



Escuela
Politécnica
Superior

Diseño y Análisis de un Array de Antenas tipo Parche en Tecnología Microstrip



Grado en Ingeniería en Sonido e
Imagen en Telecomunicación

Trabajo Fin de Grado

Autor:

Javier Martínez Manzano

Tutor/es:

Stephan Marini

Miguel Angel Sanchez Soriano

Octubre 2019



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

Diseño y Análisis de un Array de Antenas tipo Parche en Tecnología Microstrip

Autor

Javier Martínez Manzano

Tutor/es

Stephan Marini

Dpto. de Física, Ing. Sistemas y Teoría de la Señal

Miguel Angel Sanchez Soriano

Dpto de Física, Ing. Sistemas y Teoría de la Señal



Grado en Ingeniería en Sonido e Imagen en Telecomunicación



Escuela
Politécnica
Superior



Universitat d'Alacant
Universidad de Alicante

ALICANTE, Octubre 2019

Preámbulo

Poner aquí un texto breve que debe incluir entre otras:

“las razones que han llevado a la realización del estudio, el tema, la finalidad y el alcance y también los agradecimientos por las ayudas, por ejemplo apoyo económico (becas y subvenciones) y las consultas y discusiones con los tutores y colegas de trabajo. (?)”

Agradecimientos

Este trabajo de final de grado pone punto y seguido a mis cuatro años como estudiante de telecomunicaciones, y es aquí donde me es imposible no mirar atrás y observar con vértigo hasta donde he podido llegar. Pero todo este camino ha tenido muchos nombres y apellidos a los que me gustaría agradecer su apoyo y confianza:

A mis padres, Javier Martínez y Rosa Manzano, mi hermano, Alejandro y toda mi familia, cuyo cariño, apoyo y confianza desde 1996 han hecho que pueda llegar hasta donde hoy me encuentro.

A todos aquellos docentes que, desde infantil hasta la universidad, me han servido como referentes, aportándome nuevas formas de ver el mundo y haciéndome ver cual es mi camino en la vida: La tecnología y las telecomunicaciones.

A Stephan Marini y Miguel Angel Sanchez Soriano, mis dos tutores, por brindarme la oportunidad de realizar este proyecto sobre la materia que más me apasiona: Las antenas, y haberme ofrecido en todo momento su ayuda y conocimientos.

A mis compañeros de clase por haber hecho que estos cuatro años de clase hayan sido un poco más fáciles. En especial a Quique, cuyo apoyo y compañía durante estos cuatro años llevaré para el resto de mi vida, y a Plens, porque su dedicación y sus ganas de ayudar a los demás han marcado la forma de ser de una generación entera de telecos, y gracias a ello este TFG va a quedar precioso.

A Pablo Mateos por todos su ayuda para este TFG. Quién diría de cuatro años después de que la selectividad nos separara fueras a elegir el mismo camino que yo.

Y a Anaida, por literalmente: TODO.

Wio, alguien en una terraza ha gritado, "Te amo"
Una suave interferencia, culpa al viento solar
Un poema embotellado que en estéreo ha aterrizado en mi inconsciente,

"Wio, Antenas y Pijamas" - Love Of Lesbian

*Si consigo ver más lejos
es porque he conseguido auparme
a hombros de gigantes*

Isaac Newton.

Índice general

1. Introducción	1
1.1. Las Telecomunicaciones	1
1.2. Teoría de ondas y señales	2
1.3. Las comunicaciones móviles	5
1.4. Motivación	7
1.5. Estructura del proyecto y metodología	7
2. Marco Teórico (Con ejemplos de listas)	9
2.1. Listas	9
2.2. Listas de definición	10
3. Objetivos (Con ejemplos de tablas)	11
3.1. Tablas	11
3.2. Otros diseños de tablas	13
4. Metodología (Con ejemplos de figuras)	15
4.1. Inserción de figuras	15
5. Desarrollo (Con ejemplos de código)	17
5.1. Inserción de código	17
5.2. Usos y personalización	20
5.3. Importar archivos fuente	21
6. Resultados (Con ejemplos de gráficos)	23
6.1. Diagramas	23
6.2. Gráficas	24
6.2.1. Línea	24
6.2.2. Barras	25
6.2.3. Polar	26
6.3. Importados de MATLAB	27
6.4. Ejemplo avanzado	28
A. Anexo I	31
B. Páginas horizontales	33
C. Importar PDF	37

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de funcion senoidal	3
4.1. Ejemplo de subfiguras	16
4.2. Ejemplo de subfiguras vertical	16
6.1. Diagrama realizado en latex con Tikz.	24
6.2. Gráfica sencilla.	25
6.3. OP/S003	25
6.4. Gráfica barras.	26
6.5. Directividad normalizada del altavoz (0 dBV en el eje).	27
6.6. Ejemplo de gráfica obtenida con matlab2tikz.	28
6.7. Amplitud de la aceleración en el modo número 8.	28
6.8. Señal realizada con Tikz, sin imágenes.	29

Índice de tablas

3.1. Ejemplo de tabla.	11
3.2. Parámetros optativos de los entornos flotantes	12
3.3. Parámetros de los altavoces elegidos de la marca Beyma®.	13
3.4. Ejemplo 2	13
4.1. Esta es una tabla con múltiples imágenes. Útil cuando se deben mostrar varias juntas.	15

Índice de Códigos

5.1. ejemplo código C	17
5.2. ejemplo código C en color	18
5.3. ejemplo código PHP	18
5.4. ejemplo código PHP	18
5.5. ejemplo código Matlab en color	19
5.6. ejemplo código Matlab en blanco y negro	19
5.7. ejemplo código Python en color	20
5.8. ejemplo código Python en blanco y negro	20
5.9. Ejemplo de título abajo	21
5.10. Archivo C++ importado	22
5.11. Archivo Py importado	22
5.12. Archivo Matlab importado	22
6.1. Ejemplo de llamada a matlab2tikz	27

1. Introducción

A lo largo de este trabajo de final de grado se van hacer alusiones a parte de los conceptos básicos de Ingeniería de Telecomunicaciones que han sido impartidos durante el grado. Es por ello que en esta introducción se realizará un repaso de estos conceptos, términos y teorías imprescindibles para poder realizar y entender este estudio.

Se realizará también una breve contextualización del proyecto para dar a entender la necesidad de esta tecnología de antenas para la nueva generaciones de comunicación móvil en actual desarrollo: El 5G.

1.1. Las Telecomunicaciones

Para entender el concepto de "Telecomunicación" es importante fijarse en cómo la etimología de la palabra nos lleva hasta su raíz: *Comunicación*. La comunicación, en su significado más primitivo, es el proceso de intercambio de información entre dos sujetos definidos: Un emisor que genera y emite esta información, y un receptor que la recibe y la procesa. Además, en el proceso de comunicación siempre vamos a encontrar un tercer interviniente: El medio, encargado de transportar la información entre ambos sujetos. Por otro lado, nos queda el prefijo *Tele*, proveniente del Griego: Lejos o Distancia. Si se regresa a la palabra original se puede definir el concepto de *telecomunicación* como: El proceso de intercambio de información a distancia, y aunque es una definición correcta, dista del concepto de "Telecomunicaciones" que es utilizado día a día el cual, trae consigo la incursión de la tecnología en él. Es por ello que la Real Academia Española (RAE) define el concepto de *telecomunicación* como:

Sistema de transmisión y recepción a distancia de señales de diversa naturaleza por medios electromagnéticos.

En esta nueva definición incluimos un nuevo concepto imprescindible para poder adentrarnos a las telecomunicaciones actuales: El electromagnetismo o la interacción entre campos eléctricos y magnéticos. Este último concepto hace que se pueda entender actualmente a las telecomunicaciones como una rama científica que estudia la transmisión de información, no entre sujetos personales como se han entendido hasta ahora, sino entre máquinas. Cualquier máquina ahora podrá actuar como un sujeto transmisor, que podrá emitir información codificada de una manera determinada de forma que uno o más receptores sean capaces de recibir, decodificar y procesar esta información de manera automática.

El electromagnetismo es la rama de la ciencia encargada de estudiar la interacción entre partículas. El conjunto de fenómenos electromagnéticos que se conocen hoy en día fueron estudiados por científicos como *H.C. Ørsted*, *André-Marie Ampère* o *Michael Faraday* y unificados por *James Clerk Maxwell* en su obra de 1865, *A dynamical theory of the electromagnetic*

cargadas con
campos eléctricos
y magnéticos

field, donde se recogen las cuatro ecuaciones denominadas como "Ecuaciones de Maxwell". La transmisión de la comunicación entre máquinas se realizará mediante impulsos eléctricos que, dada su naturaleza a variar con el tiempo y teniendo en cuenta esta teoría, se transformarán en impulsos magnéticos y viceversa. Estos impulsos electromagnéticos se transmitirán a través de un medio, en forma de ondas electromagnéticas. A lo largo de los siguientes capítulos se estudiará con más detenimiento los conceptos relacionados con las ondas y el medio.

1.2. Teoría de ondas y señales

Como se mencionó anteriormente, en el proceso de comunicación en el ámbito de las telecomunicaciones la información se envía en forma de señales. Se consideran las señales como un conjunto de impulsos electromagnéticos transmitidos por un emisor y codificados de una manera determinada para que el o los receptores a los que vaya dirigido puedan procesar la información contenida en una señal o conjunto de ellas. Esta información transmitida en forma de señales es el mensaje.

Una señal electromagnética se caracteriza por el hecho de variar su intensidad en el dominio temporal. El ejemplo más básico lo encontramos en la onda Seno o Coseno de la figura 1.1. De esta señal es posible obtener tres parámetros básicos imprescindibles para describir cualquier señal: Amplitud, frecuencia y fase. Se define la amplitud como la variación máxima respecto a un origen determinado y es medido en una magnitud física concreta, en el caso mencionado, la amplitud sería de una unidad, pudiendo ser esta voltios o vatios entre otros. Al tratarse de una señal oscilante aparece el concepto de frecuencia como el número de veces que la señal vuelve a su origen en un tiempo determinado de 1 segundo, la unidad de medida de este parámetro es el *hertzio* (**Hz**), para el caso mencionado, la frecuencia de la onda es de 1 Hz, puesto que en un segundo la onda realiza un ciclo completo. Finalmente, se denomina fase al concepto de adelanto o retraso de la onda en el dominio temporal con respecto a un origen determinado, normalmente es representado mediante el símbolo *phi* (Φ) y es medido en grados o radianes según sea conveniente, para el caso mencionado la fase sería 0° , puesto que se conoce que una onda seno tiene origen en este valor y no se aprecia ningún adelanto o retraso en la onda mencionada con respecto a este. Es posible agrupar estos parámetros en forma de ecuación analítica para el caso de una onda simple sin pérdidas físicas ni amortiguación y con un movimiento armónico simple como:

$$x(t) = A \cdot \sin(2 \cdot \pi \cdot f \cdot t + \phi) \quad (1.1)$$

A partir de los parámetros básicos de las ondas es posible el desarrollo de otros parámetros alternativos que facilitan su comprensión y análisis como son: La longitud de onda, definida como la distancia entre los picos o valles de una onda o el periodo, definido como el tiempo que tarda una onda en recorrer un ciclo completo. Estos dos nuevos parámetros se representan

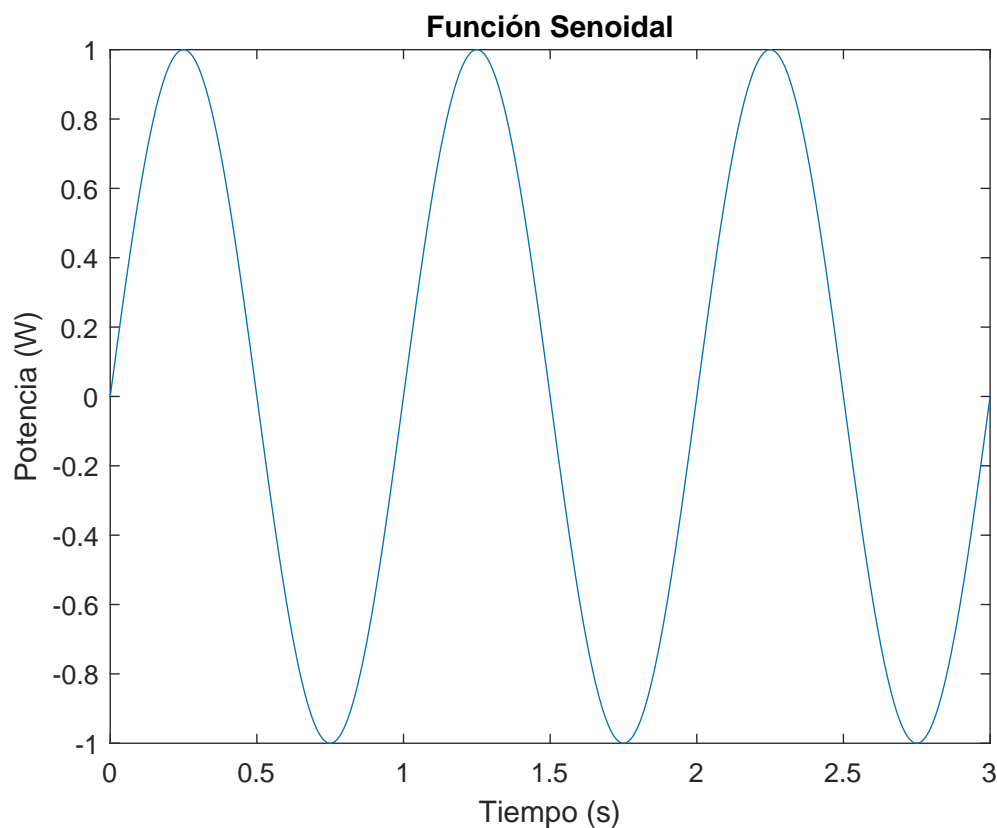


Figura 1.1: Ejemplo de función senoidal

en las ecuaciones 1.2a y 1.2b donde c es la velocidad de la onda y f la frecuencia de esta.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1.2a)$$

$$T = \frac{1}{f} \quad (1.2b)$$

Pero ondas como la que se hacen referencia en la figura 1.1, cuyo tipo de movimiento es el movimiento armónico simple, no reflejan la realidad y la complejidad de las ondas reales que se usarán para la transmisión de información mediante ondas electromagnéticas. Otros conceptos como la atenuación o la amortiguación han de ser tomados en cuenta para describir con mayor precisión el comportamiento de las ondas en medios de transmisión reales como el aire. Si nos centramos en las Ondas Electromagnéticas (O.E.M), encargadas de transportar los mensajes en forma de energía electromagnética, encontramos que el medio en el que se propagan, no tiene ser necesariamente el aire, ya que estas se pueden propagar en el vacío. En este medio, las O.E.M se propagarán a una velocidad de 300 000 000 m/s, o más conocida como la velocidad de la luz, ya que la luz en sí es una onda electromagnética.

porque por qué

Cuando analizamos un conjunto de partículas subatómicas (electrones o protones) se puede comprobar como a sus alrededores se producen campos eléctricos debido a la interacción entre estos, de repulsión o atracción. A su vez, esta interacción en forma de movimiento de las partículas, produce un campo magnético sobre estas. Es entonces donde, la suma de ambos campos debido a las interacciones entre partículas producen campos electromagnéticos, medio donde se propagaran las O.E.M.

Las O.E.M se pueden caracterizar como cualquier otra onda, por la ecuación de ondas ??

$$\nabla^2 \psi(\vec{r}, t) = \frac{1}{v^2} \frac{\partial^2 \psi(\vec{r}, t)}{\partial t^2} \quad (1.3)$$

Las O.E.M poseen ciertas características que las describen como son su velocidad de fase y grupo, no teniendo por qué ser iguales, ni a su vez iguales a la velocidad de propagación en el vacío. Su vector de propagación, el cual apunta la dirección en la que se dirige una onda y cuya magnitud es el número de onda. O su polarización, propiedad que aparecen en las ondas transversales como es el caso de las electromagnéticas. Por convención, cuando se habla de polarización de una O.E.M nos referimos a la dirección del campo eléctrico. Existen tres tipos de polarizaciones principales: Lineal, circular y elíptica, y es importante remarcar que a lo largo de este estudio todas las antenas a analizar y estudiar serán diseñadas para trabajar con polarización lineal, si una O.E.M de una polarización distinta a la acordada intentara resonar en nuestra antena esta no llegaría a ser captada correctamente y la atenuación producida no permitiría una posible de codificación de esta.

Hasta el momento solo se ha mencionado las señales como mensajes codificados en O.E.M que varían en el dominio temporal, pero gracias al matemático *Joseph Fourier* (1768 - 1830), se pudo empezar a estudiar las ondas desde otro dominio: La frecuencia. Fourier desarrolló una serie de transformaciones matemáticas capaces de convertir las expresiones analíticas descritas en un dominio temporal a un dominio frecuencial y viceversa, a las que se denominaron como: *Transformadas de Fourier*, basadas en el *Teorema de Fourier* el cual señala que cualquier señal periódica puede descomponerse mediante una suma infinita de funciones de tipo sinusoidal ponderadas de forma determinada en amplitud y fase y cuyas frecuencias estén relacionadas armónicamente con la frecuencia fundamental de la onda a analizar.

Gracias a la Transformada de Fourier podemos analizar y sintetizar cualquier onda independientemente de su naturaleza física o matemática, y aunque no será usada como tal a lo largo de este trabajo, se hace necesario remarcar la importancia de este desarrollo matemático y la imprescindible contribución hacia el desarrollo de áreas como la acústica o las telecomunicaciones ya que todo avance realizado en esta materia tiene intrínseca la participación de la Transformada de Fourier, como es en nuestro caso, en el que toda representación de señales se realizará en el dominio frecuencial.

Para terminar con el proceso de intercambio de información se hace indispensable mencionar al medio el cual puede tener dos naturalezas: Guiado o radiado. El medio guiado o alámbrico es aquel que depende de una superficie conductora para transmitir la información, por lo general, un cable con propiedades conductoras como cobre u oro, pero también entran

en esta categoría la fibra óptica, que transmite por sus filamentos los mensajes codificados en impulsos de luz.

Por otro lado tenemos el medio radiado o también denominado inalámbrico o no guiado, cuyo medio de transporte son los campos electromagnéticos. En este medio no es posible observar las ondas viajar por el espacio, exceptuando el rango de frecuencias correspondiente a la luz visible dentro del espectro electromagnético. Una de las principales propiedades de este medio es que las ondas que viajan a distinta frecuencia son inmunes entre sí a interferirse, lo que permite que los mensajes lleguen del emisor al receptor sin apenas haber sido afectadas en su trayecto por otros mensajes viajando por el campo electromagnético. A partir de ahora el papel del emisor y receptor será tomado por las antenas, las cuales serán capaces de enviar o recibir señales transmitidas en el campo electromagnético en una o varias frecuencias o longitudes de onda. Es por esto que las antenas quedan ahora como los elementos claves para la transmisión de información inalámbrica.

En la actualidad existen varios tipos de antena, como estudiaremos más detenidamente en el y cada uno de ellas se adaptará más específicamente a nuestras necesidades de directividad, ganancia, ancho de banda o eficiencia entre otros. En el estudio que nos ocupa, se diseñará un array de parches en tecnología microstrip que será capaz de trabajar a las frecuencias especificadas para la 5ª Generación (5G) de comunicaciones móviles por el 3rd Generation Partnership Project (3GPP).

tema 3?

1.3. Las comunicaciones móviles

Las comunicaciones inalámbricas han supuesto una revolución desde su aparición a finales del S.XX hasta la actualidad. El avance de la tecnología, la miniaturización de los componentes, la necesidad de comunicación internacional e incluso las competencias económicas han sido factores claves en la evolución de las comunicaciones móviles. Al hablar de comunicaciones móviles se incluyen en su espectro desde aquellas primeras comunicaciones analógicas como el *Walkie Talkie* o la 1ª Generación (1G) hasta los métodos actuales más avanzados como la 4ª Generación (Long Term Evolution) (4G LTE) o comunicaciones vía satélite o Voice over IP (VoIP). Si se estrecha el círculo al ámbito de la telefonía móvil se puede observar como desde los años 80 distintos estándares de comunicaciones móviles han sido adoptados de la mano de la tecnología disponible en la época e incluso obligando a esta a mejorar para conseguir unos mejores resultados sobre el estándar.

El 1G fue el primer estándar de telefonía móvil. Fue lanzado en 1979 por la Nippon Telegraph and Telephone (NTT) en Japón, donde rápidamente se extendió su uso desde su comienzo en el área metropolitana de Tokyo hasta cubrir por completo el área de la isla. Dos años más tarde en 1981 la Nordic Mobile Telephone (NMT) empezó a desplegar esta red en países como Finlandia, Dinamarca o Noruega y más tarde extendiéndose hasta Rusia bajo su propio estándar. En Estados Unidos y Australia esta generación se desplegó bajo el estándar Advanced Mobile Phone System (AMPS) desarrollado por Motorola y en Reino Unido como Total Access Communications System (TACS). En España la Compañía Telefónica Nacional de España (CTNE) actualmente conocida como Telefónica, desplegó, bajo la compañía Movi-

Line, sus servicios de 1G mediante el estándar ETACS, una actualización del sistema TACS que incluía una nueva banda de frecuencias. Esta primera generación de telefonía móvil se basaba en el uso de la electrónica sólo en los servicios de red de acceso, ya que el resto de la red de comunicación se sostenía sobre la red analógica de telefonía ya existente en cada país.

El 5G es el nuevo estándar de telefonía móvil, sucesora de la 4^a Generación (4G), llevado a cabo por el 3GPP en su Release 15 y 16. Este nuevo estándar de telefonía permitirá:

- Conexiones con throughputs, o tasas de rendimiento efectivas de hasta 10 Gbps, es decir, hasta 10 veces más rápido que el 4G.
- La latencia, definida como la suma de retrasos temporales producidas en un sistema de comunicación debido a la velocidad de propagación limitada, pérdidas, etc. se reducirán hasta valores de 1 ms en comparación con el rango de entre 30 y 50 ms que obtenemos en redes 4G y (Wi-Fi)
- Capacidad de conexiones masivas para dispositivos Internet Of Things (IoT) lo que permitirá el desarrollo de redes de comunicación Machine To Machine (M2M) aumentando la eficiencia energética de estas, así como su disponibilidad y seguridad, lo que será imprescindible para tecnologías emergentes como la conducción autónoma o las Smart Cities, es decir, el proceso de uso de las Tecnologías de la Información y la Comunicación (TIC) para modernizar el entorno urbano ofreciendo servicios de mejora del transporte público, seguridad ciudadana, ahorro energético, etc.
- Mejora de la diversidad en recepción con respecto al 4G mediante el uso del Multiple Input Multiple Output (MIMO) Masivo. Esta tecnología aprovecha el uso de múltiples antenas sobre un mismo dispositivo para usarlas como enlaces independientes, de forma que la velocidad de conexión pueda aumentar de forma significativa. Con Massive MIMO (mMIMO) se dispondrán de decenas de antenas por dispositivo para hacer que la conexión sea más rápida y eficiente.
- El uso del beamforming, proceso por el cual se direcciona el haz de emisión de la antena y mediante técnicas de procesamiento digital se calcula en qué dirección se hará más eficiente la comunicación entre la antena y el dispositivo además de poder hacer cálculos sobre ruido e interferencias para mejorar la eficiencia de la antena.

Además, el 5G emitirá sobre nuevas bandas de frecuencia, las cuales categorizaremos como *Bandas Sub-6Ghz* y *Bandas Super-6Ghz*. En el caso del plan nacional para el 5G aprobado por el Ministerio de Industria, Comercio y Turismo (MINETUR), principal responsable de la gestión de los temas referentes a telecomunicaciones a nivel estatal en España, las bandas de frecuencias aprobadas para el 5G son:

- **700 Mhz:** Esta banda antes usada para la retransmisión de la Televisión Digital Terrestre (TDT) y adjudicada para su uso en el 5G mediante el segundo dividendo digital será clave para la retransmisión de señales móviles 5G que necesitan alcanzar los interiores de los hogares y las oficinas puesto que su mayor longitud de onda con respecto a otras bandas la hace apta para penetrar o difractar sobre muros.
 - **3.4-3.8 Ghz:** Estas bandas de frecuencias eran anteriormente usadas para radioenlaces de transporte de señal de televisión, actualmente en desuso. Permitirán mayores tasas
-

de velocidad con respecto a los 700 Mhz, pero su atenuación será mayor, lo que la hace adecuada para transmisión en zonas urbanas o carreteras.

- **26 Ghz:** En este rango de frecuencias entramos en las denominadas como Milimeter Wave (mmWave) es decir, ondas cuya longitud de onda esté en el orden de milímetros. Esta banda de frecuencia presume de tener mayor disponibilidad en cuanto a ancho de banda lo que permitirá conexiones de banda ancha ultrarápidas.

Como se puede, la tendencia futura en cuanto a comunicaciones móviles de alta velocidad va de la mano y es directamente proporcional a la frecuencia a la que se emita la señal, pero a su vez, este incremento de frecuencia hace más vulnerables a las transmisiones de ser interferidas o atenuadas durante su retransmisión, lo que haría muy difícil el uso de las redes 5G cuando la antena se sitúa en el exterior y los dispositivos en interiores. En este escenario surge el concepto, ya existente en el 4G del uso de Small Cells. Las Small Cells son pequeñas estaciones base que se sitúan en puntos estratégicos tanto en interiores como oficinas o centros comerciales, como en exteriores en sitios con una gran afluencia de personas y por ende, de dispositivos móviles.

En el 5G, el concepto de Small Cell es imprescindible. Debido al crecimiento exponencial del uso de dispositivos por parte de usuarios y empresas cada vez se hará más difícil el hecho de que una sola estación base pueda dar cobertura y una tasa de transmisión aceptables al estándar a estos dispositivos. Es por ello que en los nuevos despliegues de 5G las operadoras se inclinarán más por el uso de muchas Small Cells a lo largo de la ciudad que den servicio a los usuarios de un rango muy limitado de espacio, pero con muy buena cobertura y tasas de transmisión, que a la instalación de estaciones base convencionales que dan cobertura en radios muy amplios de distancia, lo que en grandes urbes puede suponer la saturación de la propia estación base.

Bajo todo este nuevo escenario de comunicaciones avanzadas que plantea para un futuro muy cercano se han de plantear qué tecnologías se usarán para cubrir las metas y especificaciones marcadas de la manera más robusta y eficiente. El 5G tendrá una completa dependencia de los sistemas informáticos diseñados para alcanzar estas metas, mediante técnicas de procesamiento digital y nuevos algoritmos podremos ir añadiendo características e incluso mejorando las ya existentes sin necesidad de alterar todo el sistema ya instalado en la red. Pero no se ha de olvidar cuáles son los elementos básicos de comunicación: Los sujetos y el medio.

1.4. Motivación

1.5. Estructura del proyecto y metodología

Este proyecto estará dividido en dos partes fundamentales, un marco teórico, donde se realizará una completo resumen sobre los conceptos básicos de las líneas de transmisión: Adaptación e impedancias, tecnología microstrip en líneas de transmisión, etc. Antenas: Tipos de antena, parámetros de estudio básicos, etc. Y en un marco más específico, sobre las antenas de tipo parche en tecnología microstrip: Métodos de alimentación, componentes, tipos, análisis, etc. Finalmente se expondrá la parte de experimentación, donde se estudiarán

y analizarán los diseños de distintos tipos de configuraciones de arrays para antenas de tipo parche con tecnología microstrip.

Para realizar la parte experimental del proyecto se hará uso del software de análisis electromagnético 3D: Ansys®HFSS (High Frequency Structure Simulator). Este software es usado para diseñar y simular componentes electrónicos de alta frecuencia como antenas, arrays, filtros o placas de circuito impreso. Con el, se diseñarán las configuraciones de antenas especificadas y se simularan sus efectos electromagnéticos como si se tratara de una cámara anecóica, para finalmente poder analizar los resultados obtenidos y los valores de los parámetros característicos de la antena así como comprobar la viabilidad del producto final en términos de rendimiento o dimensiones.

Por otro lado, se hará uso de la herramienta de cálculo matemático MathWorks®MATLAB, con la que realizaremos cálculos básicos sobre las dimensiones de la antena a diseñar en función a los parámetros de construcción de esta.

2. Marco Teórico (Con ejemplos de listas)

2.1. Listas

Hacer una lista es simple en \LaTeX . Para ello has de crear un entorno (así se llama) `itemize` con

```
\begin{itemize}  
...  
\end{itemize}
```

Y dentro de esa estructura, añadir cada elemento de la lista precedido de

```
\item primer ítem de lista  
\item segundo ítem de lista  
...  
\item ultimo ítem de lista
```

Es importante que revises este texto tal como aparece en la plantilla y relaciones el aspecto que tiene el PDF final con cómo está escrito el documento \LaTeX .

Aquí va una lista con subtérminos:

```
\begin{itemize}  
\item Ingeniería Informática.  
\item Ingeniería Sonido e Imagen en Telecomunicación.  
\item Ingeniería Multimedia.  
  \subitem Mención: Creación y ocio digital.  
  \subitem Mención: Gestión de Contenidos.  
\end{itemize}
```

El resultado es el siguiente:

- Ingeniería Informática.
- Ingeniería Sonido e Imagen en Telecomunicación.
- Ingeniería Multimedia.
 - Mención: Creación y ocio digital.
 - Mención: Gestión de Contenidos.

Aquí va una lista con subtérminos pero numerada:

```
\begin{enumerate}  
\item Ingeniería Informática.  
\item Ingeniería Sonido e Imagen en Telecomunicación.  
\item Ingeniería Multimedia.  
\end{enumerate}
```

```

\item Mención: Creación y ocio digital.
\item Mención: Gestión de Contenidos.
\end{enumerate}
\end{enumerate}

```

El resultado es el siguiente:

1. Ingeniería Informática.
2. Ingeniería Sonido e Imagen en Telecomunicación.
3. Ingeniería Multimedia.
 - a) Mención: Creación y ocio digital.
 - b) Mención: Gestión de Contenidos.

2.2. Listas de definición

Puedes realizar una lista de conceptos con su definición del siguiente modo:

```

\begin{description} % Inicio de la lista
\item[MAPP XT:] Programa desarrollado por \textit{Meyer Sound} para el diseño y ajuste de sistemas ↔
↔ formados por altavoces de su marca.
\begin{description} % Realiza una lista dentro de la lista
\item[Ventajas:]~
El programa permite realizar múltiples ajustes tal como se podría realizar en la realidad con un procesador ↔
↔ real.

Permite analizar la fase recibida en cualquier punto y compararla con otras mediciones.

Dispone de varios tipos de filtros, inversiones de fase, etc.
\item[Inconvenientes:]~
No existe una lista global de los altavoces ubicados en el plano, por lo tanto solo se pueden editar ↔
↔ seleccionándolos sobre el plano.

Sólo permite diseñar en 2 dimensiones, principalmente sobre la vista lateral ya que los array de altavoces no ↔
↔ permite voltearlos.
\end{description}
\end{description}

```

Y \LaTeX genera lo siguiente:

MAPP XT: Programa desarrollado por *Meyer Sound* para el diseño y ajuste de sistemas formados por altavoces de su marca.

Ventajas: El programa permite realizar múltiples ajustes tal como se podría realizar en la realidad con un procesador real.

Permite analizar la fase recibida en cualquier punto y compararla con otras mediciones.

Dispone de varios tipos de filtros, inversiones de fase, etc.

Inconvenientes: No existe una lista global de los altavoces ubicados en el plano, por lo tanto solo se pueden editar seleccionándolos sobre el plano.

Sólo permite diseñar en 2 dimensiones, principalmente sobre la vista lateral ya que los array de altavoces no permite voltearlos.

3. Objetivos (Con ejemplos de tablas)

3.1. Tablas

Ahora veremos otra estructura más: las tablas.

Aquí va una tabla¹ para que se vea cómo insertar una tabla simple dentro del documento.

```
\begin{table}[h]
\centering
\begin{tabular}{llll}
& & columna A & columna B & columna C \\
\hline
fila 1 & fila 1, columna A & fila 1, columna B & fila 1, columna C \\
fila 2 & fila 2, columna A & fila 2, columna B & fila 2, columna C \\
fila 3 & fila 3, columna A & fila 3, columna B & fila 3, columna C \\
\hline
\end{tabular}
\caption{Ejemplo de tabla.}
\label{tabladeejemplo}
\end{table}
```

	columna A	columna B	columna C
fila 1	fila 1, columna A	fila 1, columna B	fila 1, columna C
fila 2	fila 2, columna A	fila 2, columna B	fila 2, columna C
fila 3	fila 3, columna A	fila 3, columna B	fila 3, columna C

Tabla 3.1: Ejemplo de tabla.

\LaTeX usa un sistema de parámetros para “decorar” las tablas. Puedes consultar estos parámetros en la tabla 3.2 de la página 12. La tabla se ubicará donde, a juicio de \LaTeX , menos moleste por lo que puede no aparecer necesariamente donde se ha insertado en el texto original.

Existe la posibilidad de forzar que las tablas, figuras u otros objetos aparezcan en la zona del texto que se desea aunque en ocasiones puede dejar grandes espacios en blanco. El comando a utilizar es:

```
\FloatBarrier
```

Que introducido justo después de una tabla, figura, etc (después del comando `\end{...}`) fuerza la aparición en el texto, empujando el contenido.

¹En <http://www.tablesgenerator.com/> se puede encontrar un generador On-Line de tablas para \LaTeX

Parámetro	Significado
h	Situa el elemento flotante <i>preferentemente</i> (es decir, si es posible) en la situación exacta donde se incluye este
t	Sitúa el elemento en la parte de arriba de la página
b	Sitúa el elemento en la parte de abajo de la página
p	Sitúa el elemento en una página aparte dedicada sólo a elementos flotantes; en el caso del formato article , ésta se sitúa al final del documento, mientras que para el book es colocada al final de cada capítulo

Tabla 3.2: Parámetros optativos de los entornos flotantes

También es posible elegir el ancho de cada columna y la orientación del texto en cada una. Por ejemplo:

```
\begin{table}[ht]
\centering
\begin{tabular}{|C{2cm}|C{2cm}|C{2cm}|C{2cm}|} % 4 columnas de 2cm – texto centrado y con bordes
\hline
\multicolumn{4}{|c|}{\textbf{\begin{tabular}{c}{@}{c@{}}FUENTE: TRÁFICO RODADO\\ HORARIO: ↩}}
↩ TARDE\end{tabular}} \\ \hline
\textbf{dB(A)} & \textbf{Población expuesta tarde} & \textbf{\%} & \textbf{\scriptsize CENTENAS} ↩
↩ \\ \hline
\textbf{\textgreater70} & 0 & 0,000 & 0 \\ \hline
\textbf{65 – 70} & 348,9 & 9,792 & 3 \\ \hline
\textbf{60 – 65} & 1594,7 & 44,757 & 16 \\ \hline
\textbf{55 – 60} & 322,1 & 9,040 & 3 \\ \hline
\textbf{50 – 55} & 0 & 0,000 & 0 \\ \hline
\textbf{\textgreater50} & 1297,3 & 36,410 & 13 \\ \hline
\textbf{TOTAL} & 3563 & 100 & 35 \\ \hline
\end{tabular}
\label{my-label}
\end{table}
```

LaTeX genera esto:

FUENTE: TRÁFICO RODADO HORARIO: TARDE			
dB(A)	Población expuesta tarde	%	CENTENAS
>70	0	0,000	0
65 - 70	348,9	9,792	3
60 - 65	1594,7	44,757	16
55 - 60	322,1	9,040	3
50 - 55	0	0,000	0
>50	1297,3	36,410	13
TOTAL	3563	100	35

Donde C{2cm} indica que la columna tiene el texto centrado y un ancho de 2 cm. También se

puede utilizar $L\{\}$ o $R\{\}$ para poner el texto a la izquierda o derecha y definir un ancho concreto.

Páginas como <https://www.tablesgenerator.com/> ayudan a realizar tablas fácilmente, es lo más recomendado, ahorra mucho tiempo de trabajo y luego si falta algún detalle se puede retocar en el documento.

El formato estándar de las columnas es c , l o r , así lo genera la web mencionada antes, pero una vez generada puedes cambiar ese formato por el definido anteriormente para ajustar el ancho de las columnas, o mantenerlo así si el resultado ya es el deseado.

Para conocer más sobre las tablas puedes leer manuales como este: <https://latexlive.files.wordpress.com/2009/04/tablas.pdf> que contiene muchos ejemplos y explicaciones.

3.2. Otros diseños de tablas

Modelo	15LEX1600Nd	15P1000Fe V2
f_s (Hz)	41	45
R_e (ohm)	5.5	5.2
L_e (μH)	1600	1500
B_l (N/A)	25.7	27.4
M_{MS} (g)	175	157
C_{MS} ($\mu m/N$)	84	78
R_{MS} (kg/s)	6.8	7.6
d (cm)	33.5	33
V_{as} (dm ³)	91	80.7
Q_{TS}	0.36	0.30
Q_{MS}	6.6	5.9
Q_{ES}	0.38	0.31
Sens (dB @ 2.83V/1m)	96	98
η	1.7%	2.4%
S_d (cm ²)	880	855

Tabla 3.3: Parámetros de los altavoces elegidos de la marca Beyma®.

		140PU				50PU			
		Phase II		Phase I		Phase II		Phase I	
# BJet		≥ 4	2 or 3	≥ 4	2 or 3	≥ 4	2 or 3	≥ 4	2 or 3
# Bkg		123	76	12	7	84	35	7	3
Asimov	NM1	13	6	9	3	15	9	11	4
	NM2	6	2	4	1	7	3	5	1
	NM3	3	1	2	0	4	1	2	0
	STC	6	3	4	1	7	5	5	2

Tabla 3.4: Ejemplo 2

4. Metodología (Con ejemplos de figuras)

4.1. Inserción de figuras

Las figuras son un caso un poco especial ya que \LaTeX busca el mejor lugar para ponerlas, no siendo necesariamente el lugar donde está la referencia. Por ello es importante añadirle un “caption” y un “label” para poder hacer referencia a ellas en el párrafo correspondiente. Nosotros ponemos la referencia a la figura 4.1 que está en la página 15, justo aquí debajo, pero \LaTeX puede que la ubique en otro lugar. (observa el código \LaTeX de este párrafo para observar como se realizan las referencias. Estos detalles también se aplican a tablas y otros objetos).

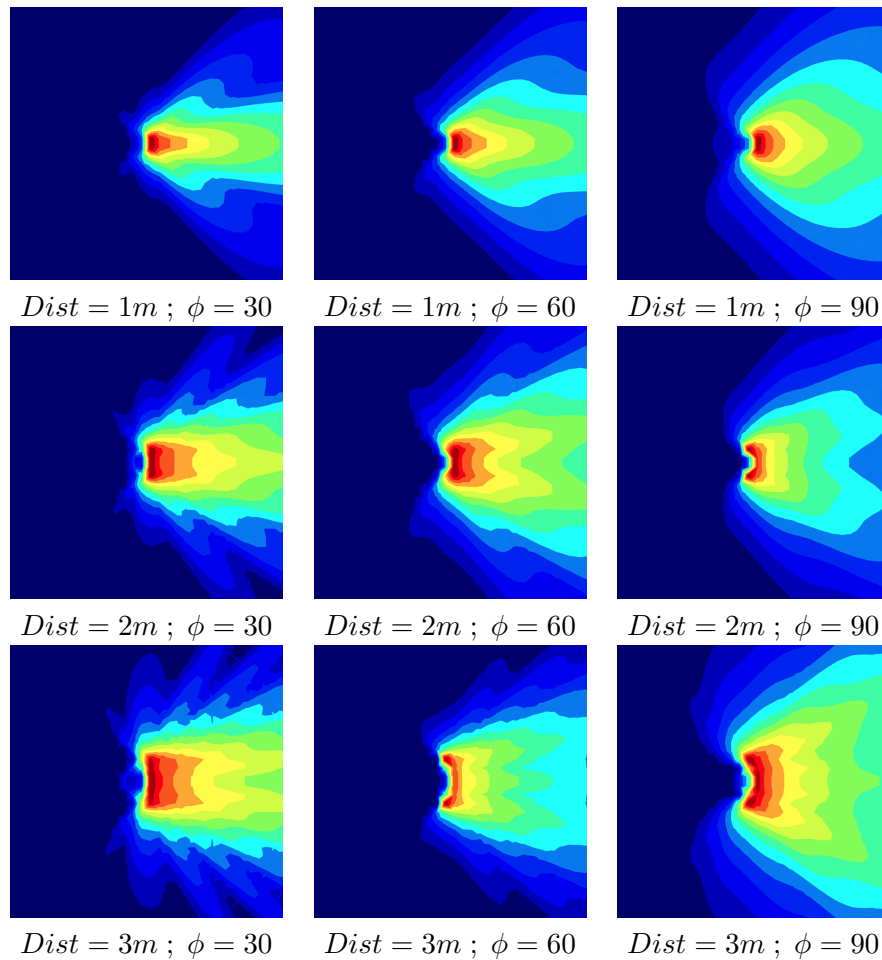
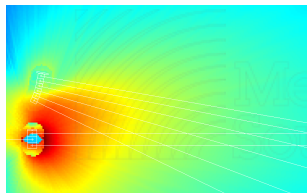


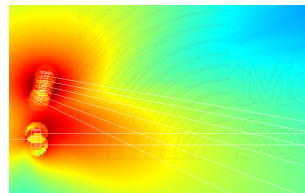
Tabla 4.1: Esta es una tabla con múltiples imágenes. Útil cuando se deben mostrar varias juntas.

Existe también la posibilidad de realizarlo sin tablas, con subfiguras:

```
\begin{figure}[h]
  \centering
  \begin{subfigure}[b]{0.4\textwidth} % Espacio horizontal ocupado por la subfigura
    \centering
    \includegraphics[width=4cm]{archivos/subs-sin} % Tamaño de la imagen
    \caption{Sin procesado.}
    \label{fig:gull}
  \end{subfigure}
  ~ % Añadir el espacio deseado, si se deja la línea en blanco la siguiente subfigura irá en una nueva línea
  \begin{subfigure}[b]{0.4\textwidth} % Espacio horizontal ocupado por la subfigura
    \centering
    \includegraphics[width=4cm]{archivos/subs-con} % Tamaño de la imagen
    \caption{Con procesado.}
    \label{fig:tiger}
  \end{subfigure}
  \caption{Ejemplo de subfiguras} \label{sistemass}
\end{figure}
```

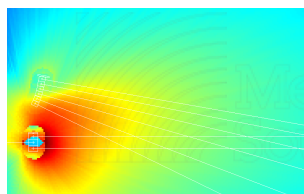


(a) Sin procesado.

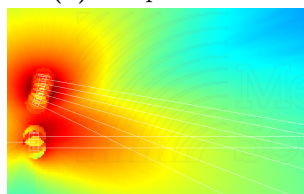


(b) Con procesado.

Figura 4.1: Ejemplo de subfiguras



(a) Sin procesado.



(b) Con procesado.

Figura 4.2: Ejemplo de subfiguras vertical

Si eliminas la línea '`\caption`' de las subfiguras, tendrás las imágenes sin la información individual, aunque sí con la principal. Y obviamente, si eliminas el de la figura no se mostrará ninguna información.

5. Desarrollo (Con ejemplos de código)

5.1. Inserción de código

A veces tendrás que insertar algún pedazo de código fuente para explicar algo relacionado con él. No sustituyas explicaciones con códigos enormes. Si pones algo de código en tu TFG que sea para demostrar algo o explicar alguna solución.

\LaTeX te ayuda a escribir código de manera que su presentación tenga las marcas y tabulaciones propias de este tipo de texto. Para ello, debes poner el código que escribas DENTRO de un entorno que se llama “listings”. La plantilla ya tiene una serie de instrucciones para incluir el paquete “listings” y añadirle algunos modificadores por lo que no tienes que incluirlo tú. Simplemente, mete tu código en el entorno “lstlisting” y ya está. Puedes indicar el lenguaje en el que está escrito el código y así \LaTeX lo mostrará mejor.

En el archivo *estiloscodigoprogramacion.tex* están definidos algunos lenguajes para mostrarlos con un diseño concreto, se pueden modificar para cambiar el coloreado del código, qué términos se ponen en negrita, etc. Si se quiere profundizar más en la función “listings” se puede consultar su manual en <http://osl.ugr.es/CTAN/macros/latex/contrib/listings/listings.pdf>, aunque hay mucha información en foros y blog’s que es más fácil de comprender.

Veamos un ejemplo en la figura 5.1:

```
\begin{lstlisting}[style=C, caption={ejemplo código C},label=C_code]
#include <stdio.h>
int main(int argc, char* argv[]) {
    puts("Hola mundo!");
}
\end{lstlisting}
```

El resultado será:

Código 5.1: ejemplo código C

```
1 #include <stdio.h>
2 // Comentario
3 int main(int argc, char* argv[]) {
4     puts("Hola mundo!");
5 }
```

Si lo quieres en color, está definido el estilo C-color en el archivo *estiloscodigoprogramacion.tex*, con algunos parámetros para mejorar la visualización:

```
\begin{lstlisting}[style=C-color, caption={ejemplo código C en color},label=C_code-color]
#include <stdio.h>
// Comentario
int main(int argc, char* argv[]) {
    puts("Hola mundo!");
}
```

```
}
\end{lstlisting}
```

Código 5.2: ejemplo código C en color

```
1  #include <stdio.h>
2  // Comentario
3  int main(int argc, char* argv[]) {
4  puts("Hola mundo!");
5  }
```

Por supuesto, puedes mejorar esta presentación utilizando más modificadores. En la sección 5.2 se indican algunos detalles.

Otro ejemplo, ahora para mostrar código PHP, sería escribir en tu fichero \LaTeX lo siguiente:

```
\begin{lstlisting}[style=PHP, caption={ejemplo código PHP},label=PHP_code]
/*
Ejemplo de código en PHP para escribir tu primer programa en este lenguaje
Copia este código en tu ordenador y ejecútalo
*/
<html>
<head>
<title>Prueba de PHP</title>
</head>
<body>
<?php echo '<p>Hola Mundo</p>'; ?> //esto lo escribe TODO el mundo
</body>
</html>
\end{lstlisting}
```

y el resultado es el siguiente:

Código 5.3: ejemplo código PHP

```
100 /*
101 Ejemplo de código en PHP para escribir tu primer programa en este lenguaje. Copia este código en tu ordenador y ↩
    ↪ ejecútalo
102 */
103 <html>
104 <head>
105 <title>Prueba de PHP</title>
106 </head>
107 <body>
108 <?php echo '<p>Hola Mundo</p>'; ?> //esto lo escribe TODO el mundo
109 </body>
110 </html>
```

O también en color:

Código 5.4: ejemplo código PHP

```
1 /*
2 Ejemplo de código en PHP para escribir tu primer programa en este lenguaje. Copia este código en tu ordenador y ↩
    ↪ ejecútalo
3 */
4 <html>
5 <head>
6 <title>Prueba de PHP</title>
7 </head>
```

```

8 <body>
9 <?php echo '<p>Hola Mundo</p>'; ?> //esto lo escribe TODO el mundo
10 </body>
11 </html>

```

Observa cómo \LaTeX ha puesto los comentarios en gris y ajustado el código para que se muestre más claro.

A continuación se muestran otros ejemplos:

Código 5.5: ejemplo código Matlab en color

```

1 %% Code sections are highlighted.
2 % System command are supported...
3 !touch testFile.txt
4 A = [1, 2, 3;... %... as is line continuation.
5     4, 5, 6];
6 fid = fopen('testFile.text', 'w');
7 for k=1:10
8     fprintf(fid, '%6.2f \n', k)
9 end
10 x=1; %% this is just a comment, not the start of a section
11 % Context-sensitive keywords get highlighted correctly...
12 p = properties(person); %(here, properties is a function)
13 x = linspace(0,1,101);
14 y = x(end:-1:1);
15 % ... even in nonsensical code.
16 ]end()(((end while { end )end })))end (end
17 %{
18     block comments are supported
19 %} even
20 runaway block comments are

```

Código 5.6: ejemplo código Matlab en blanco y negro

```

1 %% Code sections are highlighted.
2 % System command are supported...
3 !touch testFile.txt
4 A = [1, 2, 3;... %... as is line continuation.
5     4, 5, 6];
6 fid = fopen('testFile.text', 'w');
7 for k=1:10
8     fprintf(fid, '%6.2f \n', k)
9 end
10 x=1; %% this is just a comment, not the start of a section
11 % Context-sensitive keywords get highlighted correctly...
12 p = properties(person); %(here, properties is a function)
13 x = linspace(0,1,101);
14 y = x(end:-1:1);
15 % ... even in nonsensical code.
16 ]end()(((end while { end )end })))end (end
17 %{
18     block comments are supported
19 %} even
20 runaway block comments are

```

Código 5.7: ejemplo código Python en color

```

1 class Example (object):
2     def __init__ (self, account, password):
3         """e.g. account = 'bob@example.com/test'
4             password = 'bigbob'
5         """
6
7         reg = telepathy.client.ManagerRegistry()
8         reg.LoadManagers()
9
10        # get the gabble Connection Manager
11        self.cm = cm = reg.GetManager('gabble')
12
13        # get the parameters required to make a Jabber connection
14        # begin ex.basics.dbus.language-bindings.python.methods.call
15        cm[CONNECTION_MANAGER].RequestConnection('jabber',
16        {
17            'account': account,
18            'password': password,
19        },
20        reply_handler = self.request_connection_cb,
21        error_handler = self.error_cb)
22        # end ex.basics.dbus.language-bindings.python.methods.call

```

Código 5.8: ejemplo código Python en blanco y negro

```

1 class Example (object):
2     def __init__ (self, account, password):
3         """e.g. account = 'bob@example.com/test'
4             password = 'bigbob'
5         """
6
7         reg = telepathy.client.ManagerRegistry()
8         reg.LoadManagers()
9
10        # get the gabble Connection Manager
11        self.cm = cm = reg.GetManager('gabble')
12
13        # get the parameters required to make a Jabber connection
14        # begin ex.basics.dbus.language-bindings.python.methods.call
15        cm[CONNECTION_MANAGER].RequestConnection('jabber',
16        {
17            'account': account,
18            'password': password,
19        },
20        reply_handler = self.request_connection_cb,
21        error_handler = self.error_cb)
22        # end ex.basics.dbus.language-bindings.python.methods.call

```

5.2. Usos y personalización

El texto que acompaña al código puedes incluirlo o no, también puedes decidir si el texto va numerado o no. A continuación se muestra como:

```

% Con esta línea el código no tendrá título
\begin{lstlisting}[style=Python]
micodigo
\end{lstlisting}

```



```
1 micodigo
```

```
% Con esta línea el código tendrá el título abajo
\begin{lstlisting}[style=Python, caption={Ejemplo de título abajo},captionpos=b]
micodigo
\end{lstlisting}
```

```
1 micodigo
```

Código 5.9: Ejemplo de título abajo

```
% Con esta línea el código tendrá título no numerado
\begin{lstlisting}[style=Python, title={Ejemplo de título no numerado}]
micodigo
\end{lstlisting}
```

Ejemplo de título no numerado

```
1 micodigo
```

```
% Con esta línea el código no tendrá las líneas numeradas
\begin{lstlisting}[style=Python,numbers=none, title={Ejemplo de código sin número de líneas}]
micodigo
sin
número
de
líneas
\end{lstlisting}
```

Ejemplo de código sin número de líneas

```
micodigo
sin
número
de
líneas
```

5.3. Importar archivos fuente

Existe la posibilidad de importar un archivo de código en lugar de copiar su contenido y pegarlo en \LaTeX .

Para realizarlo debes escribir:

```
\lstinputlisting[style=C++-color,caption={Archivo C++ importado}]{archivos/ejemplos/holamundo.cpp}
```

Y se importará con el formato establecido entre los '[']':

Código 5.10: Archivo C++ importado

```

1 #include <stdio.h>
2 int main()
3 {
4     // printf() displays the string inside quotation
5     printf("Hello, World!");
6     return 0;
7 }

```

A continuación se muestran otros ejemplos

\lstinputlisting[style=Python-color,caption={Archivo Py importado},label=importado_py]{archivos/ejemplos/↩
↩ holamundo.py}

Código 5.11: Archivo Py importado

```

1 #-----↩
2 # helloworld.py
3 #-----↩
4
5 import stdio
6
7 # Write 'Hello, World' to standard output.
8 stdio.writeln('Hello, World')
9
10 #-----↩
11
12 # python helloworld.py
13 # Hello, World

```

\lstinputlisting[style=Matlab-color,caption={Archivo Matlab importado},label=importado_m]{archivos/ejemplos/↩
↩ holamundo.m}

Código 5.12: Archivo Matlab importado

```

1 function y = hello_world %#codegen
2
3 y = 'Hello World!';
4
5 end
6 % Copyright 2010 The MathWorks, Inc.

```


un fin concreto, como por ejemplo en esta web: <http://www.texample.net/tikz/examples/tag/block-diagrams/>.

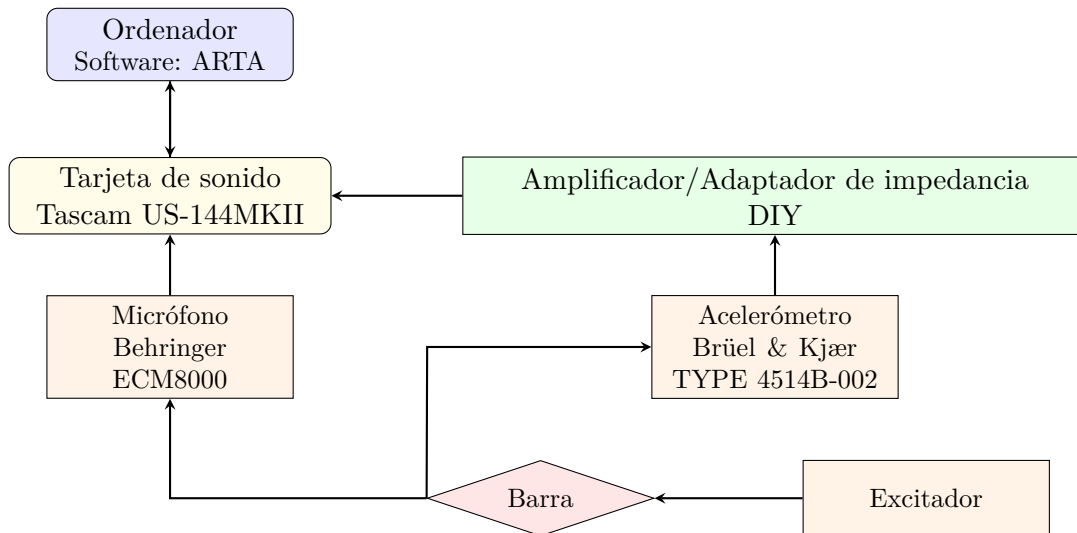


Figura 6.1: Diagrama realizado en latex con Tikz.

6.2. Gráficas

Existen múltiples formas de generar gráficas para latex. Hay disponibles herramientas como GeoGebra que dispone de la utilidad para exportar los gráficos en formato Tikiz. También funciones para Matlab que genera las gráficas que muestra habitualmente pero en código para Tikiz.

6.2.1. Línea

La forma más simple, aunque no sencilla cuando abarca muchos datos es la siguiente:

```

\begin{figure}[ht]
\centering
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}
[ymin=0,ymax=5, % Límites del eje y
xmin=0,xmax=6, % Límites del eje x
ylabel= eje Y, % Nombre del eje y
xlabel= eje X] % Nombre del eje x
\addplot+[smooth] coordinates % Une los puntos curva suavizada
{(0,0) (1,2) (2,3) (4,3)}; % Puntos de la gráfica
\end{axis}
\end{tikzpicture}
\caption{Gráfica sencilla.}
\end{figure}

```

El resultado es el siguiente:

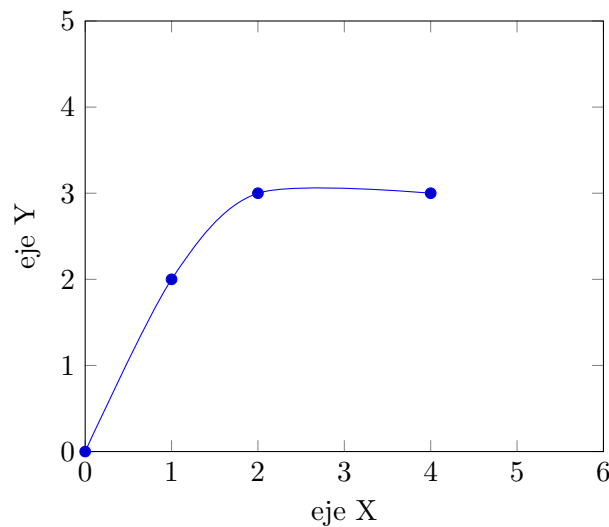


Figura 6.2: Gráfica sencilla.

Otro ejemplo, en este caso las líneas están calculadas directamente en LaTeX y después cada una tiene una anotación (el código se encuentra en el archivo `archivos/ejemplos/perjudicialesop-ticacentro.tex`):

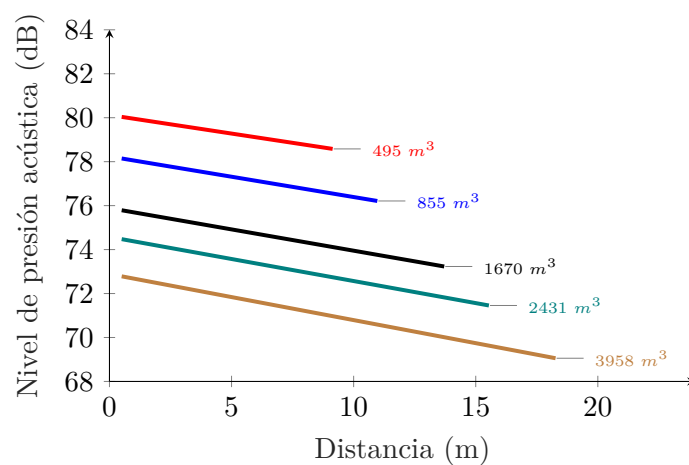


Figura 6.3: OP/S003

6.2.2. Barras

Otro ejemplo es la gráfica de barras:

```
\begin{figure}[ht]
\centering
\begin{tikzpicture}
\begin{axis}[
ybar=12pt,
```

```

ymin=0,ymax=150,
xtick=data,
enlarge x limits={abs=2cm},
symbolic x coords={rubio, moreno},
bar width = 20pt,
ylabel= número,
xlabel= color de pelo,
ytick align=outside,
ytick pos=left,
major x tick style = transparent,
legend style={at={(0.04,0.96)},anchor=north west, font=\footnotesize, legend cell align=left,},
]
\addplot[ybar,fill=blue, area legend] coordinates {
(rubio,20)
(moreno,100)};
\addplot[ybar,fill=purple, area legend] coordinates {
(rubio,110)
(moreno,105)};
\legend{Chicos, Chicas}
\end{axis}
\end{tikzpicture}
\caption{Gráfica barras.}
\end{figure}

```

El resultado es el siguiente:

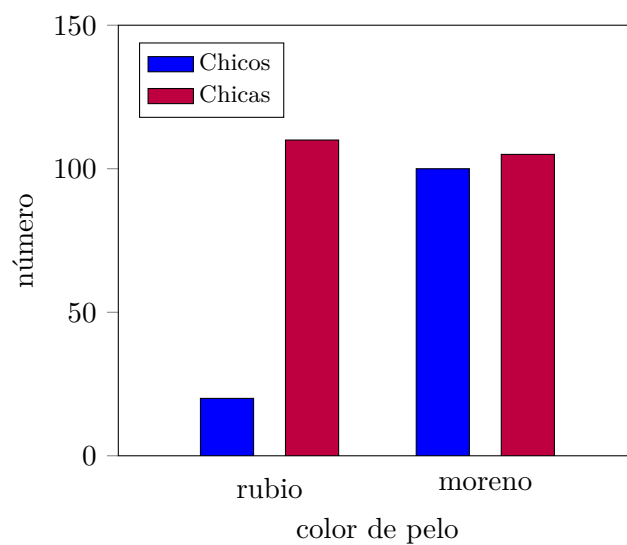


Figura 6.4: Gráfica barras.

6.2.3. Polar

Un ejemplo de gráfica polar semicircular (ver archivo `archivos/ejemplos/polarnorm.tex`):

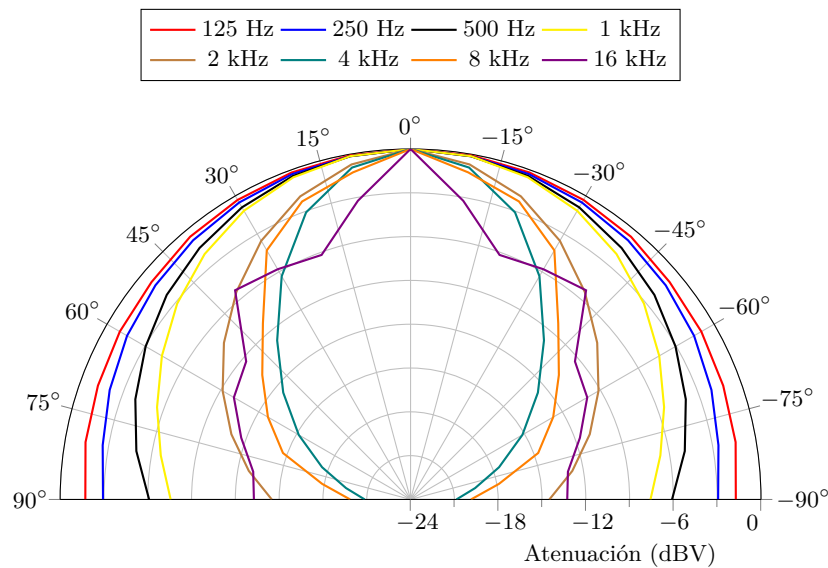


Figura 6.5: Directividad normalizada del altavoz (0 dBV en el eje).

6.3. Importados de MATLAB

Gracias a la herramienta *matlab2tikz* (<https://es.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/22022-matlab2tikz-matlab2tikz>) se pueden exportar las gráficas de cualquier tipo de Matlab a latex. Después de incluir los archivos de *matlab2tikz* se debe escribir una llamada después de crear la figura tal que:

Código 6.1: Ejemplo de llamada a *matlab2tikz*

```
1 fig = plot(x,y);
2 matlab2tikz('figurehandle',fig,'NombreArchivo.tex','height','5cm','width','13.5cm','strict',true,'showHiddenStrings',↵
  ↵ true,'showInfo',false)
```

Y para utilizar el archivo generado por la función en este documento:

```
\begin{figure}[ht]
\centering
{\scalefont{0.8}\input{archivos/ejemplos/ParedFina} }
\caption{Ejemplo de gráfica obtenida con matlab2tikz.}
\end{figure}
```

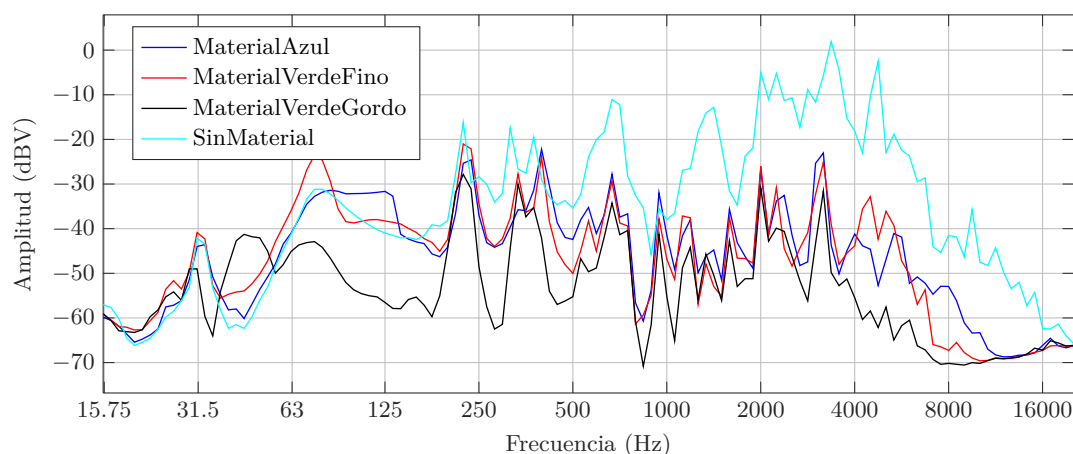


Figura 6.6: Ejemplo de gráfica obtenida con *matlab2tikz*.

Ejemplo de una gráfica 3D generada en Matlab y exportada por *matlab2tikz*:

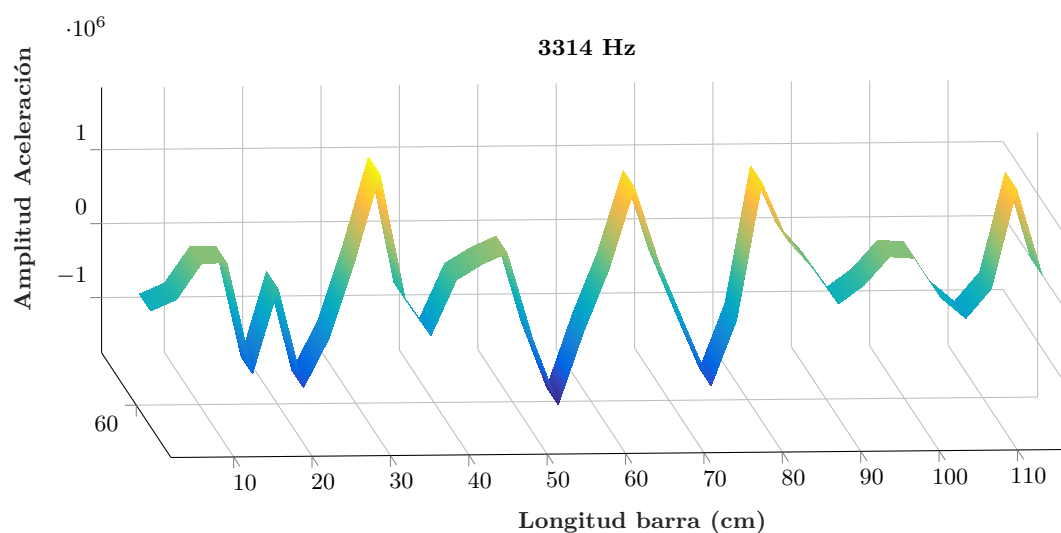


Figura 6.7: Amplitud de la aceleración en el modo número 8.

6.4. Ejemplo avanzado

El potencial del paquete *Tikz* es muy alto, se pueden realizar muchísimas cosas. En la red se facilitan muchos ejemplos para poder ver el funcionamiento y aprender. Existen hilos donde la gente publica sus mejores diseños de *Tikz* como en <https://tex.stackexchange.com/questions/158668/nice-scientific-pictures-show-off> o páginas donde facilitan muchas plantillas como <http://www.texample.net/tikz/examples/all/>.

Un ejemplo de lo que se puede llegar a conseguir es el siguiente:

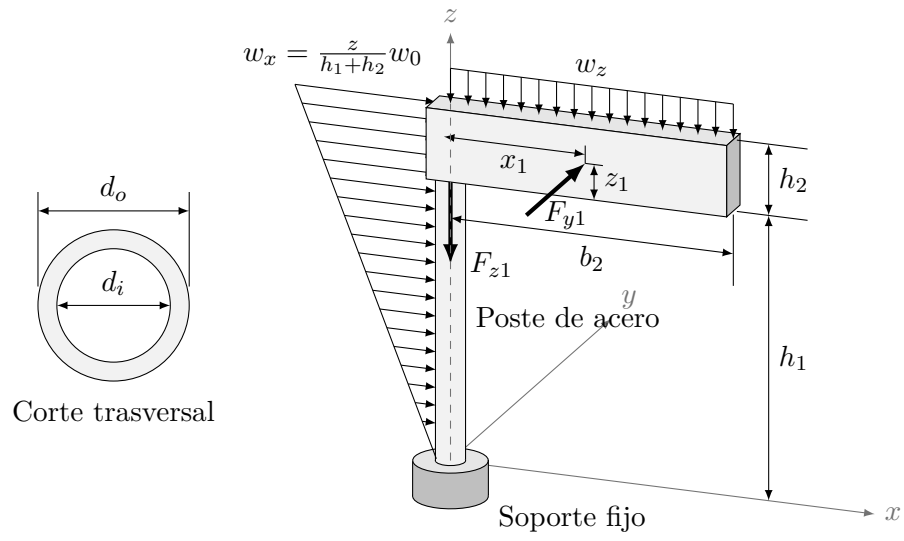


Figura 6.8: Señal realizada con Tikz, sin imágenes.

A. Anexo I

Aquí vendría el anexo I

B. Páginas horizontales

Aquí se muestra cómo incluir páginas en horizontal.
Esta página está en vertical

Esta página está en horizontal

Esta página también está en horizontal

Esta página está de nuevo en vertical

C. Importar PDF

A continuación se muestra una página importada de un PDF externo. Observar los comentarios en el código de este anexo para más información. También puedes leer el manual con todas las opciones en <http://osl.ugr.es/CTAN/macros/latex/contrib/pdfpages/pdfpages.pdf>.

Alicante

15 DE MARZO DE 2007

Expediente número

Referencia del peticionario

AYUNTAMIENTO DE ALICANTE

Departamento de Medio Ambiente

C/San Nicolás, nº 2, 4º

03001 ALICANTE

Contacto: Juan Luís Beresaluze

DOCUMENTO DE SÍNTESIS

***ELABORACIÓN DEL MAPA ACÚSTICO MUNICIPAL DE LA CIUDAD DE
ALICANTE***

Fecha de realización del estudio: MAYO 2005 – MARZO 2007