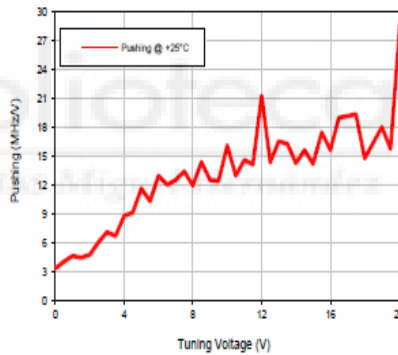
Power Output



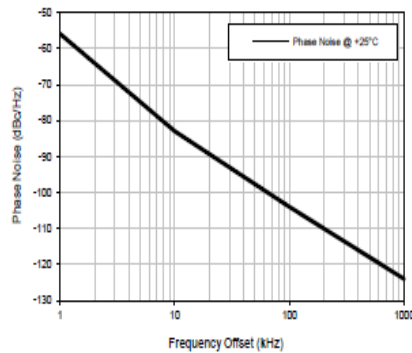
Harmonics Level



Frequency Pushing



Phase Noise



Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable published test performance criteria and measurement instructions.
- C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/VOL3store/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350185, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Rev. OR
 ZX95-5400-S+
 190128
 Page 1 of 1

Coaxial

Low Noise Amplifier

ZX60-83LN-S+

50Ω 0.5 to 8 GHz

The Big Deal

- Extremely wideband, 0.5 to 8 GHz
- Low Noise, 1.4 dB @ 2 GHz
- High IP3, +34 dBm
- Excellent gain flatness ± 0.9 dB over 0.5 to 7 GHz @6V



CASE STYLE: GC957

Product Overview

Mini-Circuits' ZX60-83LN-S+ is a wideband low noise connectorized amplifier providing a unique combination of low noise figure, high IP3 and flat gain over a very wide frequency range, supporting a wide range of sensitive, high-dynamic range receiver applications and many systems where high performance over wideband is needed. This design operates on a single 5 or 6V supply and comes in a rugged, compact unibody case (0.74 x 0.75 x 0.46") with SMA connectors, making it an excellent candidate for tough operating conditions and crowded system layouts.

Key Features

Feature	Advantages
Ultra-wideband with excellent gain flatness, ± 0.9 dB	Enables a single amplifier to be used in a wide range of applications including WiFi, LTE, S-Band radar, C-band SATCOM, defense, instrumentation and more.
Low noise over the whole band	Enables lower system noise figure performance.
High gain, 21 dB typ.	Reduces the number of gain stages, lowering component count and overall system cost.
High IP3: • +35.2 dBm at 2 GHz • +28.5 dBm at 8 GHz	The combination of low noise and high IP3 makes the ZX60-83LN-S+ ideal for use in low noise receiver front end (RFE) as it gives the user the advantages of sensitivity and two-tone IM performance at both ends of the dynamic range.
Low operating voltage, 5V/6V	The amplifier achieves high IP3 using low voltage.
Rugged, unibody construction	Mini-Circuits unibody construction integrates the RF connector into the case body, providing high reliability and excellent survivability in critical applications.

Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MC/Store/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Page 1 of 4

Coaxial

Low Noise Amplifier

ZX60-83LN-S+

50Ω 0.5 to 8 GHz

Features

- Low Noise figure, 1.4 dB at 2 GHz
- High IP3, 35 dBm typ. at 2 GHz
- High Pout, P1dB 20.7 dBm typ. at 2 GHz and 6V
- Excellent Gain flatness, ±0.9 dB over 0.5 to 7 GHz and 6V

Applications

- WiFi
- WLAN
- UMTS
- LTE
- WiMAX
- S-band Radar
- C-band Satcom



CASE STYLE: GC957

Connectors	Model
SMA	ZX60-83LN-S+

+RoHS Compliant

The +Suffix identifies RoHS Compliance. See our web site for RoHS Compliance methodologies and qualifications

Electrical Specifications at 25°C and 5V, unless noted

Parameter	Condition (GHz)	V _{DD} =6.0			V _{DD} =5.0	Units
		Min.	Typ.	Max.	Typ.	
Frequency Range		0.5		8.0	0.5-8.0	GHz
Noise Figure	0.5	—	1.6	—	1.6	dB
	2.0	—	1.4	1.7	1.4	
	4.0	—	1.5	—	1.5	
	8.0	—	2.2	—	2.2	
Gain	0.5	—	21.8	—	21.0	dB
	2.0	19.9	22.1	24.3	21.3	
	4.0	—	21.5	—	20.8	
	8.0	—	19.2	—	18.7	
Input Return Loss	0.5		14.2		13.1	dB
	2.0		15.0		15.0	
	4.0		12.0		11.0	
	8.0		6.1		6.1	
Output Return Loss	0.5		12.9		13.7	dB
	2.0		10.0		11.0	
	4.0		18.0		18.0	
	8.0		12.9		12.6	
Output Power at 1dB Compression ⁽¹⁾	0.5		18.6		16.3	dBm
	2.0		20.7		19.1	
	4.0		19.6		17.6	
	8.0		18.0		17.3	
Output IP3	0.5		34.2		29.7	dBm
	2.0		35.2		30.0	
	4.0		31.0		27.0	
	8.0		28.5		26.2	
Device Operating Voltage (V _{DD})			6.0	—	5.0	V
Device Operating Current (I _{DD})		—	77	94	60	mA
Device Current Variation vs. Temperature ²		—	-152	—	-109	μA/°C
Device Current Variation vs. Voltage			0.016		0.016	mA/mV
Thermal Resistance, junction-to-ground lead			47		47	°C/W

1. Current increases at P1dB to 109 mA typ. at +6V V_{DD} and 88mA typ. at +5V V_{DD}

2. (Current at 85°C - Current at -45°C)/130

Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
 B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
 C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuit's standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuit's website at: www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp

REV A
 M171464
 ZX60-83LN-S+
 ED-15070802
 DWCP/AM
 181212
 Page 2 of 4



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

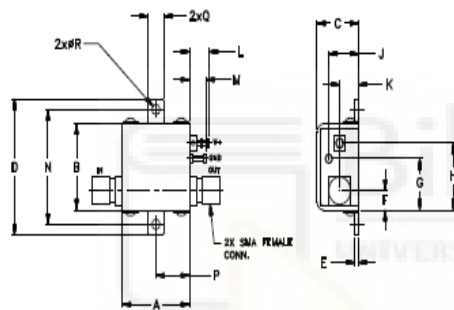
ZX60-83LN-S+

Absolute Maximum Ratings⁴

Parameter	Ratings
Operating Temperature (ground lead)	-40°C to 85°C
Storage Temperature	-55°C to 100°C
Total Power Dissipation	0.95 W
Input Power (CW), V _d =5.6V	+19 dBm (5 minutes max.) +16 dBm (continuous)
DC Voltage	7 V

4. Permanent damage may occur if any of these limits are exceeded.
Electrical maximum ratings are not intended for continuous normal operation.

Outline Drawing



⚠ NOTE: When soldering the DC connections, caution must be used to avoid overheating the DC terminal. See Application Note [AN-40-010](#).

Outline Dimensions (Inch/mm)

A	B	C	D	E	F	G	H	J	K	L	M	N	P	Q	R	wt
.74	.75	.46	1.18	.04	.17	.45	.59	.33	.21	.22	.18	1.00	.37	.18	.106	grams
18.80	19.05	11.68	29.97	1.02	4.32	11.43	14.99	8.38	5.33	5.59	4.57	25.40	9.40	4.57	2.69	23.0

Notes

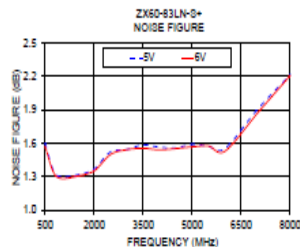
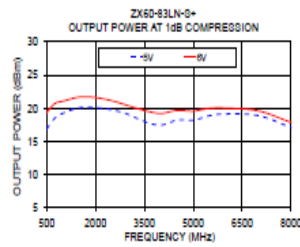
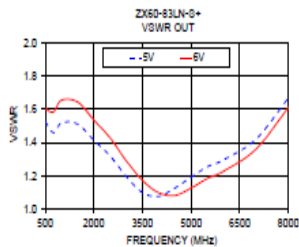
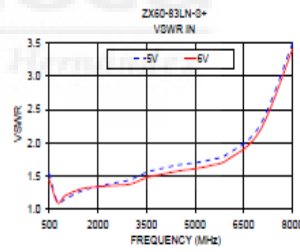
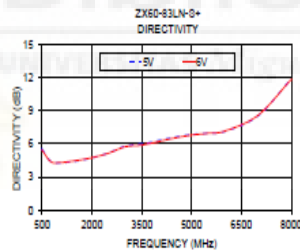
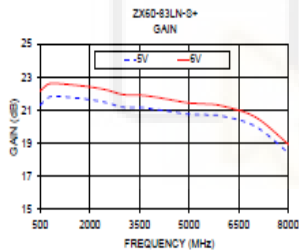
- Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuits' applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits' standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"). Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCLStore/terms.jsp



www.minicircuits.com P.O. Box 350166, Brooklyn, NY 11235-0003 (718) 934-4500 sales@minicircuits.com

Page 3 of 4

FREQUENCY (MHz)	GAIN (dB)		DIRECTIVITY (dB)		VSWR (:1)				POWER OUT @ 1 dB COMPR. (dBm)		NF (dB)		IP3 (dBm)	
	5V	6V	5V	6V	5V		6V		5V	6V	5V	6V	5V	6V
					IN	OUT	IN	OUT						
500	21.30	22.16	5.52	5.42	1.54	1.45	1.53	1.60	16.84	19.32	1.60	1.57	31.05	34.61
750	21.77	22.58	4.43	4.41	1.11	1.10	1.46	1.58	18.50	20.70	1.36	1.34	31.75	36.32
1000	21.83	22.61	4.27	4.29	1.16	1.20	1.52	1.65	19.23	21.06	1.29	1.28	31.96	36.52
1500	21.75	22.52	4.44	4.47	1.28	1.31	1.51	1.64	20.08	21.68	1.32	1.31	36.35	38.37
2000	21.63	22.40	4.73	4.74	1.34	1.34	1.41	1.54	20.09	21.61	1.37	1.35	35.25	38.90
2500	21.45	22.22	5.17	5.15	1.39	1.36	1.32	1.43	19.79	21.14	1.52	1.50	33.23	38.19
3000	21.17	21.94	5.79	5.73	1.44	1.38	1.20	1.29	19.09	20.40	1.54	1.54	30.16	35.44
3500	21.16	21.91	5.96	5.88	1.55	1.47	1.10	1.17	18.00	19.67	1.59	1.55	29.93	35.24
4000	21.04	21.78	6.29	6.20	1.62	1.53	1.08	1.10	17.45	19.23	1.56	1.54	28.69	33.05
4500	20.89	21.60	6.59	6.52	1.67	1.58	1.13	1.08	18.21	19.70	1.56	1.55	29.82	35.40
5000	20.75	21.43	6.83	6.78	1.70	1.61	1.19	1.13	18.21	19.59	1.59	1.57	27.84	32.02
5500	20.72	21.37	6.96	6.95	1.75	1.66	1.25	1.18	18.88	19.98	1.57	1.57	29.37	33.90
6000	20.64	21.25	7.12	7.15	1.83	1.75	1.30	1.23	19.13	20.02	1.55	1.53	29.00	33.37
7000	20.02	20.58	8.53	8.58	2.26	2.18	1.42	1.36	18.89	19.61	1.90	1.87	29.40	33.74
8000	18.41	18.94	11.88	11.82	3.50	3.40	1.67	1.61	17.10	17.86	2.21	2.21	26.67	29.89



Notes

- A. Performance and quality attributes and conditions not expressly stated in this specification document are intended to be excluded and do not form a part of this specification document.
- B. Electrical specifications and performance data contained in this specification document are based on Mini-Circuit's applicable established test performance criteria and measurement instructions.
- C. The parts covered by this specification document are subject to Mini-Circuits standard limited warranty and terms and conditions (collectively, "Standard Terms"); Purchasers of this part are entitled to the rights and benefits contained therein. For a full statement of the Standard Terms and the exclusive rights and remedies thereunder, please visit Mini-Circuits' website at www.minicircuits.com/MCStore/terms.jsp



ANEXO 2: Normativa



MINISTERIO
DEL INTERIOR



DIRECCIÓN GENERAL
DE LA POLICÍA Y
DE LA GUARDIA CIVIL

CUERPO NACIONAL DE POLICÍA
COMISARÍA GENERAL DE
SEGURIDAD CIUDADANA

UNIDAD CENTRAL
DE SEGURIDAD PRIVADA

INFORME UCSP N°: 2010/009

FECHA 16/02/2010

ASUNTO INHIBIDORES DE FRECUENCIA

ANTECEDENTES

El uso de los inhibidores de frecuencia, se ha generalizado en nuestra sociedad. Particulares, propietarios de empresas o directores de centros de formación, instalan estos aparatos, de fácil adquisición y escaso coste, en sus viviendas, locales o aulas, sin tener en cuenta las consecuencias que su utilización provoca en los derechos fundamentales de los ciudadanos.

En muchos lugares, como espectáculos públicos, aeronaves, hospitales, gasolineras...etc., seguramente aplicando criterios de oportunidad o necesidad, pero sin una adecuada valoración del principio de proporcionalidad, recurren a la "recomendación", cuando no a la exigencia, de apagar los móviles, para evitar molestias, preservar derechos, conjurar peligros o cualquier otra finalidad, normalmente amparada bajo el manto protector de la razón de seguridad.

Un caso particularmente problemático es el de los estudiantes y opositores, que vienen utilizando aparatos tecnológicos de muy difícil localización en las distintas pruebas de conocimientos, y que han provocado que muchos centros públicos y privados estén estudiando la conveniencia y la legalidad de instalar inhibidores de frecuencia en sus aulas, con el único objetivo de impedir o hacer inútiles los aparatos utilizados por los alumnos para, de forma fraudulenta, superar las pruebas, pero que también inutilizarían otros aparatos legales como los teléfonos móviles, los equipos de seguridad o los mandos a distancia de los distintos aparatos electrónicos del propio centro y de los locales o viviendas de las proximidades.

En base a ello, y en contestación a la pregunta referente a la legalidad del uso de aparatos inhibidores de frecuencia, se emite el presente informe, tomando como referencia la contestación a la consulta que una Empresa de Seguridad realiza al Ministerio de Industria, de fecha 28 de diciembre de 2004, y que puede ser trasladable a la consulta que motiva este informe.

CONSIDERACIONES

Con carácter previo se participa que los informes o respuestas que emite esta Unidad tienen un carácter meramente informativo y orientativo -nunca vinculante- para quien los emite y para quien los solicita, sin que quepa atribuir a los mismos otros

CORREO ELECTRÓNICO
ucsp.coordination@policia.es

C/ Rey Francisco, 21
28008 MADRID
TEL: 91322 39 19
FAX: 91322 39 18



efectos o aplicaciones distintos del mero cumplimiento del deber de servicio a los ciudadanos.

En primer lugar, se ha procedido a realizar un breve estudio de la legislación reguladora de seguridad privada, señalándose que no existe referencia alguna a esta materia, por lo que la utilización de los aparatos inhibidores de frecuencia, es totalmente ajena a la seguridad privada.

De forma indicativa, la normativa aplicable a este tipo de cuestiones, será la siguiente:

- Directiva de la Comunidad Europea 99/05/CE
- Real Decreto 1890/2000 de 20 de noviembre por el que se aprueba el procedimiento para la evaluación de la conformidad de los aparatos de telecomunicaciones.
- Informe de la Secretaria de Estado de Telecomunicaciones de fecha 28 de diciembre de 2004.
- Título VIII de la Ley 32/2003 de 3 de noviembre, General de Telecomunicaciones.
- Decisión de la Comisión de 6 de abril de 2000 relativa al establecimiento de la clasificación inicial de los equipos radioeléctricos y equipos terminales de telecomunicación y los identificadores asociados.
- Decisión de la Comisión de 26 de julio de 2002 por la que se crea un Grupo de política del espectro radioeléctrico.
- Decisión nº 676/2002/CE del Parlamento Europeo y del Consejo sobre un marco regulador de la política del espectro radioeléctrico en la Comunidad Europea.

La utilización de este tipo de dispositivos incide en el espacio radioeléctrico, al que perturba interrumpiendo la frecuencia e impidiendo la comunicación. Entendiéndose por espectro radioeléctrico, de conformidad con la normativa comunitaria, las ondas radioeléctricas en las frecuencias comprendidas entre las 9 khz y 3000 Ghz. Debemos tener en cuenta que dicho espectro radioeléctrico es definido y marcado por un Grupo de Política del espectro, formado por Altos Representantes ministeriales de los Estados miembros, así como por un Comité del Espectro Radioeléctrico encargado de las medidas técnicas de aplicación, armonización y atribución de las frecuencias de radio.



Sobre el particular que nos ocupa, la utilización de estos aparatos y su afectación al espectro radioeléctrico, la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones, a través de un informe emitido con fecha 28 de diciembre de 2004, vierte una consideración de enorme interés al definir el ámbito de aplicación de la normativa de telecomunicaciones respecto a la cuestión objeto de consulta. Y así expresa: *" Si los equipos anulan las frecuencias de radio mediante la emisión de señales radioeléctricas que perturbando, crean interferencias que inhabilitan, por ejemplo, el uso de teléfonos móviles, estos equipos, por el solo hecho de utilizar el espectro radioeléctrico, deberán estar a lo dispuesto en la Directiva 99/05/CE, transpuesta a la legislación española mediante el Real Decreto 1890/2000 de 20 de noviembre".*

En relación con la cuestión objeto del presente informe, relativa a la legalidad de este tipo de dispositivos, de extremadamente aclaratorio debe calificarse las afirmaciones vertidas en el Informe antes citado al afirmar que: "Los equipos que utilicen frecuencias de radio de forma no armonizada, deberán notificarlo a la Secretaría de Estado para proceder a su autorización o a no autorizar el uso de estos equipos". Y más importante o relevante es el comentario siguiente: "En el Comité TCAM, que emana de esta Directiva, se ha llegado a un acuerdo entre todos los Estados miembros de NO AUTORIZAR el uso de este tipo de equipos, y así figura en los documentos y página web de la Comisión Europea sobre esta materia".

Los inhibidores de frecuencia aludidos están encuadrados en la categoría 2 y son objeto de restricción, y ello conforme a lo dispuesto en la Decisión de la Comisión Europea, de fecha 6 de abril de 2000, al contemplar, en su artículo 1.2 de dicha decisión que: *" Los equipos radioeléctricos cuya puesta en servicio sea objeto de restricciones por los Estados miembros, según lo previsto en el apartado 2 del artículo 7 de la Directiva 1999/5/CE, o cuya puesta en el mercado esté limitada según lo previsto en el apartado 5 del artículo 9 de la Directiva 1999/5/CE, constituirán una categoría. Dicha categoría se denominará categoría 2."*

Conviene aclarar, en este sentido, que el Comité de Vigilancia del Mercado y evaluación de la conformidad en materia de Telecomunicaciones (TCAM), es el organismo encargado de elaborar dichas categorías.

Por último, reproducir, por su interés, al establecer una salvedad a la utilización de los inhibidores de frecuencia, la siguiente afirmación efectuada por la Secretaría de Estado en su Informe tantas veces repetido: *" No obstante, debe tenerse en cuenta que la Directiva contempla una serie de equipos que están exentos de la aplicación de la misma, como pueden ser los utilizados, exclusivamente, para actividades relacionadas con la seguridad pública, la defensa nacional, la seguridad del estado y las actividades del Estado en el ámbito del Derecho Penal. De ello se deduce que, en determinadas circunstancias, estos equipos pueden ser puestos en servicio, siempre que se*



encuentren en la situación anterior, ya que no les sería de aplicación ni la Directiva ni el Real Decreto”.

El régimen sancionador aplicable a aquellas personas físicas o jurídicas que pongan en el mercado este tipo de dispositivos viene descrito en la Ley General de Telecomunicaciones, Título VIII (Inspección y Régimen sancionador), debiendo mediar denuncia. Las sanciones pueden oscilar entre 20 millones de Euros, ante el supuesto de comisión de infracción muy grave (artículo 53.b y f de la Ley) y 500.000 Euros, para el supuesto de comisión de infracción grave (artículo 54.c, e, j de la Ley).

CONCLUSIÓN

En atención a las consideraciones anteriores, cabe concluir lo siguiente:

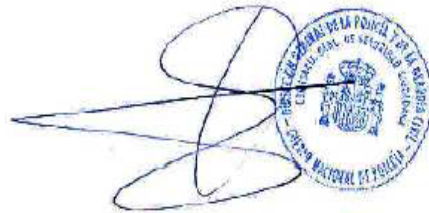
1º.- El Organismo oficial competente en esta materia es el Ministerio de Industria, a través de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones, siendo ésta una materia ajena a la normativa específica de seguridad privada sobre medidas de seguridad.

2º.- En el Comité de Vigilancia del Mercado y evaluación de la conformidad en materia de Telecomunicaciones (TCAM), del que emana la Directiva, se ha llegado a un acuerdo, entre todos los Estados miembros, de no autorizar este tipo de equipos, salvo las excepciones previstas en la norma en el ámbito de la seguridad pública..

3º.- Los dispositivos inhibidores de frecuencia sólo pueden ser usados por las Fuerzas y Cuerpos de Seguridad y Administraciones Públicas autorizadas, por lo que, en la actualidad, todos aquellos que se estén utilizando fuera de esta excepción, y sin la autorización expresa de la Secretaría de Estado de Telecomunicaciones, se encuentran al margen de la legislación vigente, pudiendo aplicarse, en consecuencia, previa denuncia, el correspondiente régimen sancionador por parte del organismo competente.

Este informe se emite en cumplimiento de lo dispuesto en el Artículo 35 g) de la Ley 30/92, sobre derecho de información al ciudadano, y fija la posición y el criterio decisor de las Unidades Policiales de Seguridad Privada, en relación con el objeto de la consulta sometido a consideración.

EL COMISARIO, JEFE DE LA UNIDAD CENTRAL DE SEGURIDAD PRIVADA



Fdo.: Esteban GÁNDARA TRUEBA



ANEXO 3: Reparto del espectro por operadores a nivel europeo.

Anexo II reparto del espectro por operadores a nivel europeo

País	Nombre comercial	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2 GHz FDD	2 GHz TDD	2,6 GHz FDD	2,6 GHz TDD
Alemania	Telefónica Germany ⁷⁵	2x10	2x10	2x20	2x34,85	24,2	2x30	20
Alemania	Vodafone ⁷⁶	2x10	2x10	2x25	2x14,85	5	2x20	25
Alemania	Telekom Deutschland ⁷⁷	2x10	2x15	2x30	2x9,9	5	2x20	5
Austria	A1 Telekom Austria	2x20	2x15	2x35	2x19,8	10	2x25	25
Austria	Hutchison Drei Austria		2x5	2x20	2x24,8	5	2x25	25
Austria	T-Mobile Austria	2x10	2x15	2x20	2x15	9,8	2x20	
Bélgica	Proximus	2x10	2x12,4	2x25	2x15	5,4	2x20	
Bélgica	Mobistar	2x10	2x11,6	2x25	2x14,8	5	2x20	
Bélgica	Base	2x10	2x10,2	2x25	2x14,8	5	2x15	
Bélgica	BUCD							45
Bulgaria	Bulgarian Telecommunications Company EAD		2x11,2	2x10,0	2x10,0	5		
Bulgaria	Mobilтел EAD		2x11,2	2x10,0	2x10,0	5		
Bulgaria	Telenor Bulgaria EAD		2x11,2	2x10,0	2x10,0	5		
Bulgaria	Max Telecom OOD			2x10,0				
Bulgaria	4G Com EAD			2x8,0				
Bulgaria	Bulsatcom EAD			2x5,0				
Chipre	MTN		2x12,2	2x24,8	2x15,0			
Chipre	cyta		2x12,2	2x24,8	2x15,0			
Chipre	Primetel		2x10,0	2x24,8	2x15,0			
Croacia	Hrvatski Telekom d.d.	2x15,0	2x14,4	2x30,0	2x15,0	5		
Croacia	VIPnet d.o.o.	2x15,0	2x14,4	2x10,0	2x15,0	5		
Croacia	Tele 2 d.o.o.		2x5,0	2x27,0	2x15,0	5		
Dinamarca	TDC	2x20	2x9	2x21,8	2x15,5		2x20	
Dinamarca	Telia		2x11,8	2x23,6	2x15	5	2x20	15
Dinamarca	Telenor		2x9	2x19,4	2x15	5	2x20	10
Dinamarca	Three		2x5	2x10	2x15	5	2x10	25
Dinamarca	TT-Network	2x10						
Eslovaquia	Slovak Telekom, a.s.	2x10,0	2x10,2	2x15,3	2x20,0	5	2x40,0	50
Eslovaquia	Orange Slovakia, s.r.o.	2x10,0	2x10,2	2x20,0	2x20,0	5	2x30,0	
Eslovaquia	Telefonica, Slovakia, s.r.o.	2x10,0	2x10,2	2x15,8	2x20,0	5		
Eslovaquia	Swan, a.s.			2x15,0				
Eslovenia	SI.MOBIL d.d.	2x10	2x15	2x30	2x15	25	2x30	25
Eslovenia	TELEKOM SLOVENIJE, d.d.	2x10	2x15	2x25	2x20	5	2x35	25

⁷⁵ Adicionalmente dispone de 2x10 MHz en la banda de 700 MHz.

⁷⁶ Adicionalmente dispone de 2x10 MHz en la banda de 700 MHz y de 20 MHz en la banda de 1500 MHz.

⁷⁷ Adicionalmente dispone de 2x10 MHz en la banda de 700 MHz y de 20 MHz en la banda de 1500 MHz.

País	Nombre comercial	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2 GHz FDD	2 GHz TDD	2,6 GHz FDD	2,6 GHz TDD
Eslovenia	Tusmobil, d.o.o.	2x10	2x5	2x20	2x5			
Eslovenia	T-2 d.o.o.				2x15	5		
España	Vodafone	2x10	2x10	2x20	2x15	5	2x20	20
España	Orange	2x10	2x10	2x20	2x15	5	2x20	10
España	Movistar	2x10	2x14,8	2x20	2x15	5	2x20	
España	Yoigo			2x14,8	2x15	5		
Estonia	AS Eesti Telekom	2x10,0	2x11,4	2x24,8	2x14,8	4,8	2x30,0	40
Estonia	Tele 2 Eesti AS	2x10,0	2x11,4	2x24,8	2x29,8	9,6	2x20,0	
Estonia	Elisa Eesti AS	2x10,0	2x11,4	2x24,8	2x14,8	4,8	2x20,0	
Finlandia	Elisa	2x10	2x11,4	2x24,8	2x19,8	4,8	2x25	
Finlandia	TeliaSonera Finland	2x10	2x11,4	2x24,8	2x19,8	4,8	2x25	
Finlandia	DNA Finland	2x10	2x11,6	2x24,8	2x19,8	4,8	2x20	
Finlandia	Ukko Mobile							50
Francia ⁷⁸	Orange	2x10	2x10	2x20	2x19,6	5	2x20	
Francia	SFR	2x10	2x10	2x20	2x19,6	5	2x15	
Francia	Bouygues Telecom	2x10	2x9,8	2x20	2x14,8	5	2x15	
Francia	Free Mobile		2x5	2x15	2x5		2x20	
Grecia	Cosmote	2x10	2x10	2x35	2x15	5	2x30	20
Grecia	Panafon	2x10	2x15	2x25	2x20	5	2x20	20
Grecia	WIND Hellas	2x10	2x10	2x15	2x20	5	2x20	
Irlanda	Three/Os	2x10	2x15	2x35	2x30	5		
Irlanda	Vodafone	2x10	2x10	2x25	2x15			
Irlanda	Meteor (Eircom)	2x10	2x10	2x15	2x15			
Italia	Telecom Italia	2x10	2x10	2x20	2x15	5	2x15	
Italia	Vodafone Italia	2x10	2x10	2x20	2x15	5	2x15	
Italia	Wind	2x10	2x9,8	2x15	2x15	5	2x20	
Italia	Tre		2x5	2x15	2x15	5	2x10	30
Letonia	Latvijas Mobilais Telefons	2x10,0	2x13,2	2x24,8	2x20,0	5,0	2x20,0	50
Letonia	Tele2	2x10,0	2x11,6	2x24,8	2x20,0	5,0	2x20,0	
Letonia	Bite Latvija	2x10,0	2x9,8	2x25,0	2x20,0	5,0	2x20,0	
Letonia	BALTCOM TV						2x10,0	
Lituania	UAB Omnitel	2x10,0	2x11,6	2x24,8	2x19,8		2x20,0	
Lituania	UAB Bite Lietuva	2x10,0	2x11,6	2x24,8	2x19,8		2x20,0	
Lituania	UAB Tele2	2x10,0	2x11,6	2x24,8	2x19,8		2x20,0	
Luxemburgo	POST	2x10	2x12	2x25	2x15	5	2x20	
Luxemburgo	Tango	2x10	2x12	2x25	2x15	5	2x20	
Luxemburgo	Orange	2x10	2x9,8	2x25	2x15	5	2x20	

⁷⁸ Se ha considerado la nueva redistribución de espectro en la banda de 1800 MHz a partir de 25 mayo de 2018, coincidiendo con la aplicación de la neutralidad tecnológica a esta banda por parte de Arcep.

País	Nombre comercial	800 MHz	900 MHz	1800 MHz	2 GHz FDD	2 GHz TDD	2,6 GHz FDD	2,6 GHz TDD
Luxemburgo	Join Wireless						2x10	40
Malta	Vodafone Malta Limited		2x15	2x25	2x19,8	5		
Malta	Mobisile Communications Limited		2x15	2x20	2x19,8	5		
Malta	Melita Mobile Limited		2x5		2x19,8	5		
Noruega	Telenor Norge	2x10	2x15,1	2x20	2x20		2x20	40
Noruega	NetCom	2x10	2x14,8	2x20	2x20		2x20	
Noruega	Telco Data	2x10	2x5,1	2x20				
Noruega	Mobile Norway				2x19,8	5		
Holanda	T-Mobile		2x15	2x30	2x20	24,6	2x5	25
Holanda	KPN	2x10	2x10	2x20	2x19,8	5	2x10	30
Holanda	Vodafone	2x10	2x10	2x20	2x19,8	5,4	2x10	
Holanda	Tele2	2x10					2x20	5
Holanda	Ziggo						2x20	
Portugal	Vodafone	2x10	2x13	2x20	2x20		2x20	25
Portugal	MEO	2x10	2x8	2x20	2x20	5	2x20	
Portugal	NOS	2x10	2x7,8	2x20	2x15		2x20	
Reino Unido	EE	2x5		2x45	2x20	10	2x35	
Reino Unido	Vodafone	2x10	2x17,4	2x5,8	2x15		2x20	25
Reino Unido	O2	2x10	2x17,4	2x5,8	2x10	5		
Reino Unido	Three	2x5		2x15	2x15	5		
Reino Unido	BT						2x15	20
República Checa	T- Mobile Czech Republic, a.s.	2x10,0	2x10,0	2x22,0	2x19,8		2x20,0	
República Checa	Telefonica Czech Republic, a.s.	2x5,0	2x12,4	2x20,0	2x19,8	5	2x20,0	
República Checa	Vodafone Czech Republic, a.s.	2x10,0	2x12,4	2x17,0	2x19,8		2x20,0	
Rumanía	VODAFONE ROMANIA S.A.	2x10,0	2x15	2x30,0	2x14,8	5		15
Rumanía	ORANGE ROMANIA S.A.	2x10,0	2x5	2x20,1	2x14,8	5	2x20,0	
Rumanía	TELEMOBIL S.A.	2x5,0	2x10	2x25,0	2x14,8	5	2x10,0	
Rumanía	RCS&RDS S.A.		2x5		2x15,0	5		
Rumanía	2K TELECOM S.A.							30
Suecia	Net4Mobility	2x10	2x8	2x35			2x40	
Suecia	Telia	2x10	2x10	2x35			2x20	
Suecia	Three	2x10	2x5		2x19,8	5	2x10	50
Suecia	Telenor		2x5		2x19,8	5		
Suecia	Svenska UMTS-licens AB				2x19,8	5		
Suecia	Tele2		2x9					
Suiza	Swisscom	2x10	2x15	2x30	2x30	5	2x20	45
Suiza	Orange	2x10	2x5	2x25	2x20	5	2x20	
Suiza	Sunrise	2x10	2x15	2x20	2x10	5	2x25	

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Varfolomeeva, A. (2018). Signaling strength: Russia's real Syria success is electronic warfare against the US.: <https://www.thedefensepost.com/2018/05/01/russia-syria-electronic-warfare/>
- [2] Stutzman, W. L., & Thiele, G. A. (2012). *Antenna theory and design*. John Wiley & Sons.
- [3] Straw, R. D. (2003). The ARRL antenna book: the ultimate reference for amateur radio antennas, transmission lines and propagation. *Editorial Amer Radio Relay League (ARRL). Edición, 21*.
- [4] Poisel, R. (2011). *Modern communications jamming principles and techniques*. Artech House.
- [5] GSMA LATAM. (2017). *Inhibidores de señal. Uso de Jammers en prisiones.*: <https://www.gsma.com/latinamerica/wp-content/uploads/2017/12/Reporte-Jammers-2017-Espan%CC%83ol.pdf>
- [6] Wiki.bandaancho.st. (2020). *Frecuencias telefonía móvil - BandaAncho.EU.*: https://wiki.bandaancho.st/Frecuencias_telefon%C3%ADa_m%C3%B3vil
- [7] Adamy, D. (2008). *EW 103: Tactical battlefield communications electronic warfare*. Artech House.
- [8] Avancedigital.gob.es. (2020). *Ministerio de Asuntos Económicos y Transformación Digital - Cuadro Nacional de Atribución de Frecuencias.*: <https://avancedigital.gob.es/espectro/Paginas/cnaf.aspx>
- [9] Balanis, C. A. (2016). *Antenna theory: analysis and design*. John wiley & sons.
- [10] Sladký, A. *Calculations of qualitative parameters.*: <https://comtech.vsb.cz/qualmob/index.html>
- [11] Hirano, T., & Takada, J. (2016). *Dual-band printed inverted-F antenna with a nested structure. Progress in Electromagnetic Research Letter, 61, 1-6*.
- [12] Sze, J. Y., & Wu, Y. F. (2010). A compact planar hexa-band internal antenna for mobile phone. *Progress In Electromagnetics Research, 107, 413-425*.