

ESCUELA DE INGENIERÍA DE TELECOMUNICACIONES
UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA



TRABAJO FIN DE GRADO

**Evaluación del impacto de interferencias en sistemas de comunicaciones Wi-Fi a 2.4
GHz**



Autor: Paul Mauricio Proaño Soto

Director: David A. Sánchez Hernández

Co-Director: Miguel Mora Andreu

ÍNDICE

RESUMEN	4
CAPÍTULO 1	5
1.1 Introducción	5
1.2 Bluetooth 802.15	6
1.2.1 Modulación para la tecnología Bluetooth 802.15.....	7
1.2.2 Evolución de Bluetooth.....	8
1.2.3 Clases y versiones de Bluetooth.....	9
1.3 WiFi 802.11.n.....	11
1.3.1 Funcionamiento y componentes WiFi.....	12
1.3.2 Estándares WiFi	13
CAPÍTULO 2	15
2.1 Software	15
2.1.1 Configuración Bluetooth con dispositivo Android.....	16
2.1.2 Configuración Bluetooth con Windows	19
2.2 Cámara de Reverberación.....	22
2.3 Dispositivos del entorno	25
2.3.1 Samsung Galaxy S5	25
2.3.2 Xiaomi Mi Mix 3 5G	26
2.3.3 Tablet Surface Pro 4.....	28
2.3.3 Rasberry PI.....	28
CAPÍTULO 3	29
3.1 Interferencia Bluetooth 802.15 sobre WLAN 802.11	29
3.1.1 Configuraciones	29
3.1.2 Medidas con terminal Samsung Galaxy S5.....	30
3.1.3 Medidas con terminal Xiaomi Mi Mix 3 5G.....	53
3.2 Interpolación lineal	74
3.2.1 Samsung S5 vs Xiaomi Mi Mix 3 5G	75
CAPÍTULO 4	98
4.1 Conclusiones y líneas futuras.....	98
BIBLIOGRAFÍA	100

Resumen

El objetivo principal de este trabajo es realizar un estudio mediante una cámara de reverberación específica para medir como afecta tanto una interferencia WiFi sobre un dispositivo móvil al igual que la interferencia producida por la tecnología Bluetooth. En una primera etapa se ha realizado el estudio de la correspondiente documentación para adquirir los conocimientos necesarios para poder realizar las medidas que se han planteado en este proyecto.

También se ha realizado un estudio teórico para plantear los parámetros y los diferentes escenarios que se van a llevar a cabo en estas medidas en la correspondiente cámara.

Por último en la etapa final del proyecto se ejecuta las simulaciones correspondientes para cada escenario planteado y se realiza un estudio de los resultados obtenidos en las diferentes fases de medida y las posibles causas que ha llevado a darnos dicho resultado.

Capítulo 1

1.1 Introducción

Para empezar a realizar las medidas correspondientes lo primero que se ha planteado es un estudio teórico mediante un “test Plan” en el que se ha llevado a cabo el análisis en profundidad del tipo de tecnología a utilizar en nuestro caso una tecnología WLAN 802.11n. En este documento también se plantea los tipos de escenario que se han planteado para llevar a cabo las medidas, para este proyecto se han planteado 4 escenarios que más adelante los describiremos, también se incluye todos los DUT que se han utilizado durante este proyecto

Uno de los puntos que se han tenido en cuenta a la hora de realizar las medidas, es el modelo de los dispositivos (DUT) que vamos a utilizar para llevar a cabo las medidas, para la elección de los dispositivos lo que se ha tenido en cuenta principalmente ha sido el tipo de modelo al igual que el chipset WiFi que utiliza cada uno de ellos, para este proyecto se ha decidido elegir por un lado un modelo antiguo frente a otro más actualizado para analizar si afecta en algún parámetro relacionado con las medidas que se van a realizar.

Por un lado, hemos seleccionado un Xiaomi Mi Mix 3 5G asociado como DUT1, el segundo dispositivo que hemos escogido para este proyecto es el Samsung Galaxy S5, estos dos dispositivos han sido utilizados para las medidas que se corresponden con interferencia Bluetooth sobre WiFi y viceversa. También se ha utilizado la Tablet la cual ha sido utilizada para que introdujese las interferencias Bluetooth con la que se ha generado la cantidad de tráfico de datos que se transmitían cada segundo.

Las medidas se han llevado a cabo en una cámara de reverberación cuyo modelo es el E500, con ella hemos podido realizar el estudio estadístico sobre el comportamiento que tendría un dispositivo móvil ante las posibles interferencias que se pueden presentar en un entorno real como pueden ser las interferencias por espacio libre o ruido ajenos a la comunicación.

1.2 Bluetooth 802.15

En este apartado vamos a analizar todas las características que describen esta tecnología, desde los conceptos más básicos que define lo que es hoy en día Bluetooth hasta los conceptos destacados como puede ser el tipo de protocolo, modulación, seguridad, etcétera.

La tecnología Bluetooth se rige por el protocolo IEEE 802.15.1 que fue el grupo de trabajo que desarrollo dicha tecnología, se trata de una tecnología de red utilizada para conexiones inalámbrica y cuya finalidad principal es la transferencia tanto de voz como de datos mediante una conexión punto a punto sin necesidad de establecer una conexión orientada entre dispositivos. El objetivo principal de esta tecnología fue sustituir cualquier tipo de tecnología que utilizase cable para la transferencia de datos entre diferentes dispositivos.

Bluetooth a diferencia de otras tecnologías, está orientada para realizar transferencia de datos en un rango corto de distancia pero cabe destacar que se establece conexiones sencillas y de bajo consumo, es decir que dicha tecnología trabaja con velocidades bajas para la transferencia de datos.

La banda en la que Bluetooth se encuentra es entre los 2.402GHz y los 2.480GHz conocida como banda ISM la cual pertenece a la banda de ultra altas frecuencias (UHF). Cabe destacar que Bluetooth opera en una banda que no necesita licencia esto hace que dicha tecnología sea muy barata además como se ha comentado anteriormente no es necesario establecer una conexión física compleja. También es importante destacar que dependiendo en el país que nos encontremos los canales para esta tecnología van a variar aunque en la gran mayoría veremos que presentan 79 canales, sin embargo para el caso de España tenemos solamente 23 canales los cuales presentan una separación entre canales de 1 MHz. En la figura 1.2.1 se detalla donde se encuentra la banda ISM entre los rangos de los 900 MHz hasta los 2.4 GHz.

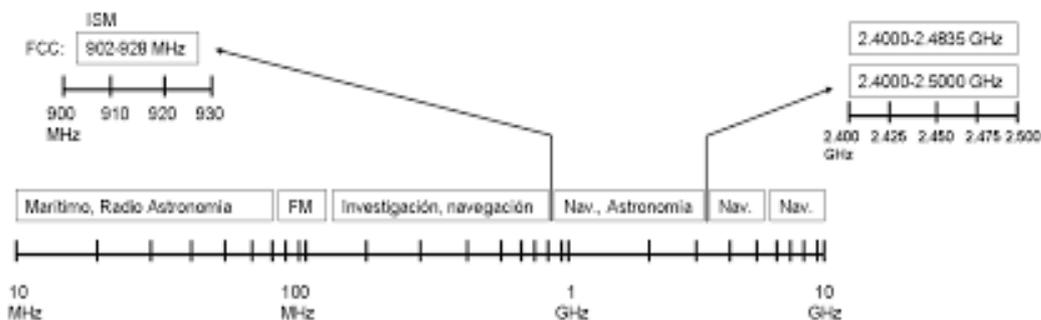


Figura 1.2.1 Localización de la banda ISM

1.2.1 Modulación para la tecnología Bluetooth 802.15

Uno de los aspectos importantes que podemos destacar de esta tecnología es la modulación que utiliza para establecer sus comunicaciones cuyo tipo es de espectro ensanchado por salto de frecuencia (FHSS), esto hace que Bluetooth sea menos sensible con respecto a interferencias y ruido gracias a la gran explotación que hace de las frecuencias. Otra ventaja que presenta este tipo de modulación es que se puede considerar una tecnología difícil de interceptar, debido a los saltos continuos de frecuencia de emisión que según el orden establecido únicamente es conocido por el emisor y el receptor. A continuación se detalla el funcionamiento y características que presenta este tipo de modulación utilizada para Bluetooth que es la tecnología de interés en este proyecto.

Las principales características que tiene son:

- Tenemos un ancho de banda que se divide para diferentes canales.
- Los saltos de frecuencia se efectúan de manera aleatoria para un cierto intervalo de tiempo.
- Se realiza el cambio de la frecuencia de transmisión cada cierto intervalo de tiempo

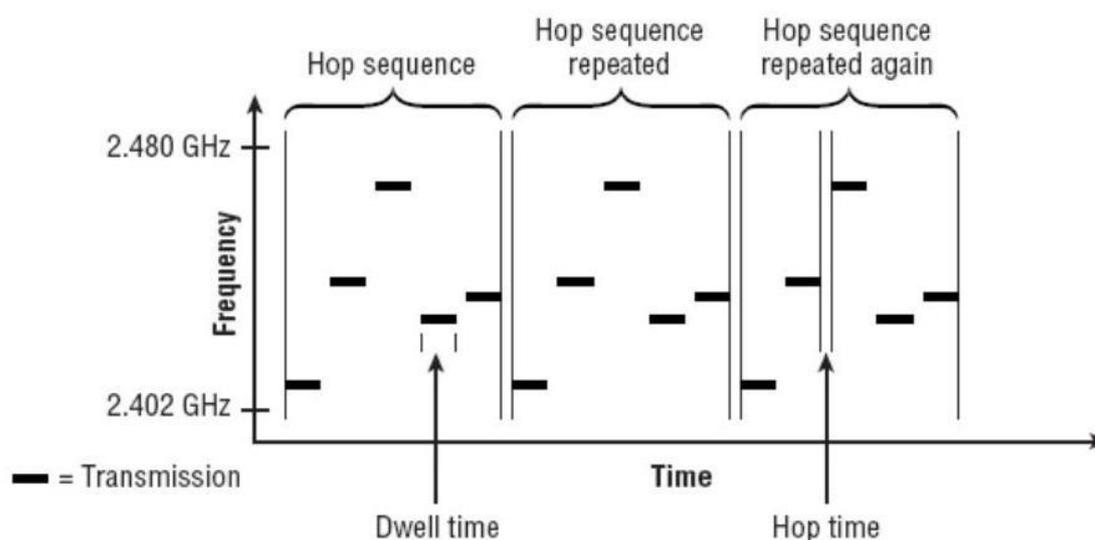


Figura 1.2.1.1 Modulación FHSS

Este tipo de modulación se puede aplicar mediante dos métodos. En el caso del primer método se tienen n frecuencias disponibles y el cambio de frecuencia es fijo, es decir empezaría por el canal 1, el siguiente salto que se produce sería hacia el canal 2 y así sucesivamente hasta llegar al canal n . De esta manera se va a seguir dicha secuencia de

manera cíclica, con este primer método se va a conseguir maximizar la variedad en frecuencia puesto que el período en el que se va a volver a repetir la frecuencia es el máximo posible, sin embargo con este modelo no se consigue reducir la interferencia cocanal.

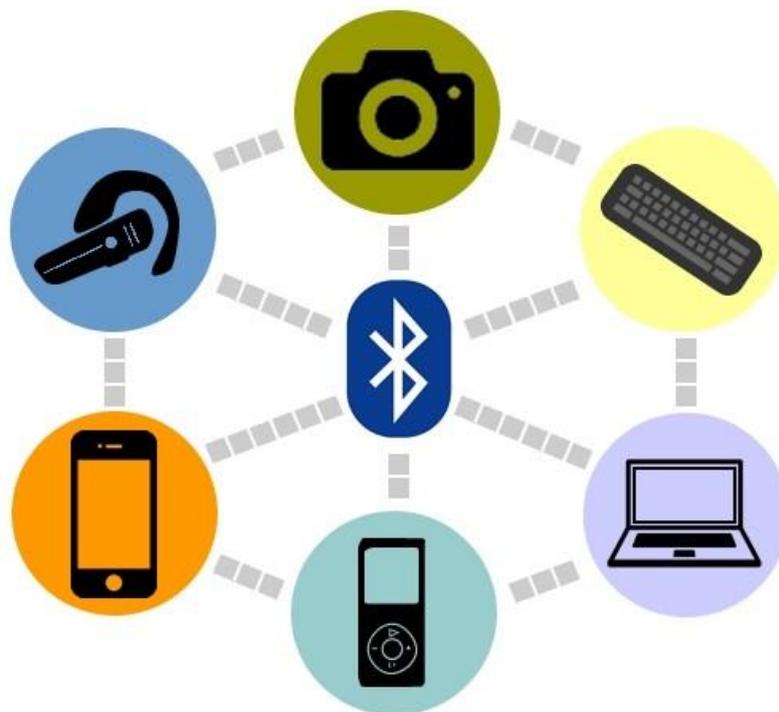
Para el segundo método ocurre todo lo contrario a lo que se ha mencionado en el primero, en este caso el salto de frecuencia se realiza de manera aleatoria y se reduce el período de repetición pero se consigue que se reduzca la interferencia cocanal.

Bluetooth utiliza el segundo método porque realmente lo que nos interesa es reducir las posibles interferencias que se pueden producir entre canales al igual que el ruido que se pueda presentar para cualquier tipo de entorno.

1.2.2 Evolución de Bluetooth

Cabe destacar que esta tecnología ha ido mejorando con el paso del tiempo y podemos decir que hoy en día este protocolo nos ofrece multitud de funcionalidades y llegar utilizado en diferentes entornos, por ejemplo, se puede conectar a una variedad de periféricos como puede ser teclados, auriculares, ratones, etc.

Otra faceta que presenta dicha tecnología es la de poder compartir cualquier tipo de archivos entre diferentes dispositivos desde un archivo simple como puede ser música, vídeos, fotografías hasta archivos más complejos como puede ser un documento.



Bluetooth lo podemos encontrar en cualquier tipo de aparato. Desde ordenadores hasta manos libres, tabletas y portátiles. También tiene una fuerte presencia en sistemas de audios de coches de última generación al igual que en consolas. La evolución de Bluetooth ha tenido un gran avance gracias a que en todos estos dispositivos viene integrado el módulo Bluetooth esto hace que todos ellos no necesiten conectarse a ningún tipo de antena como ocurre otros tipos de tecnologías inalámbricas.

1.2.3 Clases y versiones de Bluetooth

Dentro de este apartado vamos a ver las distintas clases y versiones que han ido evolucionando a lo largo del tiempo.

Para la clasificación de los dispositivos por clases se tiene en cuenta la potencia de transmisión al igual que la cobertura efectiva, para el caso de las clases es el dispositivo más potente el que marca el límite. En la siguiente tabla podemos ver las diferentes clases que presenta esta tecnología.

	Alcance (metros)	Potencia de consumo medio (mW)
Clase 1	100	100
Clase 2	20	2.5
Clase 3	1	1
Clase 4	0.5	0.5

Tabla I-1 Clases de Bluetooth

Por otro lado también tenemos diferentes versiones que han ido apareciendo a lo largo del tiempo, las cuales marcan las capacidades y características que presentan los dispositivos.

- **Bluetooth 1.0:** Es la primera versión y se lanzó en 1999, al ser la primera versión se produjeron bastantes problemas de seguridad y conectividad. Hoy en día esta versión está en desuso.
- **Bluetooth 1.1:** Es la primera actualización de la versión anterior y se llevó a cabo en el 2002. La tasa de transmisión se encuentra entorno a los 721kbps.

- **Bluetooth 1.2:** En el año 2003 se realizó la segunda actualización con respecto a la primera versión, con esta versión se consiguió reducir las interferencias que aún aparecían en la versión anterior.
- **Bluetooth 2.0:** En 2004 salió la segunda versión de esta tecnología que también era compatible con la versión 1.2. La característica más novedosa fue la introducción de la EDR o tasa de mejora de datos que consiguió mejorar la tasa de transmisión entorno a los 2 Mbps.
- **Bluetooth 2.1:** Esta versión llegó en 2007 pero marcó un antes y un después en esta tecnología que fue que un dispositivo podía vincularse cualquier otro sin ningún tipo de solicitud de seguridad como puede ser un PIN, para esta versión se mantuvo la misma tasa de transmisión que la versión anterior.
- **Bluetooth 3.0:** En 2009 se plantó esta versión la característica a destacar fue que supuso una gran mejora en la tasa de transmisión que se encontraba entorno a los 24 Mbps. Esta mejora se debió a que se introdujo el concepto de High Speed.
- **Bluetooth 4.0:** Esta nueva versión se lanzó en 2010 y revolucionó el mercado puesto que se introdujo la tecnología Bluetooth Low Energy que sirvió para reducir de manera significativa el consumo de batería, esto permitió que se pudiera aplicar esta tecnología en dispositivos más pequeños y menos potentes. La tasa de transmisión se mantuvo en los 24 Mbps.
- **Bluetooth 4.1:** Se lanzó en 2013 y esta versión introdujo el IoT (Internet de cosas), permitió la conexión entre dispositivos pequeños sin la necesidad de ningún intermediario.
- **Bluetooth 4.2:** La actualización de la versión anterior se produjo en 2014 y se consiguió la conexión directa a través de Internet mediante el protocolo IPv6.
- **Bluetooth 5.0:** En el año 2016 esta tecnología dio un gran salto con esta versión puesto que se consiguió aumentar significativamente tanto la tasa de transmisión como el alcance, además de permitir una mayor cantidad de datos en cada transferencia de datos. La tasa de transferencia llegó hasta los 50 Mbps y se alcanzó hasta los 240 metros en lo que respecta al alcance.
- **Bluetooth 5.1:** Esta actualización permitió a los dispositivos conocer la ubicación de otros dispositivos a los que está vinculado en distancias de centímetros, además de ser capaz de saber la dirección de donde proviene una señal que está buscando. Se lanzó en el año 2019.

- **Bluetooth LTE Audio:** Esta versión se lanza en 2020, mejorando la calidad de audio en los dispositivos. Emplea Low Complexity Communication Codec (LC3), el cual permite comprimir y descomprimir de manera más eficiente los datos que se va a transmitir al igual que permite la transferencia de audios de manera simultánea a diferentes dispositivos.

1.3 WiFi 802.11.n

En este punto se analizará los orígenes y las diversas estructuras que se han ido implantando a lo largo del tiempo en la tecnología WiFi, que es la otra tecnología inalámbrica que se ha tenido en cuenta en este proyecto para realizar las correspondientes medidas de interferencias.

Esta tecnología conocida como WiFi se utiliza para la transmisión de datos inalámbricos, basada en el estándar 802.11 y que surgió por la necesidad de implantar un mecanismo de conexión inalámbrica con la finalidad de que dicha conexión fuese compatible en diferentes dispositivos. Al igual que ocurría con la tecnología Bluetooth esta tecnología permite conectarse de forma inalámbrica con distintos dispositivos como puede ser televisores, smartphones, videoconsolas, ordenadores, etc.

Una de las grandes cualidades que presenta esta tecnología que llega a cualquier tipo de áreas, por ejemplo en un departamento de trabajo se puede crear una red sin la necesidad de ninguna conexión cableada, lo que implica una gran ventaja ya que esto implica poder tener una amplia movilidad con los dispositivos conectados al igual que un ahorro considerable en lo que respecta a espacio que puede ocupar mantener una conexión que utiliza un sistema cableado. También WiFi permite conectar tu dispositivo en cualquier parte del mundo ya cualquier dispositivo actual soporta la tecnología necesaria para detectar y conectarse a una red inalámbrica dentro del alcance que puede detectar dicho dispositivo, por ello se puede entender que el objetivo de esta tecnología es poder estar conectado todo el tiempo independientemente donde nos encontremos. Por otro lado cabe destacar que desde la aparición de WiFi los diversos grupos que componen IEEE se han ido preocupando por proporcionar una mejor conexión con todo los tipos de equipos que hacen uso de esta tecnología, por ello más adelante se explicará los diferentes estándares que han ido apareciendo a lo largo del tiempo.

1.3.1 Funcionamiento y componentes WiFi

Esta tecnología se transmite mediante el aire a través del uso de ondas de radio que son las mismas que utilizan la telefonía móvil, la televisión o la radio. Sin embargo dicha tecnología de conectividad inalámbrica utiliza distintas frecuencias a la hora de transmitir información, estas frecuencias son concretamente 2.4 GHz que llegará hasta el estándar 802.11 n, del cual hablaremos en otro apartado, y también hace uso de la frecuencia de 5 GHz en el estándar 802.11 ac. Hoy en día se utilizan las dos frecuencias dado que de esta manera se obtiene un mayor alcance pero también es obvio que la frecuencia de 5 GHz nos va a ofrecer mayores prestaciones.

Por esta razón, cuando se solicita información mediante una red WiFi o se realiza alguna descarga de algún archivo, es el router el encargado de la correspondiente recepción de datos y posteriormente de la transformación de dichos datos en ondas de radio. Así dichas ondas emitidas por el router son interceptadas por el dispositivo inalámbrico que es el encargado de capturar y decodificar dicha información para realizar la correspondiente descarga.

No obstante estas ondas viajan por diferentes entornos y esto hace que puedan ser interrumpidas por alguna que otra interferencia que pueden ser provocadas por otras redes WiFi o por la presencia de otros dispositivos como pueden ser neveras, hornos, microondas u otros dispositivos inalámbricos. Por ello es muy importante tener en cuenta la ubicación de router, puesto que es un componente fundamental para obtener una buena conexión evitando de esta manera las mayores interferencias posibles que se nos pueden presentar en cualquier entorno.

Por tanto, hay que tener en cuenta que a la hora de establecer una conexión entre un usuario y la red que transmite información que también por parte del usuario dispone de un adaptador inalámbrico ya sea para un ordenador o cualquier otro dispositivo que transforma la información transmitida en ondas de radio las cuales viajan mediante el aire a través de una antena y que son interceptadas por el router para su posterior decodificación. Por último se establece una conexión física por la cual se envía la información que tenemos disponible en Internet hacia diferentes servidores.

La comunicación que se ha descrito anteriormente es bidireccional ya que también el cliente puede solicitar información desde Internet, en este sentido de la comunicación

se puede trabajar a la frecuencia de 2 GHz o 5 GHz al igual que se trabaja con uno de los diferentes estándares que presenta esta tecnología.

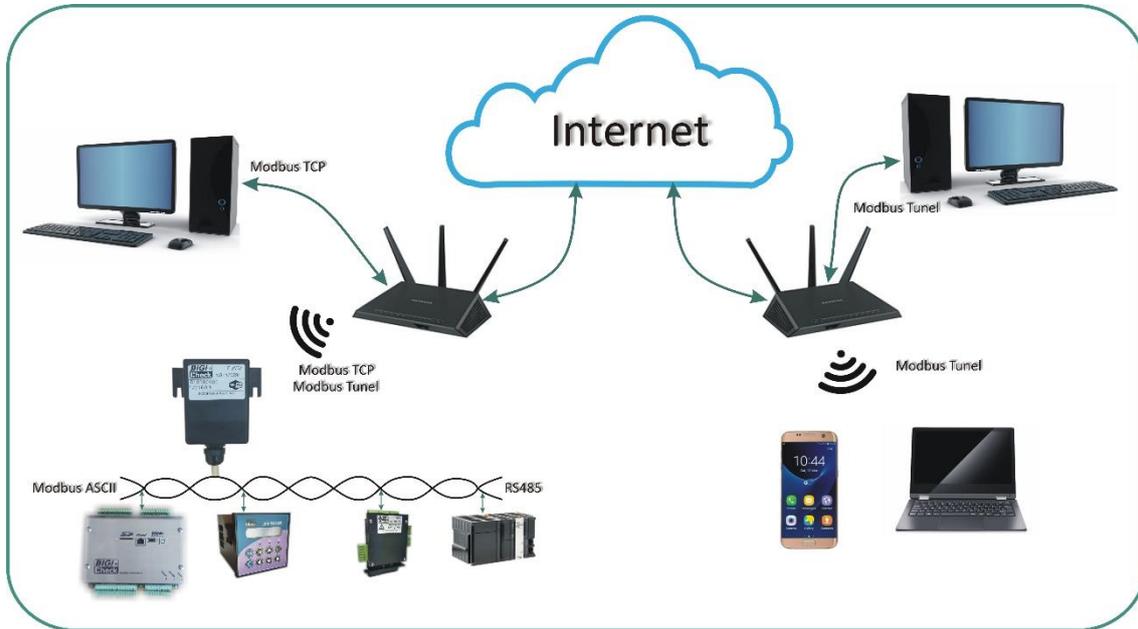


Figura 1.3.1.1 Conexión a una red WiFi

1.3.2 Estándares WiFi

Como es lógico la tecnología WiFi desde sus orígenes ha ido evolucionando en los cuales ha ido dejando una serie de estándares con diversas prestaciones para los diferentes estándares. A continuación se va a describir las características más destacadas de cada uno de ellos:

- **IEEE 802.11:** Se puede decir que ha sido el estándar base para las comunicaciones inalámbricas que surgió en 1997. Permitió que la velocidad de transferencia de datos fuese de 1 Mbps.
- **IEEE 802.11a:** En 1999 llegó la evolución del estándar anterior, este estándar opera en la banda de frecuencia de 5 GHz con una velocidad de transmisión de 54 Mbps. El principal inconveniente que presentó fue la elevada atenuación que se da en el aire, esto es debido a la banda de frecuencia en la que se trabaja. Por ello fue esencial buscar la manera de migrar a otras bandas de frecuencia.
- **IEEE 802.11b:** Este estándar fue el primero de todos en trabajar en la banda de 2.4 GHz, cabe destacar que es la misma a la que trabaja la tecnología Bluetooth y por tanto es una banda sin la necesidad de una licencia ISM. Tuvo una mejor aceptación ya que la atenuación que presentaba el estándar IEEE 802.11a en este

caso se reducía de manera notable y en consecuencia mejoró la calidad de la señal WiFi. La tasa de transmisión que presenta es de 11 Mbps, una desventaja que presenta es que la cobertura en el interior estaba muy limitada puesto que presentaba un radio de 50m.

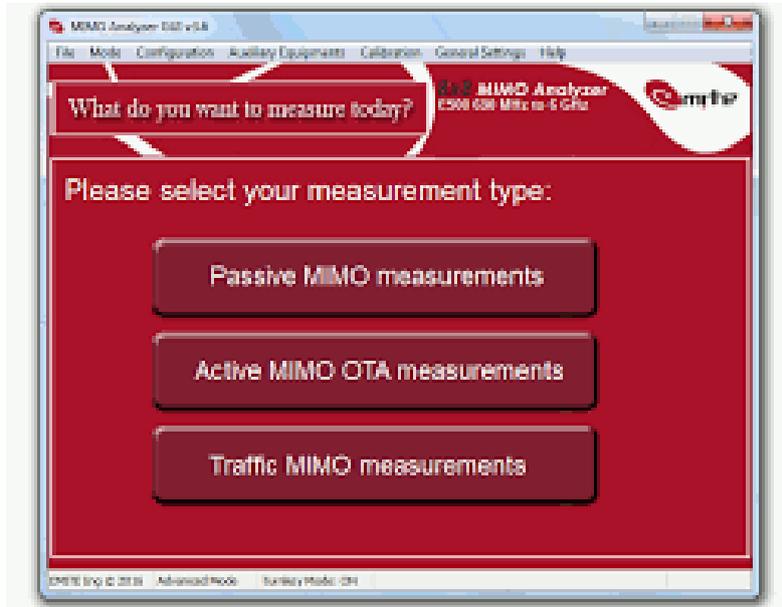
- **IEEE 802.11g:** Se implantado a partir de 2003 y fue un estándar muy popular puesto que es el sucesor del estándar IEEE 802.11b pero con grandes mejoras en cuanto respecta a la cobertura tanto en el exterior como en el interior. Además de realizar un aumento considerable en la tasa de transmisión llegando hasta los 54 Mbps en la banda de frecuencia de 2.4 GHz.
- **IEEE 802.11n:** En 2009 llegó el estándar conocido como WiFi N o WiFi 4, lo más destacado que encontramos en este tipo es que la comunicación la puede hacer tanto en dispositivos que usen la frecuencia 2.4 GHz como en los que se conectan a la red de 5 GHz, esto se ha llevado a cabo gracias a la implementación de las conocidas redes MIMO en dicho estándar llegando a garantizar una velocidad óptima de conexión alcanzando los 300 Mbps. Por otra parte sabes que las redes MIMO son redes capaces de mandar distinta información simultáneamente a varios dispositivos mediante múltiples antenas.
- **IEEE 802.11ac:** Se estandarizó en 2013 y se le conoce con el nombre de WiFi 5 puesto que este tipo de estándar solo trabaja en la banda de 5 GHz. Se hace uso de la tecnología beamforming, se trata de una tecnología que ayuda a mejorar tanto la calidad como la velocidad de conexiones inalámbricas eligiendo el camino más óptimo por el viajará la señal hasta llegar al dispositivo final. Alcanza velocidades de hasta 1300 Mbps mediante una configuración de dispositivos con cuatro antenas.
- **IEEE 802.11ah:** Conocido como WiFi Halow, a diferencia de los anteriores estándares utiliza la banda de 900 MHz ofreciendo de esta manera un alcance mayor que las redes que se encuentran en la banda de 2.4 GHz y un menor consumo de energía. Es un estándar que satisface las necesidades de dispositivos IoT ya que estos no necesitan grandes velocidades sino que tener una conexión estable.
- **IEEE 802.11ax:** Se le conoce como WiFi 6 y también trabaja en las bandas de 2.4 y 5 GHz, y es el primero en alcanzar velocidades de hasta 10 Gbps. Utiliza una modulación de tipo OFDMA con el objetivo de mejorar la eficiencia espectral y proporcionar un rendimiento mayor.

Capítulo 2

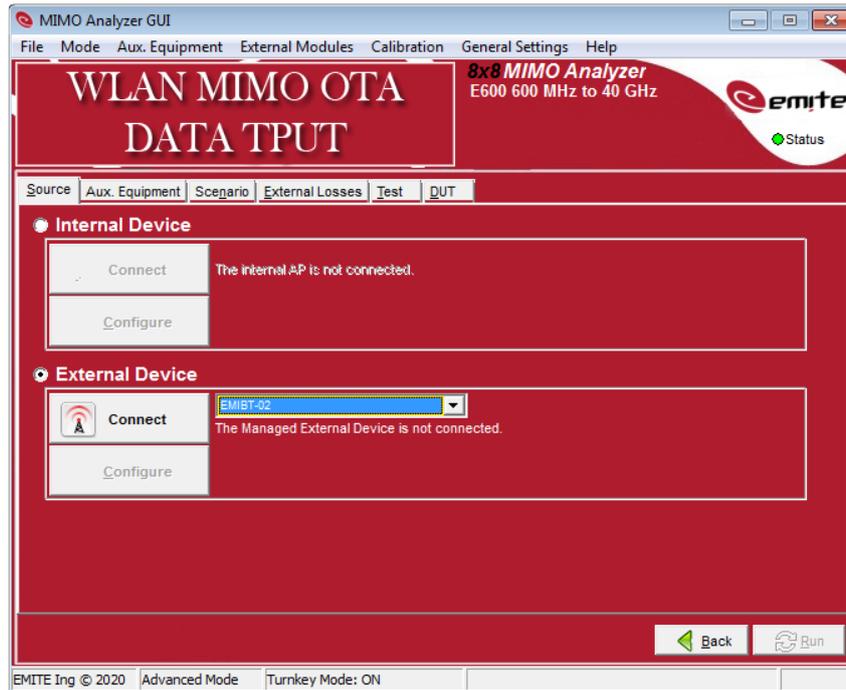
2.1 Software

El software utilizado para la configuración y calibración de la cámara E500 ha sido MIMO Analyzer GUI, del cual hemos aprovechado una de las opciones que nos ofrece que nos ofrece este software que es el de realizar medidas de WiFi con interferencias de Bluetooth. A continuación se va a mostrar el funcionamiento y la configuración que se ha llevado a cabo para este proyecto.

El primer paso que vamos a realizar es la selección del tipo de medida que queremos realizar, en nuestra cosa vamos a trabajar con la opción Time-Domain MIMO measurements.



Una vez marca dicha opción seleccionamos nuevamente la opción de WLAN MIMO OTA la cual nos indica que vamos a trabajar sobre la tecnología WiFi. A continuación nos muestra sobre que AP vamos a realizar la configuración, nos ofrece la posibilidad de realizarlo para un AP interno o para un AP externo, en nuestro caso vamos a realizar las correspondientes configuraciones sobre el AP interno que contiene la cámara de reverberación



2.1.1 Configuración Bluetooth con dispositivo Android

Una vez seleccionado el AP interno debemos conectar y configurar el dispositivo Bluetooth que vamos a utilizar para interferir con la tecnología WiFi. Los pasos que llevaremos a cabo para dicha configuración son los siguientes:

1. Activamos el modo avión en el dispositivo
2. Nos vamos a la configuración Bluetooth del dispositivo y seleccionamos la opción de emparejamiento con un nuevo dispositivo, una vez seleccionado buscamos y seleccionamos nuestro dispositivo.

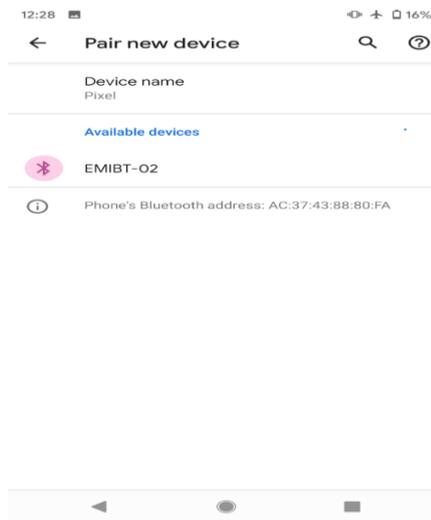
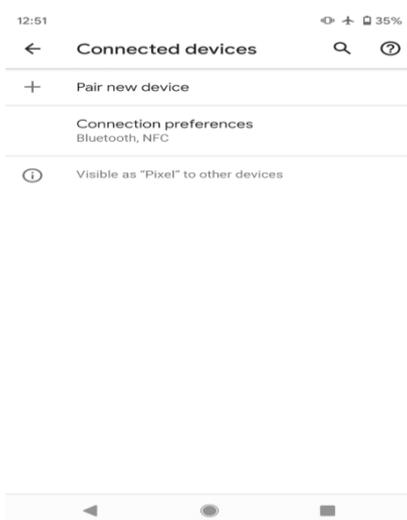


Figura 2.1.1.1 Configuración dispositivo Bluetooth

3. Cuando ya se ha emparejado correctamente el dispositivo, debemos establecer la conexión a Internet. Si se ha llevado a cabo con éxito dicho proceso se genera una PAN (Personal Area Network).

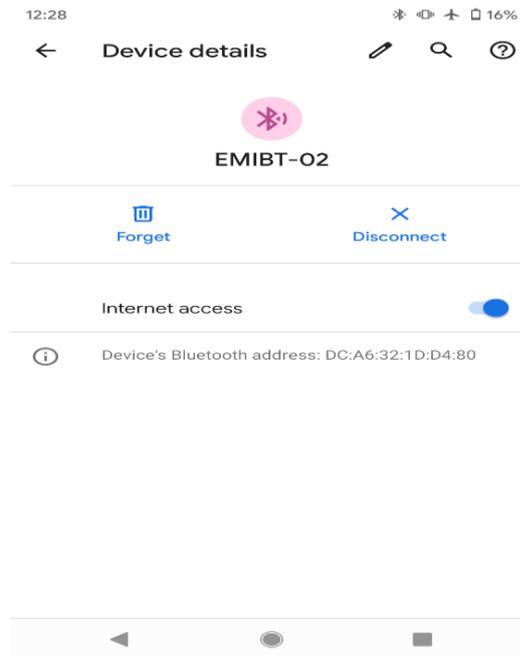


Figura 2.1.1.2 Conexión módulo Bluetooth en Android

4. Abrimos la aplicación MIMO Analyzer GUI Client en el dispositivo y verificamos que se ha realizado la conexión además de comprobar que se ha asignado una dirección IP por defecto.



Figura 2.1.1.3 Aplicación MIMO GUI Client

- Finalmente en el software del PC comentado anteriormente nos vamos a la opción “DUT”. En este punto introducimos la dirección IP que se ha asignado en el dispositivo Android y hacemos click en “Check Connection”.



Figura 2.1.1.4 Comprobación conexión en MIMO Analyzer GUI

2.1.2 Configuración Bluetooth con Windows

En este punto se indican los pasos a seguir para el caso que se utilice un dispositivo Bluetooth mediante Windows:

1. Abrimos la configuración Bluetooth, seleccionamos la opción “Add Bluetooth or other device”.

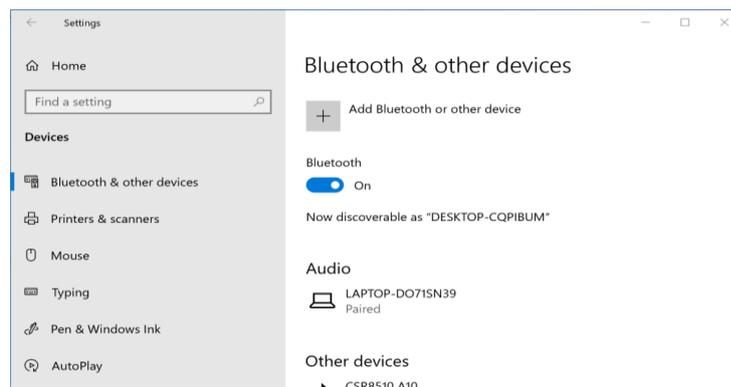


Figura 2.1.2.1 Configuración Bluetooth con Windows

2. Seleccionamos la opción de Bluetooth y buscamos el dispositivo con el que nos vamos a conectar.

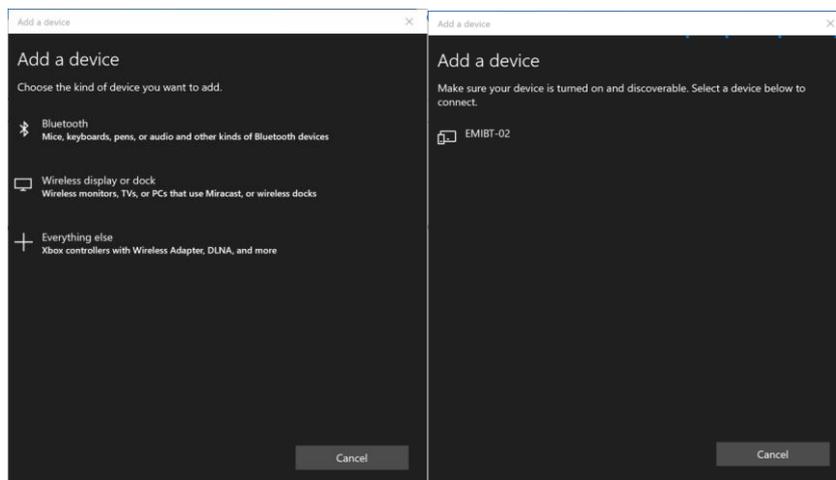


Figura 2.1.2.2 Búsqueda dispositivo Bluetooth

3. Escogemos nuestro dispositivo y hacemos click en Connect.

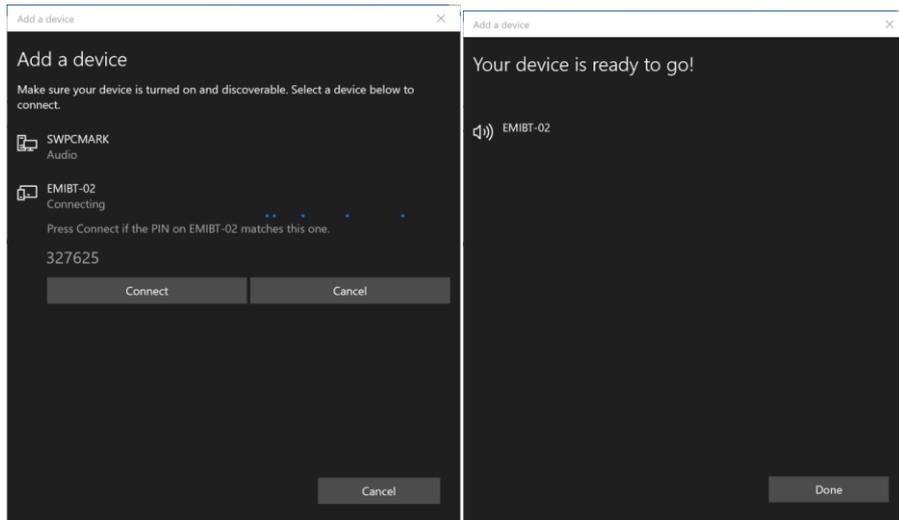


Figura 2.1.2.3 Proceso de establecimiento de la conexión

4. En el DUT, hacemos click en el icono de Bluetooth y marcamos la opción “Join a Personal Area Network”.

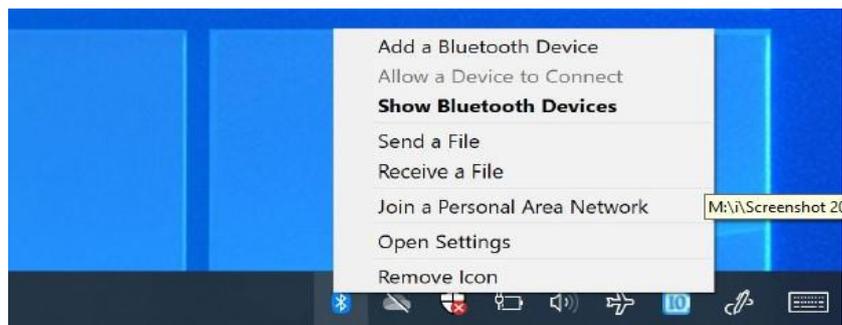


Figura 2.1.2.4 Opciones de Bluetooth

5. Hacemos click en nuestro dispositivo y seleccionamos la opción “Connect using Acces point”.

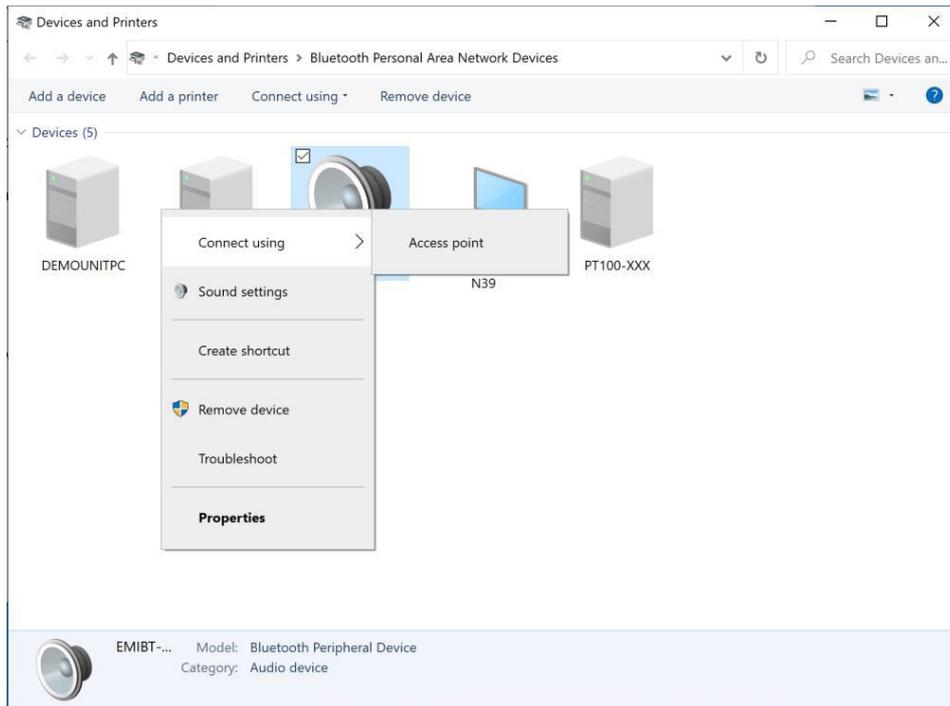


Figura 2.1.2.5 Conexión utilizando un punto de acceso

6. Abrimos MIMO Analyzer GUI Client, comprobamos si se ha asignado una dirección IP y se ha establecido la conexión Bluetooth correctamente.

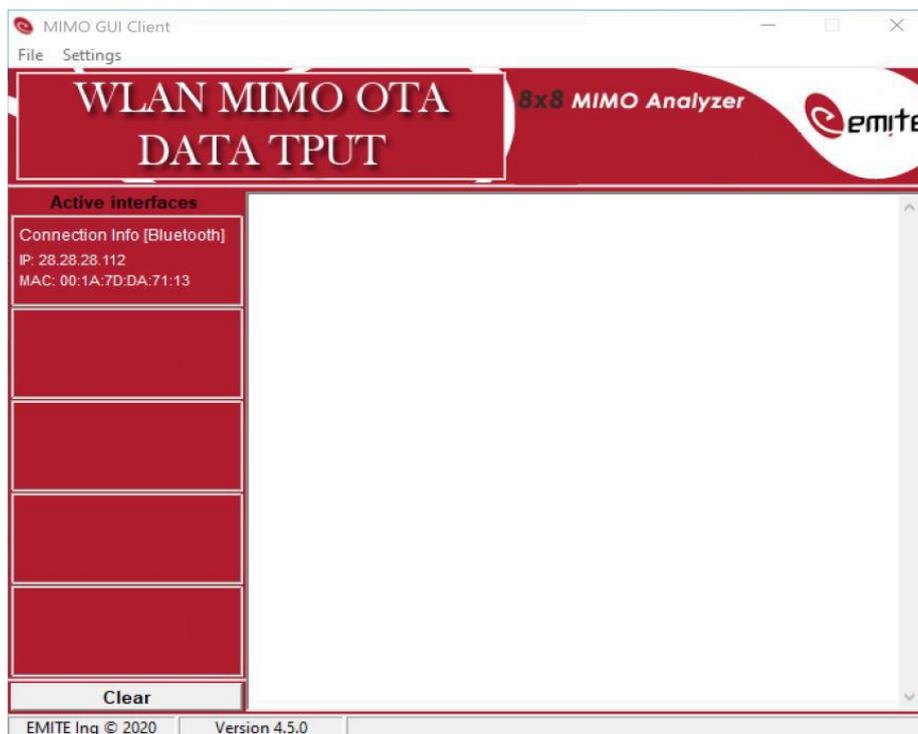


Figura 2.1.2.6 MIMO Analyzer GUI Client con dispositivo Windows

7. En el DUT, metemos la dirección IP establecida y hacemos click en la opción “Check” para comprobar que se ha llevado a cabo correctamente la conexión.

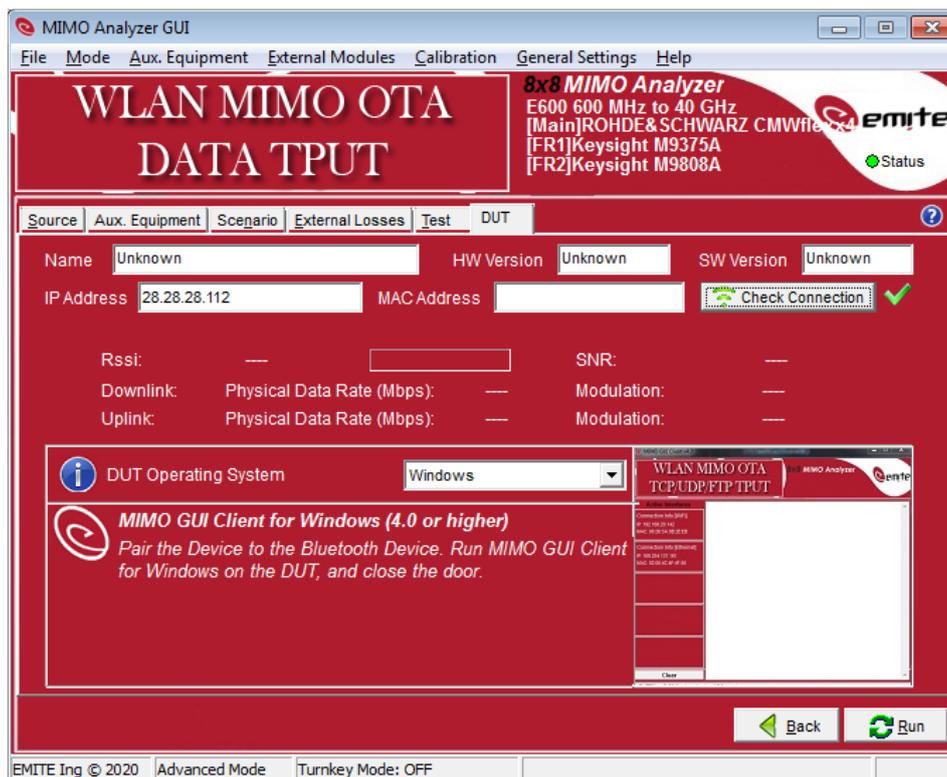


Figura 2.1.2.7 MIMO Analyzer GUI Dut, conexión exitosa

2.2 Cámara de Reverberación

En este apartado vamos a realizar un breve análisis del uso que se hace de este tipo de cámaras, al igual que se hará una descripción de la cámara de reverberación que se ha utilizado para llevar a cabo las correspondientes medidas.

La funcionalidad que podemos encontrar en una cámara de reverberación se puede decir que es totalmente contraria a la que tiene una cámara anecoica, puesto que una cámara de reverberación sus paredes están diseñadas para reflejar la energía en lugar de absorberla. Dichas cámara están orientadas principalmente para el estudio de diferentes parámetros acústicos como puede la potencia de sonido de fuentes de ruido, la pérdida de transmisión, la pérdida de inserción o los coeficientes de absorción cuyos materiales muestran una incidencia aleatoria.

Cabe destacar que las salas de reverberación tienen que presentar un aislamiento acústico contra diversos ruidos extraños que no sean objetos de estudio al igual que mostrar un entorno en el que se pueda controlar la presión, humedad y temperatura.

Para la construcción estas cámaras es importante tener en cuenta las características y dimensiones según el proyecto establecida y cumpliendo siempre con la normativa establecida.

Sin embargo, aunque el uso principal es para estudios de fenómenos acústicos también se pueden realizar otros tipos de medidas como las interferencias que se producen durante la comunicación entre los diferentes terminales. Por ello para llevar a cabo las medidas planteadas para este proyecto se ha decidido meter interferencias y mediante la cámara de reverberación estudiar el comportamiento que presenta dichas interferencias sobre la señal de interés cuando se están comunicando un dispositivo dentro de la cámara con otro que se encuentra fuera de ella.

Como se ha comentado en apartados anteriores, se ha utilizado la cámara de reverberación E500 proporcionada por la empresa en la que se ha llevado a cabo la realización del presente proyecto. A continuación se muestran las características principales que presenta la cámara de reverberación E500:

- Presenta un modo multicavidad que ofrece capacidades únicas para mediciones MIMO.
- 8X8 MIMO, 8 antenas de transmisión, 8 antenas de recepción.
- Realiza medidas de modo pasivo, activo y en el dominio del tiempo.
- Rango 690 MHz a 6 GHz.
- Contiene cifras de mérito para WLAN, 2G, 3G, 4G celular que incluye CA hasta 256QAM.
- Medidas en el tiempo como puede ser Power Delay Profile (PDP), RMS Delay Spread (RMS DS), Path Loss (PL) o Throughput (TCP/UDP) con respecto al tiempo.



Figura 2.2.1 Exterior cámara de reverberación E500



Figura 2.2.2 Interior cámara de reverberación E500

2.3 Dispositivos del entorno

Llegados a este punto, en este apartado vamos a describir los diferentes dispositivos que han sido utilizados durante este proceso de medidas y con los cuales hemos sido capaces de plantear los diferentes escenarios junto con la cámara de reverberación.

A la hora de seleccionar los dispositivos, hemos realizado un estudio previo en el cual se ha analizado las principales características en cuanto a conectividad WiFi como puede ser el chipset que contiene al igual que algunos aspectos relacionados con hardware del dispositivo como el tipo de procesador que lleva instalado o la memoria del mismo.

2.3.1 Samsung Galaxy S5

Este es uno de los terminales que se han utilizado para las medidas de interferencia en los diferentes escenarios establecidos. El Samsung Galaxy S5 se lanzó en 2014 es un dispositivo antiguo pero que nos va a ser útil para comparar los resultados que nos ofrece frente a otro terminal un poco más actualizado.

En cuanto a software la versión de Android que utiliza es la 4.4.2 con una capa personalizada TouchWiz. A nivel de hardware, presenta un procesador Qualcomm MSM8974AC Snapdragon 801, la memoria RAM es de 2 GB.

En lo que respecta a la conectividad del dispositivo, nos permite realizar conexiones via Bluetooth y en cuanto a la conectividad WiFi es compatibles con los estándar 802.11 a/b/g/n/ac. Por último destacar que todos los dispositivos utilizados están documentado e identificados por la empresa, para el caso del Samsung Galaxy S5.



Figura 2.3.1 Samsun Galaxy S5

2.3.2 Xiaomi Mi Mix 3 5G

Otro dispositivo que se ha tenido en cuenta es el Xiaomi Mi Mix 3 5G el cual es un dispositivo más moderno que el el Samsung Galaxy S5. El año de lanzamiento de este dispositivo fue en 2019 y nos va a ser muy útil para comparar el resultado que nos ofrece frente al anterior dispositivo.

En la parte de software de este terminal presenta un sistema operativo Android 9 Pie y con una capa personalizada MIUI 10. En lo que respecta al tema de hardware tiene un procesador Snapdragon 855 el cual incluye un módem 5G, presenta 6 GB de memoria RAM y 128 GB de rendimiento.



Figura 2.3.2 Xiaomi Mi Mix 3 5G

Tanto Samsug Galaxy S5 como Xiaomi Mi Mix 3 5G son dispositivos fundamentales para llevar a cabo las medidas de interferencia con Bluetooth y sobre los que se han planteado los diferentes escenarios a lo largo de este proyecto y los cuales describiremos en el siguiente punto de la memoria.

2.3.3 Tablet Surface Pro 4

Este componente actúa como intermediario en la comunicación para las correspondientes medidas, en este caso se ha utilizado para la recepción de tráfico de datos que se envía durante el proceso de medidas en la cámara de reverberación, Por tanto este dispositivo actúa como servidor a la hora de generar tráfico que es enviado por un dispositivo cliente que se encuentra fuera de dicha cámara.



Figura 2.3.2 Tablet Surface Pro 4

2.3.3 Raspberry Pi

La Raspberry Pi utilizada presenta una serie de funcionalidades y mejoras para una mayor conectividad, para nuestro caso actúa como un AP externo que se va a utilizar para el caso en el que hacemos que la comunicación sea interferida por la tecnología WiFi sobre la tecnología Bluetooth.

A diferencia del caso en el que Bluetooth interfería sobre la tecnología WiFi, en el cual se usaba un AP interno que estaba incorporado en la propia cámara de reverberación, es este componente el que nos va a proporcionar la conexión WiFi.



Capítulo 3

3.1 Interferencia Bluetooth 802.15 sobre WLAN 802.11

En este punto abordaremos las medidas que se han realizado sobre los dispositivos comentados en el apartado anterior. También veremos las configuraciones generales que se han tenido en cuenta tanto para la cámara de reverberación como para los terminales que se han utilizado.

3.1.1 Configuraciones

A continuación vamos a detallar las configuraciones que se han planteado a la hora de realizar las correspondientes medidas, dichas configuraciones se han utilizado para todos los casos que se han realizado en este proyecto. Se ha tenido en cuenta el tipo de medida que se va a realizar para establecer un tipo de configuración concreto.

Las configuraciones que se han llevado a cabo son las siguientes:

- Banda de frecuencia 2.4 GHz.
- Ancho de banda de 20 MHz.
- El canal WiFi por el que se transmite la información es el canal 9.
- El número de antenas dependerá de la modulación que se haya seleccionado, pero en cualquier caso podrá ser 1 o 2 antenas.

- Se utilizará protocolo de control de transmisión (TCP).
- El valor del MCS es de 1, 9 y 15 para algunas medidas, para el resto de casos se ha configurado MCS Auto.
- El intervalo de guarda entre señales es de 400ns.
- Se ha establecido un tiempo de medida de 60 segundos para cada punto de medida.
- El nivel de potencia para cualquiera de las medidas realizadas se encuentra entorno a los 24.70 dBm.

En el caso del canal WiFi seleccionado cabe destacar que se ha realizado un estudio previo, en el cual se ha analizado por el canal que mejor transmisión y velocidad ofrecía y también se observó que el canal 9 era por el cual menos tráfico pasaba y este fue uno de los factores por los que se eligió dicho canal.

En cuanto al tiempo de medida se ha considerado que los 60 segundos es un tiempo razonable para obtener unas medidas eficientes y también nos ha permitido poder llevar a cabo un mayor número de pruebas. Además se ha establecido un tiempo de arranque entre cada medida para mejorar el resultado de las medidas y no tener interferencias no deseadas, el tiempo de arranque entre cada punto de medida es de 20 segundos.

3.1.2 Medidas con terminal Samsung Galaxy S5

El primer caso que se ha planteado es realizar las medidas de interferencia Bluetooth sobre la tecnología WLAN 802.11n con el terminal Samsung Galaxy S5. En este punto se analizará las medidas que se han obtenido tanto para un escenario en el que no se presenta ningún tipo de interferencia y el caso opuesto en el que introducimos interferencia Bluetooth.

A continuación se muestra el escenario planteado con el correspondiente dispositivo y los componentes externos que se han tenido en cuenta.

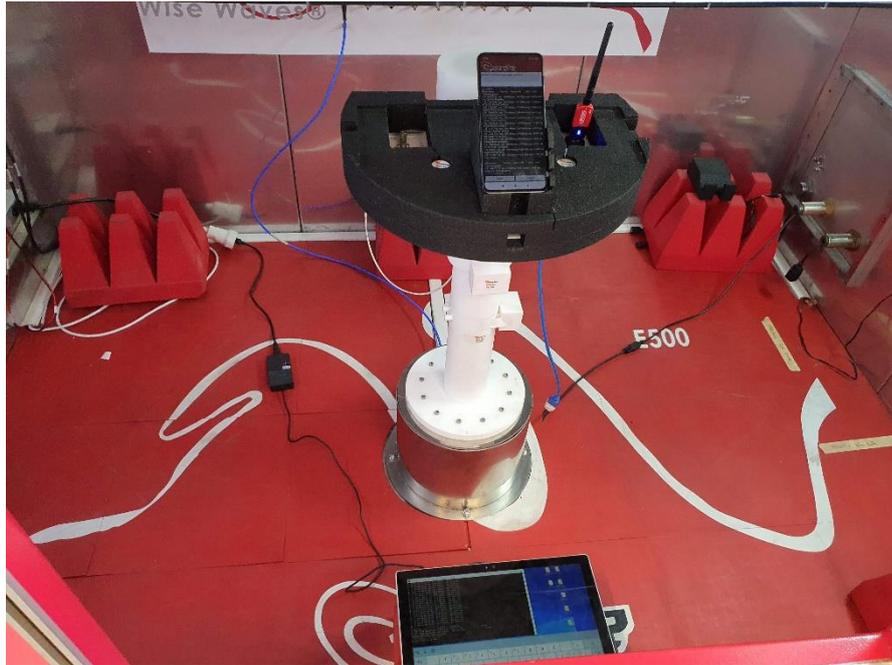


Figura 3.1.2.1 Escenario con Samsung S5

Como se puede apreciar en este escenario tenemos por un lado el terminal principal junto con el segundo dispositivo, que en este caso es la Tablet la que se va a encargar de introducir las interferencias.

Medidas con MCS Auto

En este apartado se ha realizado una serie de medidas tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente en el cual los valores del índice de esquemas de modulación y codificación (MCS) se van a ajustar al nivel de señal que reciba en cada momento y el valor de este índice dependerá de diferentes factores por ello se ha configurado en modo Auto para que el funcionamiento sea lo mejor posible.

En las siguientes gráficas se va a representar la cantidad de throughput (TPUT) que llega para ciertos valores de Path Loss tanto para el caso ideal en el que tomará los valores máximos posibles como los que realmente se obtiene con la cámara de reverberación.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	65.52	82.33
55	60	69.24	80.41
60	60	71.78	88.83
65	60	69.28	86.31
70	60	72.30	86.55
75	60	69.83	89.56
80	60	60.08	71.50
85	60	52.11	70.54
90	60	27.63	41.52
95	60	18.46	21.24
100	60	5.44	8.67
105	60	1.02	6.50
110	60	0.00	6.50
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.1 Medidas enlace ascendente

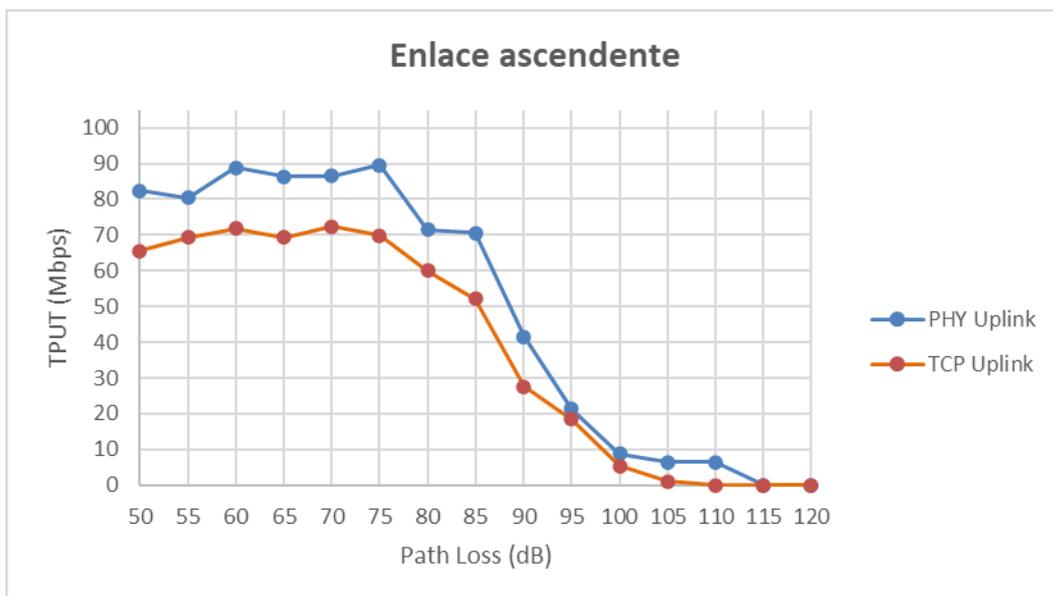


Figura 3.1.2.2 PHY Uplink vs TCP Uplink Samsung S5 MCS Auto

En la gráfica anterior podemos ver que se representa los valores de throughput frente al Path Loss en el caso que no tenemos ningún tipo de interferencia con la tecnología Bluetooth, es decir que tenemos únicamente el terminal móvil presente en el interior de la cámara de reverberación.

Como es lógico se obtienen valores superiores para el caso de las medidas ideales puesto que no se tiene en cuenta los diferentes factores que pueden influir, simplemente se tienen en cuenta los cálculos teóricos. Mientras que para el caso de medidas ideales se tienen en cuenta factores ajenos y los cuales no podemos controlar, puesto que van a estar presente en todos los tipos de comunicaciones.

Por otro lado se observa que conforme aumenta el valor del Path Loss, es decir las pérdidas de trayectoria, vemos que la cantidad de throughput disminuye de manera progresiva, esta caída progresiva de la transmisión de datos es debida a que se ha configurado el MCS en modo Auto y por tanto dicho índice va variando dependiendo de las condiciones en las que se encuentre en ese momento, haciendo que la cantidad de datos transferidos sea el mayor posible a grandes distancias y por ello no se produce caída de throughput abrupta.

En el caso que presenta interferencias podemos ver que si afecta a la comunicación, puesto que lo primero a destacar de los datos obtenidos para este caso, es que la curva de throughput cae antes que para el caso en el que no tenemos interferencias.

Como se puede apreciar en la siguiente tabla vemos que para un valor de Path Loss de 100 dB se pierde la transmisión debido a la interferencia introducida. También destacar que aunque en este caso se haya tenido la interferencia introducida por el terminal móvil, gracias a que se tiene un MCS Auto para este caso la curva ha ido cayendo lentamente y para mantener un buen valor de throughput en algunas ocasiones se habrá hecho uso de 2 antenas para tener una comunicación óptima.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	63.28	66.08
55	60	72.21	85.94
60	60	70.92	85.49
65	60	70.10	87.72
70	60	70.78	102.56
75	60	66.96	74.75
80	60	58.32	74.75
85	60	49.95	58.14
90	60	26.56	33.58
95	60	16.15	20.04

Final averaged measurement result			
100	60	0.00	6.50
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.2 Medidas enlace ascendente interferido

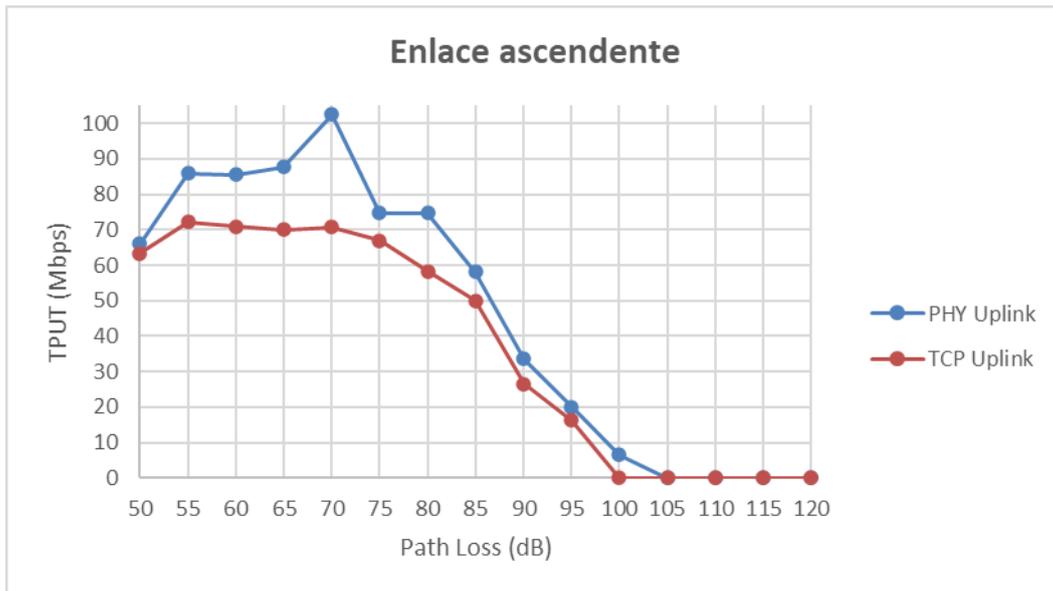


Figura 3.1.2.3 PHY Uplink vs TCP Uplink reales Samsung S5 MCS Auto

Al igual que ocurre en el enlace ascendente, se ha realizado un análisis similar para el caso en un enlace descendente. Primero se muestra el caso en el que no se ha introducido ningún tipo de interferencia controlado al igual que hemos comentado para el caso anterior siempre hay que tener en cuenta interferencias externas, las cuales siempre van a estar presentes y no vamos a poder controlarlas. En la siguiente gráfica podemos ver la curva que tenemos para este caso.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	71.38	140.80
55	60	73.84	144.40
60	60	71.83	142.00
65	60	74.45	143.20

Final averaged measurement result			
70	60	70.14	135.98
75	60	65.51	134.80
80	60	56.43	126.98
85	60	53.31	107.62
90	60	40.98	74.65
95	60	15.72	33.22
100	60	8.80	22.87
105	60	0.00	6.50
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.3 Medidas enlace descendente sin interferencia

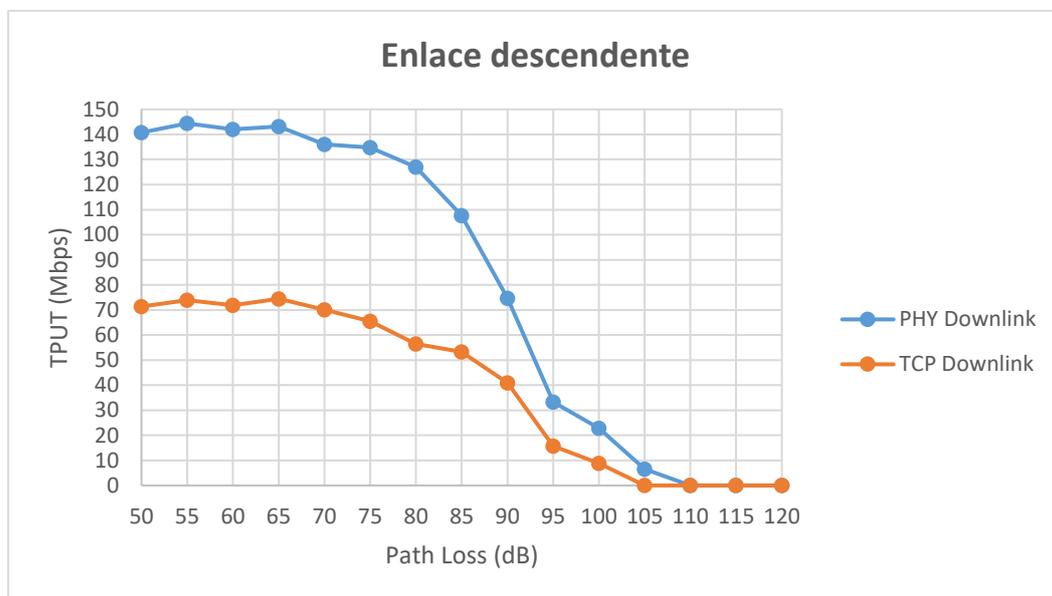


Figura 3.1.2.4 PHY Downlink vs TCP Downlink reales Samsung S5 MCS Auto

Para el caso del enlace descendente vemos que en comparación al caso del enlace ascendente tenemos mayor cantidad de datos al inicio de las medidas y conforme vamos aumentando las pérdidas de trayectoria las gráficas se van igualando en cuanto al tráfico recibido. Por otro lado también es importante destacar la diferencia que se aprecia entre la medida ideal y la real que en su punto mas alta para caso se llega a tener una diferencia de 69.95 Mbps, esta diferencia es debida a los diferentes agentes externos que se tienen en cuenta para el caso real.

El segundo caso que se plantea para el enlace descendente, es aquel en el cual se ha tenido en cuenta las interferencias introducidas por la tecnología Bluetooth y por tanto

podremos que la señal que se recibe va a presentar una menor cantidad de datos que se va a recibir conforme aumentamos el throughput

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	71.79	137.32
55	60	71.82	140.80
60	60	71.33	143.20
65	60	72.72	142.00
70	60	66.53	139.60
75	60	40.23	130.47
80	60	31.32	103.16
85	60	23.73	79.28
90	60	17.54	57.42
95	60	7.05	33.88
100	60	2.99	15.13
105	60	0.22	7.16
110	60	0.00	6.50
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.4 Medidas enlace descendente interferido

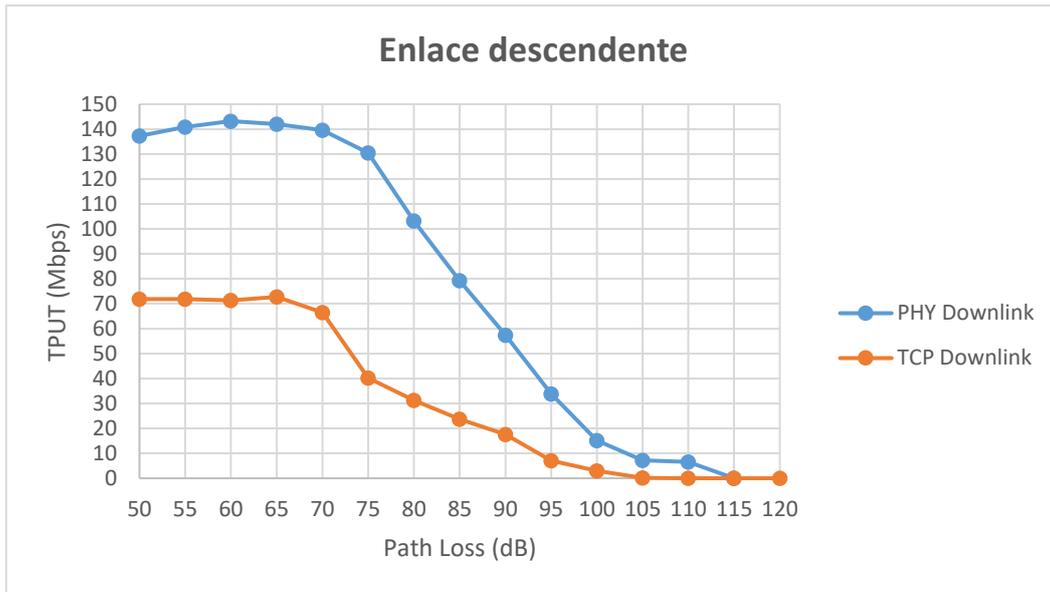


Figura 3.1.2.5 PHY Downlink vs TCP Downlink Samsung S5 MCS Auto

Medidas con MCS 1, MCS 9 y MCS 15

En el apartado anterior se ha llevado a cabo el análisis de interferencias con la tecnología Bluetooth para el caso en el cual habíamos configurado el MCS Auto, por lo que la modulación iba cambiando su valor dependiendo del entorno e interferencias que se fueran dando a lo largo de la transmisión, cosa que es muy útil puesto que con un MCS Auto la transferencia de datos va a ser más óptima.

Sin embargo otro escenario que se ha planteado en el estudio de este proyecto es comprobar el comportamiento que presentan las diferentes señales para uno valores concretos de MCS. En este caso se ha seleccionado tres valores que cubran todo los rangos dentro del intervalo de valore que este parámetro puede tomar, dichos valores son MCS 1, MCS 9 y MCS 15.

Para el caso en el que el MCS1, a continuación se muestra los datos obtenidos juntos con su respectivo gráfico en el que podemos observar con mayor claridad el comportamiento que muestra para un MCS igual a uno este caso se corresponde para una situación en la que no se presenta interferencias con la tecnología Bluetooth.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	11.46	13.82
55	60	11.47	13.93
60	60	11.47	13.70
65	60	11.48	13.58
70	60	11.48	13.93
75	60	11.37	13.82
80	60	11.13	13.93
85	60	11.08	13.70
90	60	10.68	14.05
95	60	9.06	13.39
100	60	2.54	7.04
105	60	0.50	6.50
110	60	0.00	6.50
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.5 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=1

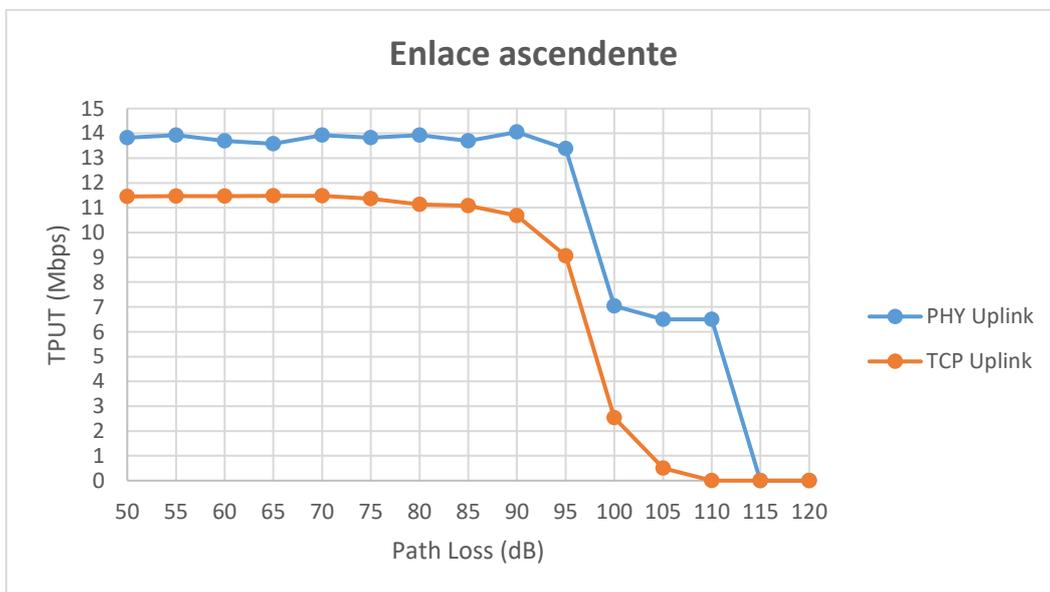


Figura 3.1.2.6 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=1

Como se puede observar de los datos obtenidos para el caso de un enlace ascendente, tenemos que el valor ideal se encuentra por encima del valor real puesto que sabemos que nunca tendremos un escenario ideal en el que no se tenga en cuenta ningún tipo de agente externo que haga que la señal vaya atenuando conforme aumenta su recorrido.

Destacar que para el valor de MCS igual a uno se obtienen un mayor recorrido conforme aumenta el valor del Path loss, sin embargo la cantidad de datos que se van a transmitir va a ser mucho menor que para el resto de los dos valores posibles que se han tenido en cuenta para el MCS. Como se puede apreciar en la gráfica el valor máximo de TPUT que se obtiene es de 11.48 Mbps. Esto significa que la caída de la curva se va a producir en un punto del eje X superior que para los otros caso, pero la calidad de la comunicación va a ser menos eficiente que para los dos casos restantes.

A continuación se muestra el caso en el que sí tenemos en cuenta las interferencias introducidas por la tecnología 802.15 para el enlace ascendente con MCS igual a uno.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	11.41	13.70
55	60	11.43	13.58
60	60	11.49	13.58
65	60	11.49	13.93
70	60	11.48	14.05
75	60	11.38	13.16
80	60	11.11	13.27
85	60	10.87	13.82
90	60	9.48	12.69
95	60	3.31	8.78
100	60	0.90	6.50
105	60	0.00	6.50
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.6 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=1

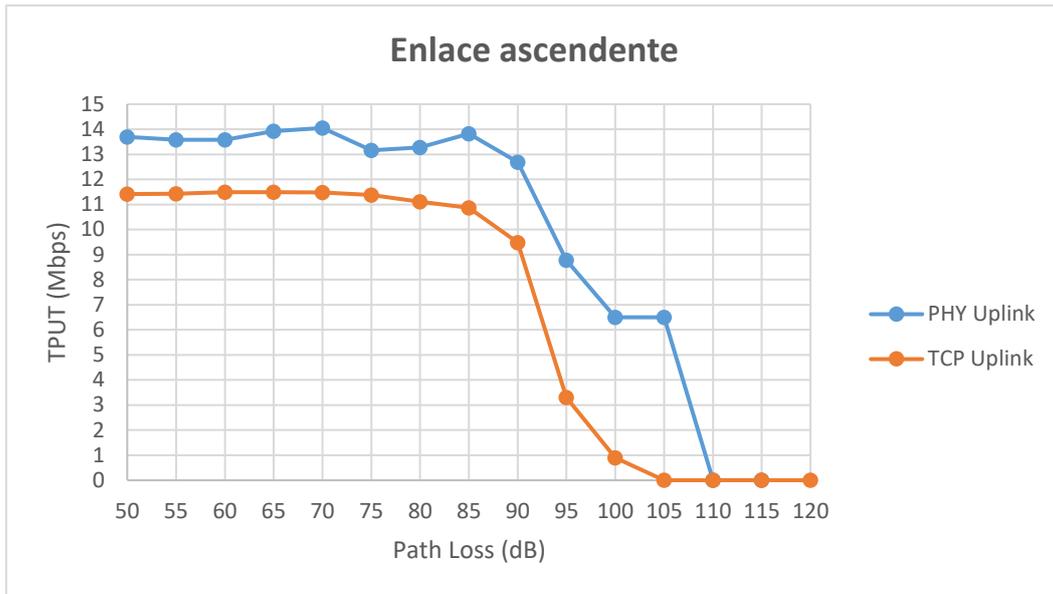


Figura 3.1.2.7 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=1

En este caso al introducir las correspondientes interferencias ya se puede observar que la caída de la señal se produce un poco antes que en el caso anterior en el que no teníamos interferencias, podemos destacar que para en este caso se obtiene un máximo mayor que para el caso anterior sin embargo vemos que las interferencias si que van a influir conforme aumentamos el Path Loss.

De este caso en el que MCS es igual a uno se puede observar que la caída se prolonga conforme aumenta el Path Loss sin embargo lo hace con una mala calidad a la hora de transmitir tráfico de datos.

El segundo caso que tenemos es para un valor de MCS igual a nueve, se ha tomado como referencia este valor ya que de esta manera podemos ver el comportamiento que presenta en un punto intermedio dentro del intervalo de valores posibles que puede tomar el MCS. A continuación se muestra el gráfico obtenido para este nuevo caso en el cual se ha aumentado el valor del MCS sin interferencias.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
60	60	22.89	27.93
65	60	22.93	28.17
70	60	22.89	27.93
75	60	22.72	27.45
80	60	22.11	27.21

Final averaged measurement result			
85	60	22.19	27.45
90	60	22.07	27.45
95	60	19.40	23.48
100	60	2.70	6.50
105	60	0.00	6.50
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.7 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=9

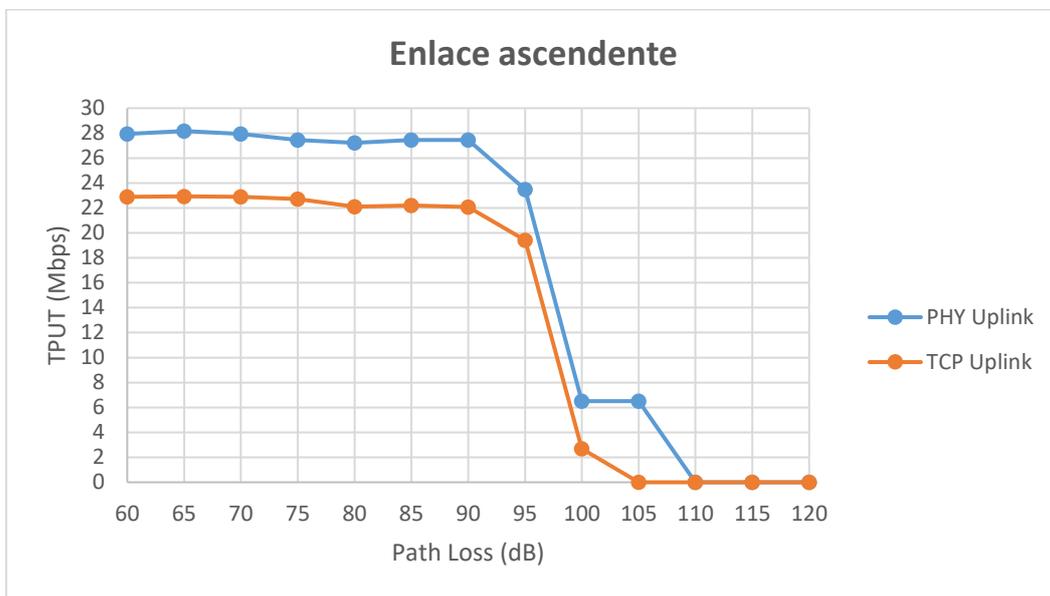


Figura 3.1.2.8 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=9

Para este caso ya se puede observar que el valor del TPUT es mucho mayor que en el caso de MCS igual a uno, por tanto podemos ver que se van a transmitir una mayor cantidad de datos, lo que significa que la calidad de la comunicación es mejor.

Otro aspecto que también se puede obtener de las medidas realizadas es que la caída de la curva es más agresiva que el caso anterior ya que si recordamos la caída de la curva para un valor de MCS igual a uno era más progresiva y más lenta, lo que supone una mejor comunicación pero en un rango más pequeño para el eje X.

Para el caso en el que metemos la interferencia producida por Bluetooth se observará que la señal tomará valores menores de TPUT conforme aumentamos el Path Loss, a continuación se muestra los datos obtenidos para este caso con interferencias.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
60	60	23.04	27.69
65	60	23.06	26.24
70	60	22.88	26.72
75	60	22.67	27.69
80	60	22.14	27.45
85	60	22.06	23.72
90	60	21.96	26.79
95	60	17.53	18.36
100	60	2.23	6.50
105	60	0.13	6.50
110	60	0.00	6.50
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.8 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=9

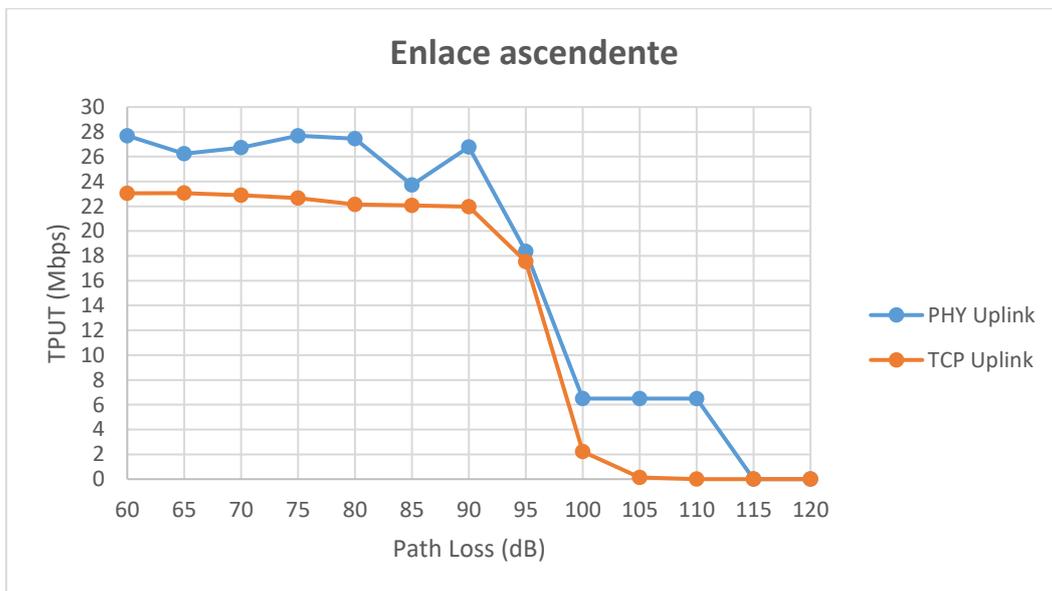


Figura 3.1.2.9 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=9

Como se aprecia los valores para una medida ideal y una medida real en este caso son valores muy próximos esto es debido al aumento del valor del MCS y de las interferencias introducidas esto hace que la velocidad con la que se transmiten la información es menor al caso anterior puesto que además de tener las interferencias

producidas por agentes externos, también se introduce la interferencia introducida por la tecnología Bluetooth.

Por último tenemos el caso en el que el MCS toma un valor de 15 que es el valor máximo que puede tomar en este caso y en el cual se utilizan 2 antenas para llevar a cabo la comunicación, lo que conlleva una mejor comunicación aunque en este caso la caída de la curva será mucho más antes que en los dos casos anteriores. Los datos medidos se muestran en la siguiente tabla.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	65.25	61.56
55	60	68.97	54.61
60	60	70.68	52.72
65	60	68.64	52.72
70	60	67.00	65.60
75	60	35.42	59.16
80	60	4.81	6.50
85	60	1.38	6.50
90	60	0.00	6.50
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.9 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=15

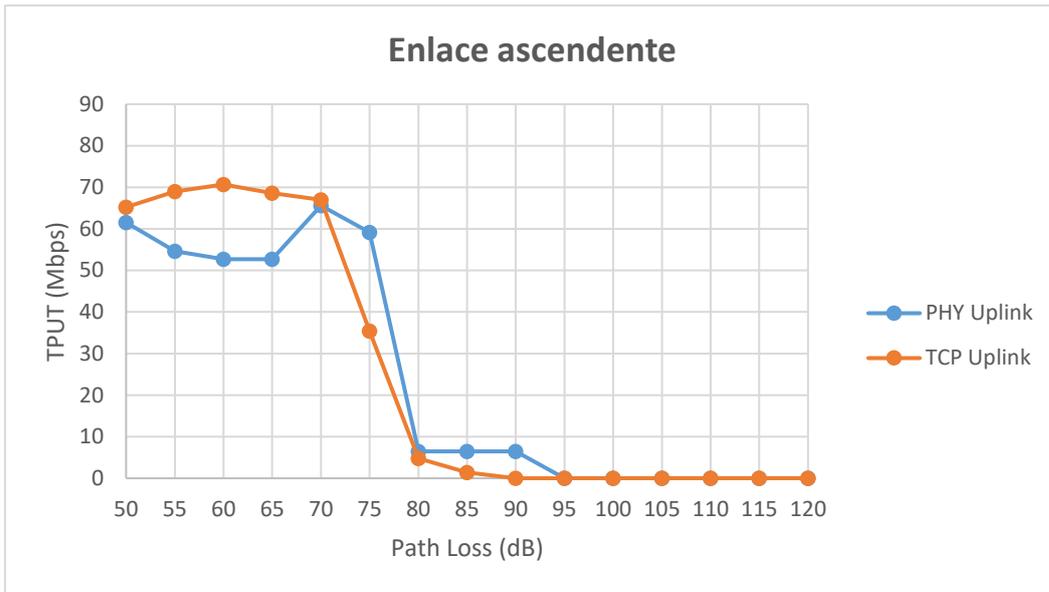


Figura 3.1.2.10 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=15

Ya para el caso sin interferencia se puede apreciar que la señal cae para un valor de 90 dB de Path Loss, sin embargo los valores del TPUT son muchos más elevados que en los dos casos anteriores llegando a alcanzar un valor máximo de 67.27 Mbps, es decir una cantidad de datos óptima para tener una comunicación correcta. Por tanto depende de las circunstancias que se presente durante la comunicación, unas veces será mejor llegar a tener valores pequeños de MCS para conseguir una mayor duración en la comunicación y otras veces prima la calidad frente a la duración y por tanto nos interesará tener valores más grandes para el MCS.

Para el caso en el que tenemos interferencias los valores serán menores que para este caso anterior, aun así la comunicación sigue siendo mucho más óptima que en los casos en el que MCS tomaba los valores de 1 y 15.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	56.65	82.14
55	60	67.27	27.08
60	60	62.37	39.77
65	60	61.97	28.95
70	60	57.19	60.36
75	60	28.52	6.50
80	60	4.03	6.50

Final averaged measurement result			
85	60	3.89	6.50
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.10 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=15

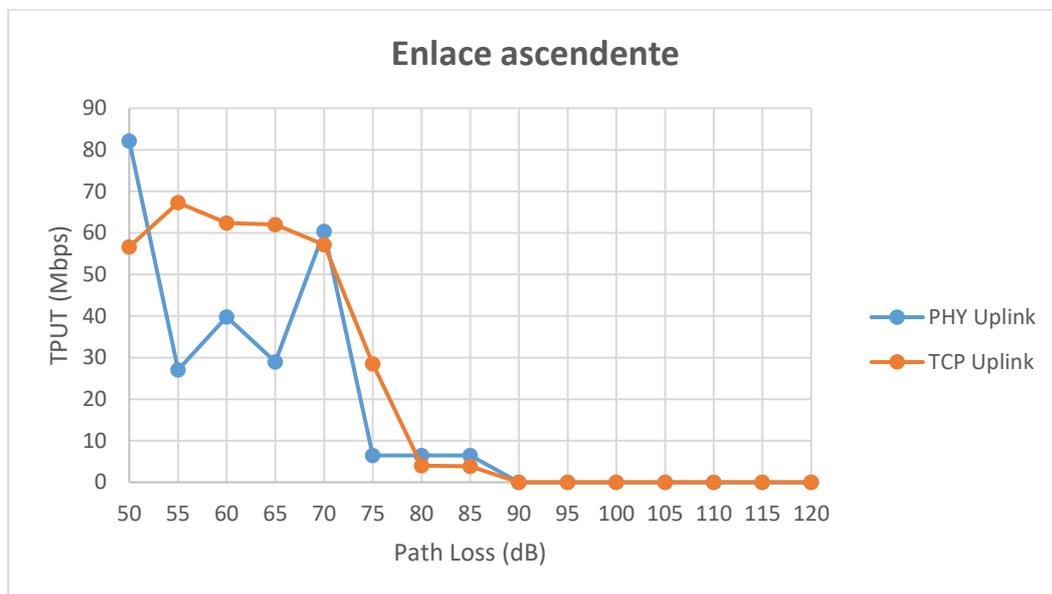


Figura 3.1.2.11 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=15

En conclusión, a los resultados obtenidos podemos decir que la configuración ideal es con un valor de MCS en modo Auto puesto que de esta manera se va a ir variando su valor dependiendo en el entorno que se encuentre en cada momento y de esta manera llegaremos a aprovechar y trataremos con una gran cantidad de datos llegando a buscar la mejor situación que tengamos frente a las interferencias que siempre van a estar presentes en la señales que transmitimos.

Los casos que hemos visto anteriormente se han aplicado para el enlace ascendente, por tanto queda ver el comportamiento que presenta en el caso de que la comunicación vaya en el sentido contrario desde la estación base al terminal móvil, que se conoce como enlace descendente. El análisis que se ha llevado a cabo es igual que el caso del enlace ascendente, mostraremos los tres valores seleccionados para el MCS al igual que sus

correspondientes gráficos con las medidas obtenidas con el terminal móvil que se ha escogido en este apartado.

Para un valor de MCS igual a uno, el comportamiento va a seguir igual que se ha comentado en el caso del enlace ascendente la caída será más progresiva y cubrirá un mayor rango para los correspondientes valores de Path Loss representados en el eje X.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
75	60	10.29	13.00
80	60	10.31	13.00
85	60	10.27	13.00
90	60	10.24	13.00
95	60	6.32	13.00
100	60	3.16	13.00
105	60	0.22	13.00
110	60	0.00	13.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.11 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=1

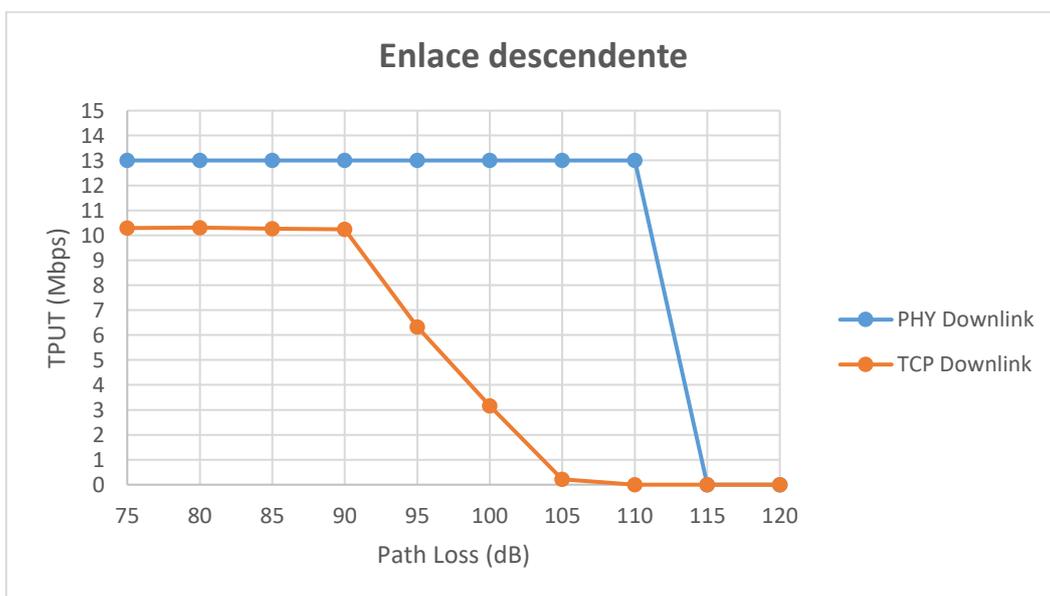


Figura 3.1.2.12 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=1

En este caso observamos que para el enlace descendente el comportamiento es más lineal en todo el rango de valores representados. Nuevamente podemos ver que los valores de TPUT son bajos y por tanto se puede decir que la velocidad de transmisión es lenta y por tanto van a llevar un mayor tiempo de transmisión de datos. Por ello, este caso no es muy óptimo, aunque la caída de la curva sea más prolongada.

Con interferencias producidas por el dispositivo que actúa como servidor mediante una conexión Bluetooth, vamos a observar que la señal se va a ver más afectada, y la diferencia es notable con respecto a la gráfica anterior. También destacar que las interferencias por la tecnología Bluetooth afectan más para el caso del enlace descendente que el ascendente ya que en este último caso las gráficas presentaban valores muy similares.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
75	60	10.24	13.00
80	60	8.29	13.00
85	60	7.83	13.00
90	60	7.19	13.00
95	60	0.36	13.00
100	60	0.40	13.00
105	60	0.06	11.80
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.11 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=1

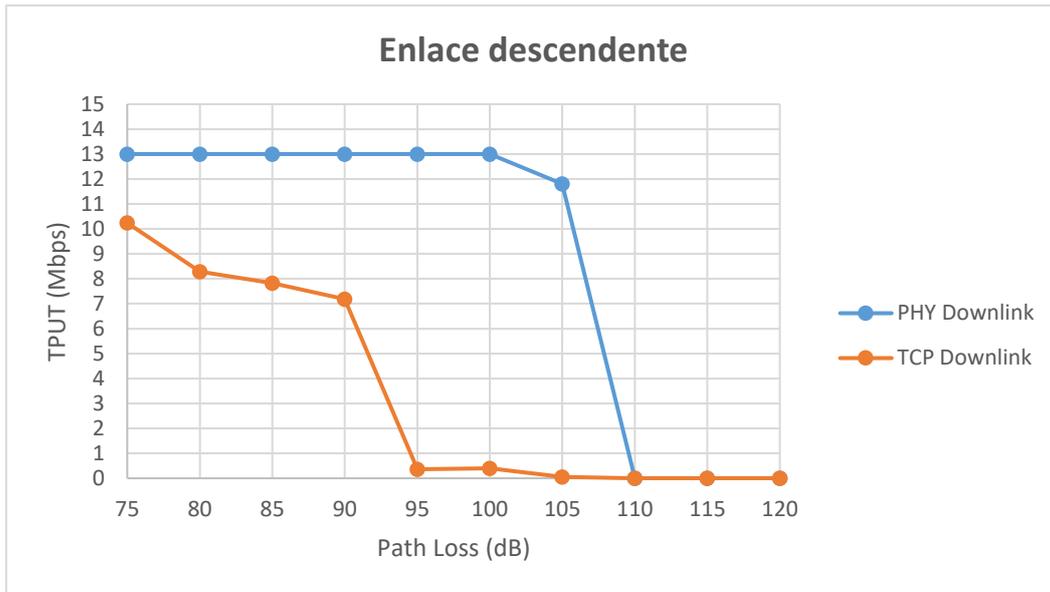


Figura 3.1.2.13 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=1

Vemos claramente que la señal ideal cae sobre los 110 dB mientras que el caso real la caída se produce aproximadamente en los 95 dB. Y en comparación con el gráfico en el que no había interferencias vemos que para un valor 90 dB el valor de TPIUT es de 10.24 dB mientras que para el mismo punto, se observa en el gráfico que presenta interferencias se tiene un valor de 7.19 dB, con esto queda demostrado que sí que la señal se ve afectada cuando le metemos las correspondientes interferencias.

El siguiente caso que tenemos, es el caso de un valor de MCS igual a 9 en el cual se va apreciar una mejora en la velocidad de datos y quizás sea una mejor opción para la transmisión de datos, aunque en este la señal se va a ver más afectada por las pérdidas de transmisión y por tanto la curva cae antes que el caso en el que el MCS tomaba el valor de uno. La siguiente tabla nos muestra las medidas obtenidas para este caso en el que no se ha introducido las interferencias de la tecnología Bluetooth.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
60	60	20.17	26.00
65	60	20.15	26.00
70	60	20.06	26.00
75	60	19.81	26.00
80	60	19.34	26.00
85	60	19.29	26.00
90	60	19.07	26.00
95	60	11.79	26.00
100	60	5.85	26.00
105	60	0.00	26.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.12 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=9

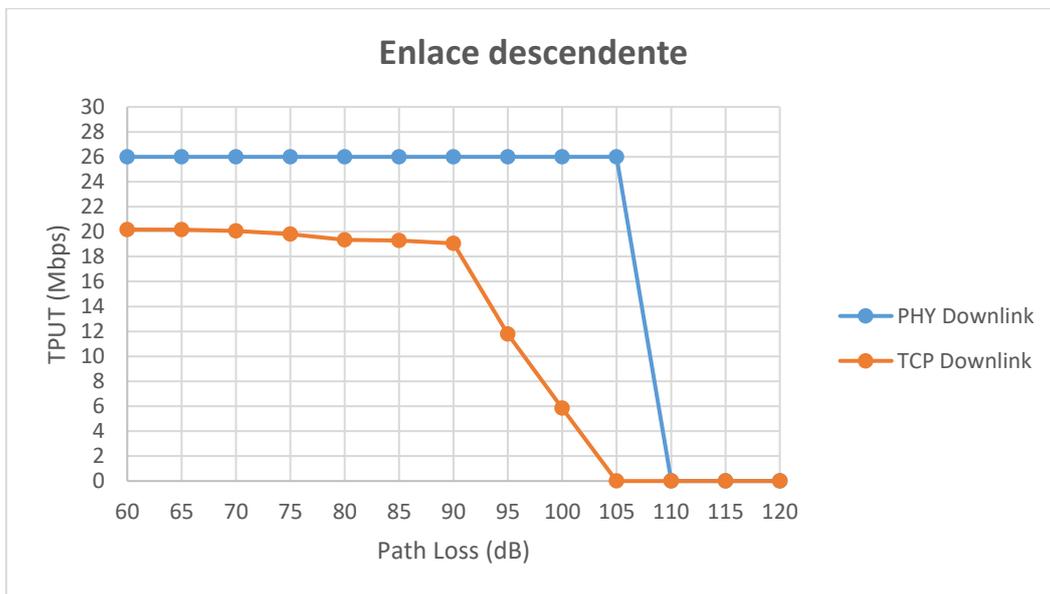


Figura 3.1.2.14 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=9

Vemos que el valor de TPUT aumenta para este caso con respecto al caso en el que el MCS tomaba el valor de uno. Vemos que al igual que en el anterior caso la caída de la curva es más lineal y la curva tiene una caída en un punto anterior al del caso anterior.

Con interferencia volvemos a ver que si presenta una diferencia notable y vemos que la curva cae mucho antes, por tanto, podemos decir que la comunicación para este enlace se ve más afectada cuando la señal WiFi es interferida por el dispositivo Bluetooth.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
60	60	22.41	28.90
65	60	22.42	28.90
70	60	22.37	28.90
75	60	21.71	28.42
80	60	21.19	28.90
85	60	21.11	28.90
90	60	20.89	28.66
95	60	3.87	11.33
100	60	2.37	7.88
105	60	0.00	1.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.12 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=9

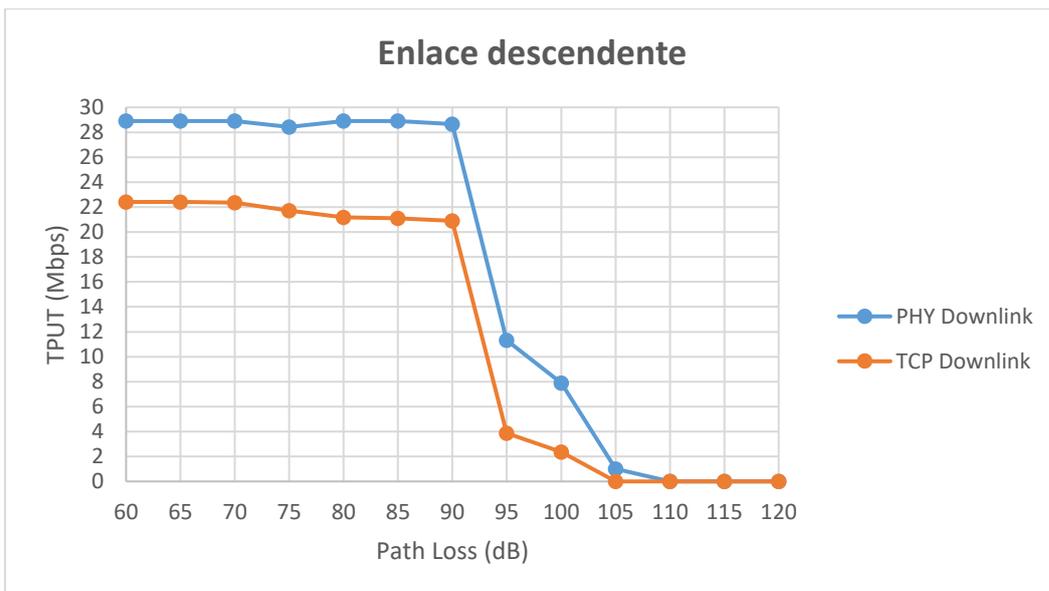


Figura 3.1.2.15 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=9

Por último vamos a analizar el comportamiento que se produce en el enlace descendente cuando el MCS es igual a quince, cuyo valor es el máximo cuando tenemos dos antenas para la comunicación.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	72.27	134.80
55	60	74.62	133.60
60	60	72.88	133.60
65	60	72.99	132.40
70	60	71.76	130.00
75	60	52.60	130.00
80	60	26.64	130.00
85	60	0.00	130.00
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.13 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=15

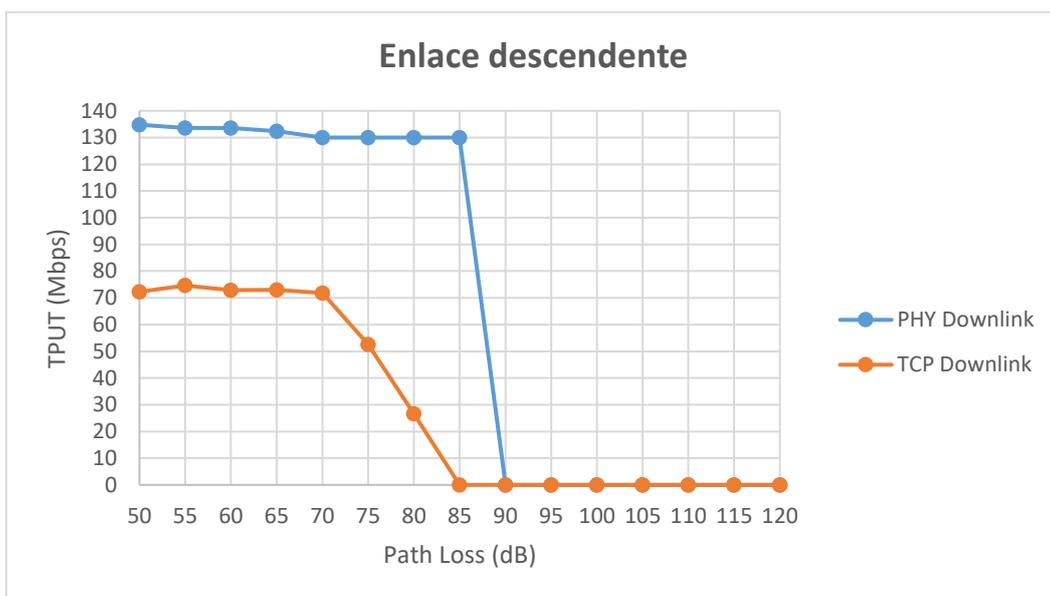


Figura 3.1.2.16 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=15

Como se aprecia para el caso sin interferencias la señal ya se ve afectada, podemos ver que la curva cae mucho antes que en otros caso entrono a los 85 dB por lo que la transmisión ha sido buena, pero en un rango pequeño. Destacamos que hay una diferencia de 60.18 Mbps entre el máximo que se produce en la medida real frente al máximo de la medida ideal, además se aprecia como se ha comentado en apartados anteriores que para el caso de enlace descendente las interferencias afectan más a la transmisión y calidad de datos.

A continuación, se va muestra el caso de MCS igual a quince cuando tenemos las interferencias introducidas la caída de la curva es muy similar al caso anterior, sin embargo, en el gráfico se puede observar que la pendiente es menor y está por debajo de los valores obtenidos en el caso en el que no se introducía la interferencia provocada por la tecnología Bluetooth.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	77.13	130.00
55	60	79.42	130.00
60	60	77.72	130.00
65	60	76.09	130.00
70	60	66.18	130.00
75	60	47.43	130.00
80	60	18.47	130.00
85	60	0.00	130.00
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.14 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=15

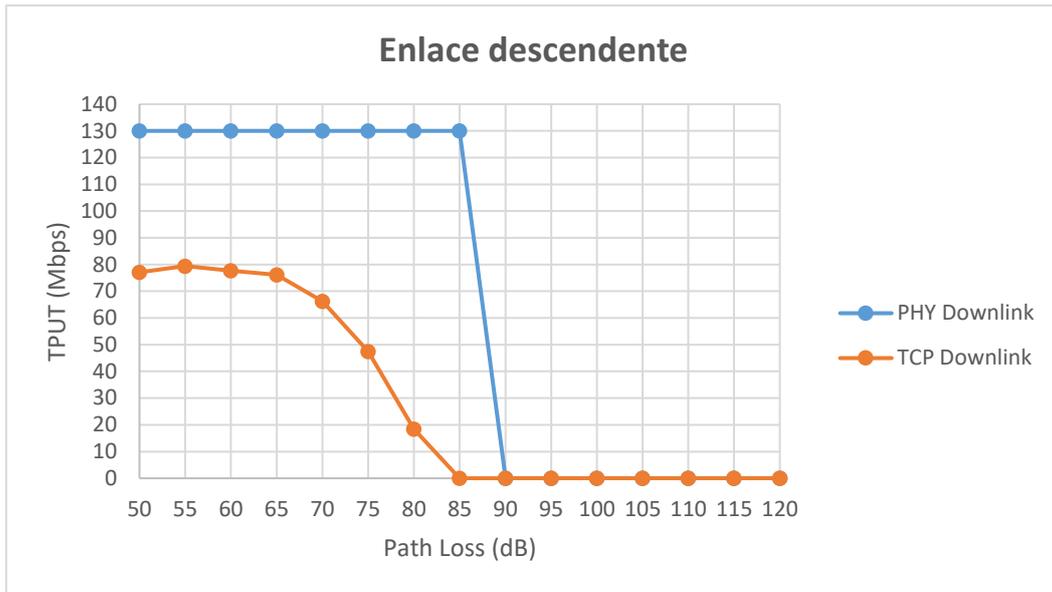


Figura 3.1.2.17 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=15

3.1.3 Medidas con terminal Xiaomi Mi Mix 3 5G

En este apartado se va a realizar las mismas medidas que se han hecho para el Samsung S5 para comparar que comportamiento tiene utilizar un terminal más antiguo frente a uno más actual en el mercado, para ello se plante el mismo escenario con interferencias producidas por un dispositivo conectado a la tecnología Bluetooth.



Figura 3.1.3.1 Escenario con Xiaomi Mi Mix 3 5G

Mostraremos el comportamiento tanto cuando el MCS lo configuramos en modo Auto, en el que dependiendo de entorno que se encuentre va a ir variando su valor para proporcionar una transferencia de datos óptima. También se mostrara el caso en el que se ha seleccionado unos valores concretos para el MCS, que para este caso van a ser los mismos que se asignaron para las medidas con el Samsung S5.

Medidas con MCS Auto

Para ese caso vamos a realizar las correspondientes medidas tanto para el enlace ascendente como el enlace descendente en el que vamos a observar los resultados y diferencias que presentan cuando no tenemos interferencias y luego en el caso que si se presenten las correspondientes interferencias.

Para el caso del enlace ascendente en el que no se aplica ningún tipo de interferencia vamos a ver que el comportamiento de la medida física con respecto a la medida real puesto que en este caso para este enlace cualquier tipo de interferencia que se tenga en cuenta en cualquier entorno, se va a ver menos afectado que para el enlace descendente.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	97.81	115.70
55	60	102.38	118.44
60	60	101.33	125.82
65	60	98.66	125.22
70	60	93.72	112.67
75	60	79.64	109.07
80	60	60.18	80.18
85	60	49.51	71.68
90	60	26.81	38.27
95	60	14.91	21.37
100	60	0.00	6.50
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.15 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS Auto

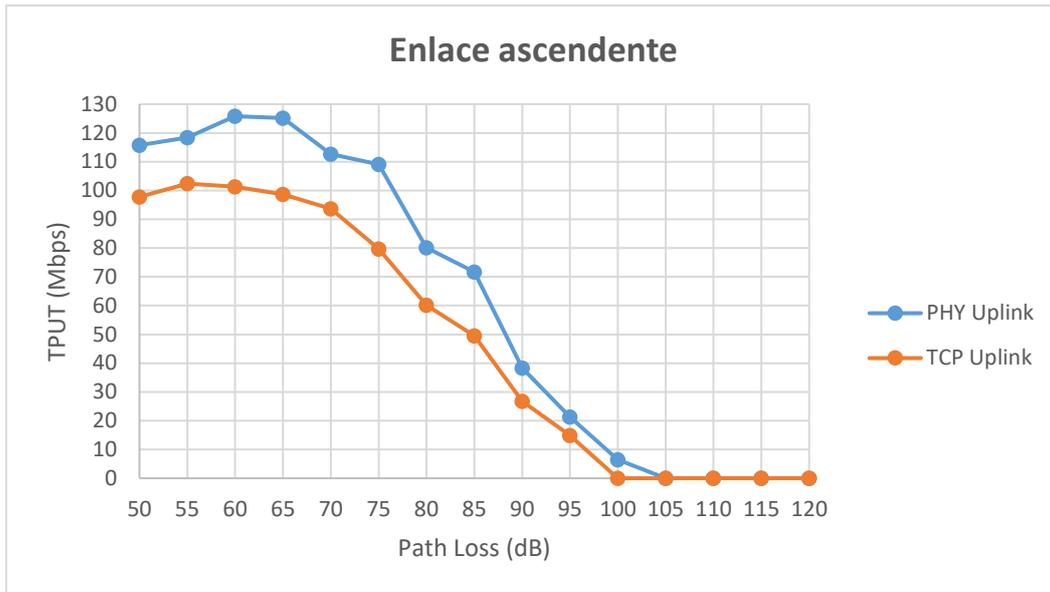


Figura 3.1.3.1 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS Auto

Podemos ver que para este caso la curva cae entorno a los 100 dB de Path Loss, a partir de ese punto vemos que la transmisión de datos es nula puesto que quizás el entorno hace que el terminal se encuentre fuera del rango de cobertura que proporciona la estación base que está conectada a dicho terminal. Cabe destacar que cuanto más alejado se encuentre el terminal el valor de MCS va disminuyendo y cuanto más cerca se encuentre ocurre todo lo contrario el valor del MCS aumenta y la comunicación será muy buena.

En el caso en el que se presentan interferencias, podemos destacar que ya se aprecia una gran diferencia entre los valores obtenidos para la medida ideal frente a los que se han obtenido para la medida real, la caída es en ambos casos se produce aproximadamente entorno a los 100 dB, sin embargo, se observa que el valor de TPUT es mucho menor para este último caso.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	98.93	121.03
55	60	102.89	165.84
60	60	99.57	135.83
65	60	95.64	145.96
70	60	96.44	126.57
75	60	79.20	135.88

Final averaged measurement result			
80	60	60.08	98.50
85	60	49.43	87.54
90	60	24.30	39.72
95	60	12.43	22.18
100	60	2.50	10.86
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.16 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS Auto

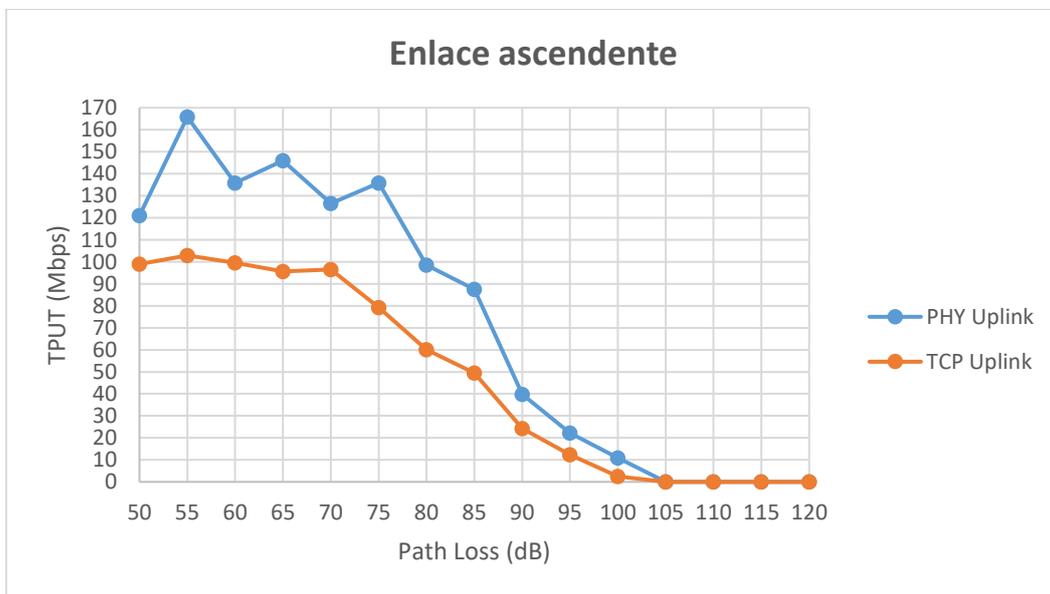


Figura 3.1.3.2 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS Auto

En el caso del enlace descendente se va apreciar que los valores son más bajos con respecto al enlace ascendente, esto es debido a que en este caso es el terminal móvil que actúa como emisor y este no se encuentra en un punto fijo por ello es más vulnerable a cualquier tipo de interferencia que se presente en el camino de ahí que los valores sean más bajos con respecto al enlace ascendente.

El primer caso que vamos a analizar es el caso en el que la tecnología Bluetooth no interfiere con la señal WiFi, como se puede ver en el siguiente gráfico el punto máximo de valor de TPUT alcanzado es de 89.88 Mbps frente a los 144.4 Mbps alcanzados para

el caso de la medida real. A continuación, se muestran los resultados obtenido para este caso en el que el MCS también se ha configurado en modo Auto.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	85.72	140.80
55	60	86.88	140.80
60	60	85.53	138.40
65	60	86.72	144.40
70	60	82.57	133.58
75	60	69.41	129.27
80	60	55.52	106.18
85	60	46.65	83.68
90	60	31.52	52.58
95	60	9.00	19.02
100	60	0.00	14.40
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.17 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS Auto

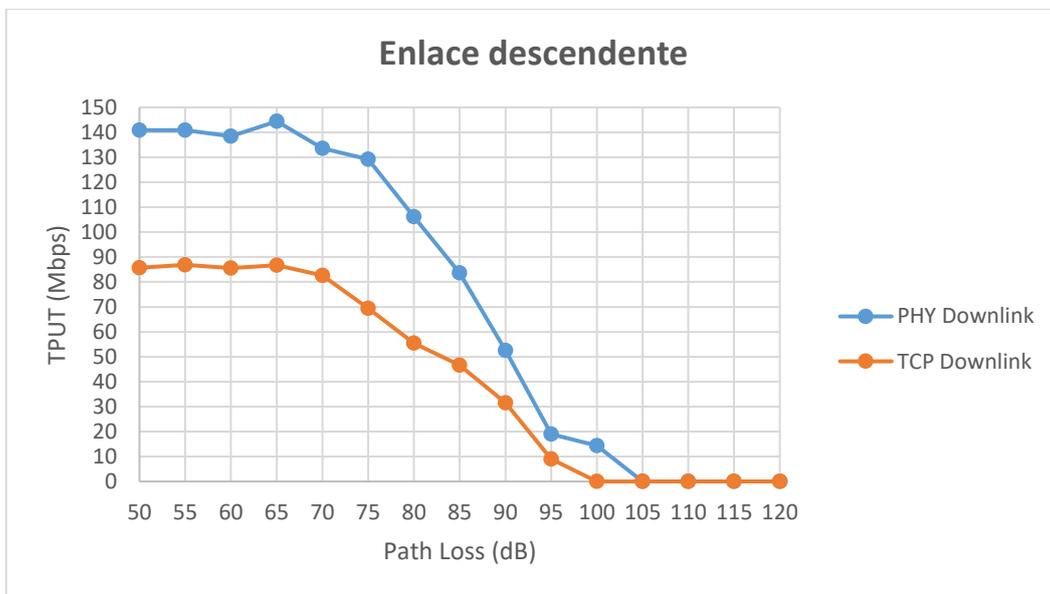


Figura 3.1.3.3 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS Auto

Por otro lado, en el caso en que si tenemos interferencias, se puede observar que también la caída de la señal se ve afectada por dichas señales no deseadas. En el gráfico podemos apreciar que dicha caída se produce aproximadamente entorno a los 95 dB de Path Loss que es un valor menor que en el caso del enlace ascendente. El valor máximo que alcanza en este caso del TPUT con interferencias es 84.73 un valor un poco inferior al caso en que no teníamos interferencias.

También se observa que presenta un mayor pendiente en la curva en este último caso ya que se ha producido una caída mucho más elevada que cuando no se tiene interferencias produciendo una calidad de comunicación menor que en el caso anterior, sin embargo gracias que el valor del MCS se va modificando de manera automática podemos decir que ambos casos tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente la caída se ha producido en el mismo punto, independientemente de si tenemos o no interferencias. A continuación, se muestra tanto la tabla como el gráfico de las medidas obtenidas en el enlace descendente en el cuál presenta interferencias.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	83.37	139.60
55	60	84.73	132.38
60	60	84.40	139.60
65	60	57.15	132.38
70	60	52.75	122.28
75	60	36.32	123.73
80	60	25.65	87.88
85	60	21.68	71.63
90	60	15.13	44.52
95	60	1.75	14.97
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.18 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS Auto

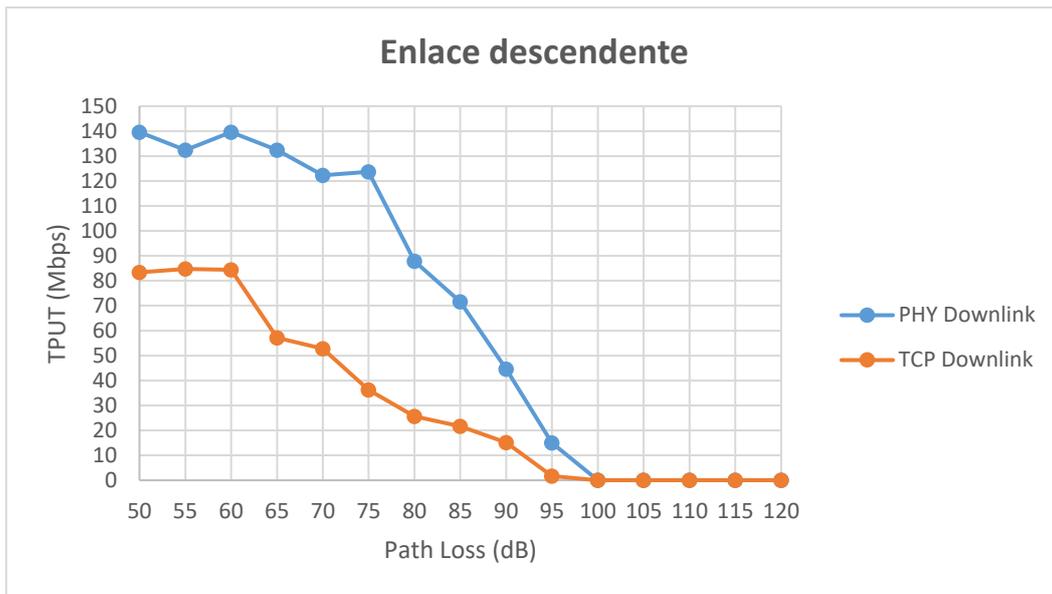


Figura 3.1.3.4 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS Auto

Medidas con MCS 1, MCS 9 y MCS 1

Como hemos visto en el caso anterior se ha realizado un estudio cuando el MCS estaba configurado en modo Auto de tal manera que dependiendo de las circunstancias en las que se encuentre en el entorno va a ir modificando el valor para garantizar la mejor calidad en la comunicación. Sin embargo, en este apartado vamos a realizar el mismo procedimiento que hemos hecho para el otro terminal en apartados anteriores, tomaremos tres valores concretos para el MCS para ver cómo se comporta tanto cuando toma un valor bajo de MCS como cuando se encuentra en el otro extremo cuyo valor máximo es quince. De esta manera podemos ver la evolución y comportamiento que se produce cuando el MCS no está configurado en modo Auto y se hace de manera manual.

El primer caso que tenemos es cuando el MCS toma el valor de MCS igual, que es el valor más bajo que este parámetro puede tomar, a continuación, se muestran las medidas obtenidas en este caso para el enlace ascendente.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	9.56	9.21
55	60	9.94	13.12
60	60	9.87	13.12
65	60	9.87	13.12
70	60	9.56	11.92
75	60	9.83	13.12
80	60	9.89	13.00
85	60	9.70	13.00
90	60	9.64	13.12
95	60	7.78	12.81
100	60	1.65	6.50
105	60	0.00	6.50
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.19 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=1

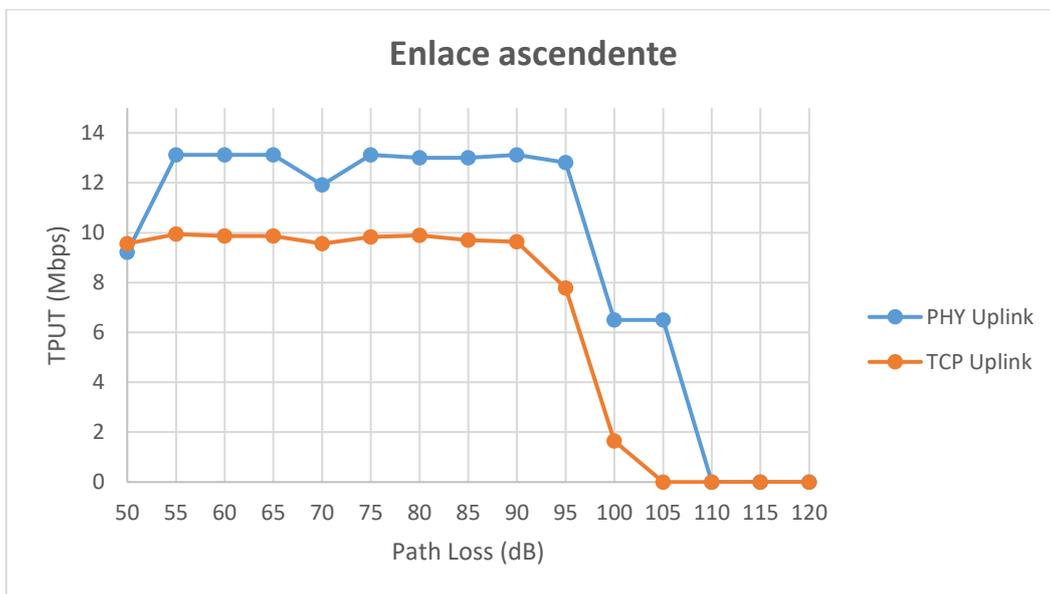


Figura 3.1.3.5 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=1

El comportamiento que se puede observar para este caso es que el comportamiento ha sido muy lineal y con una tasa de rendimiento muy baja puesto que como se ha comentado en apartados anteriores en esta situación la comunicación se expone a una situación extrema puesto presenta una mayor rango de duración pero con una calidad de

la señal muy mala de ahí que se observe que la tasa de rendimiento sea muy baja y constante, en este caso se puede apreciar que valor máximo que toma la tasa de rendimiento es de 9.94 dB que es un cantidad muy baja para la transmisión de datos.

Para el mismo enlace pero con interferencias vemos que el comportamiento es muy similar puesto que ya en el caso anterior los valores de TPUT eran bajos por tanto aunque tengamos interferencias la diferencia va a ser mínima, esto se puede observar en el gráfico siguiente en el que se observa que no es una opción tener este valor de MCS para la transmisión de datos.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
75	60	9.82	13.00
80	60	9.89	13.00
85	60	9.47	13.23
90	60	9.56	13.12
95	60	6.73	11.38
100	60	1.86	6.50
105	60	0.02	6.50
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.20 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=1

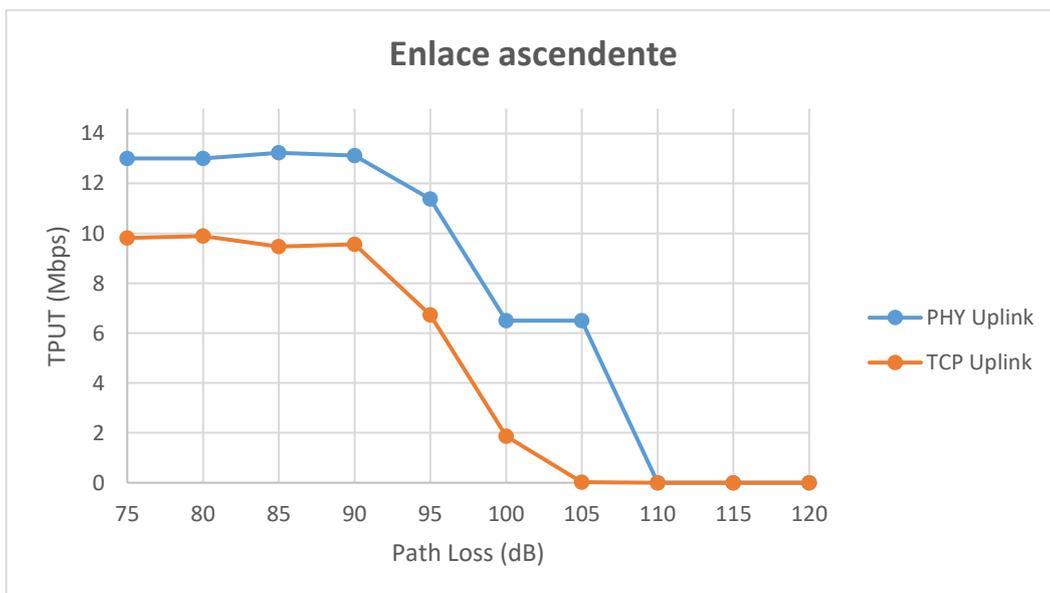


Figura 3.1.3.6 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=1

Para este caso se observa que el valor máximo difiere un poco con respecto al caso en el que no se ha tenido en cuenta las interferencias llegando a tener un valor de 9.89 Mbps. En cuanto a la caída de la curva se observa que en ambos casos se produce entorno a los 105 dB y que este será el mejor de los casos en cuanto a duración de la transmisión de datos puesto que para los casos anteriores la caída se producirá en puntos inferiores al que se produce en este caso en el que el MCS es igual a uno.

En segundo lugar, se presenta un valor intermedio para MCS=9 en el cual veremos que presenta una gran mejoría en cuanto a la tasa de rendimiento con respecto a los valores obtenidos para el caso de MCS=1, para el caso del enlace ascendente sin interferencias se observa que el valor máximo de TPUT es de 48.92 Mbps, las medidas obtenidas para este caso se muestran en la siguiente tabla:

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
60	60	48.18	72.20
65	60	48.77	72.20
70	60	48.92	71.06
75	60	48.56	72.20
80	60	46.56	68.18
85	60	38.40	56.88
90	60	23.88	35.38
95	60	13.80	22.39
100	60	0.00	6.50
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.21 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=9

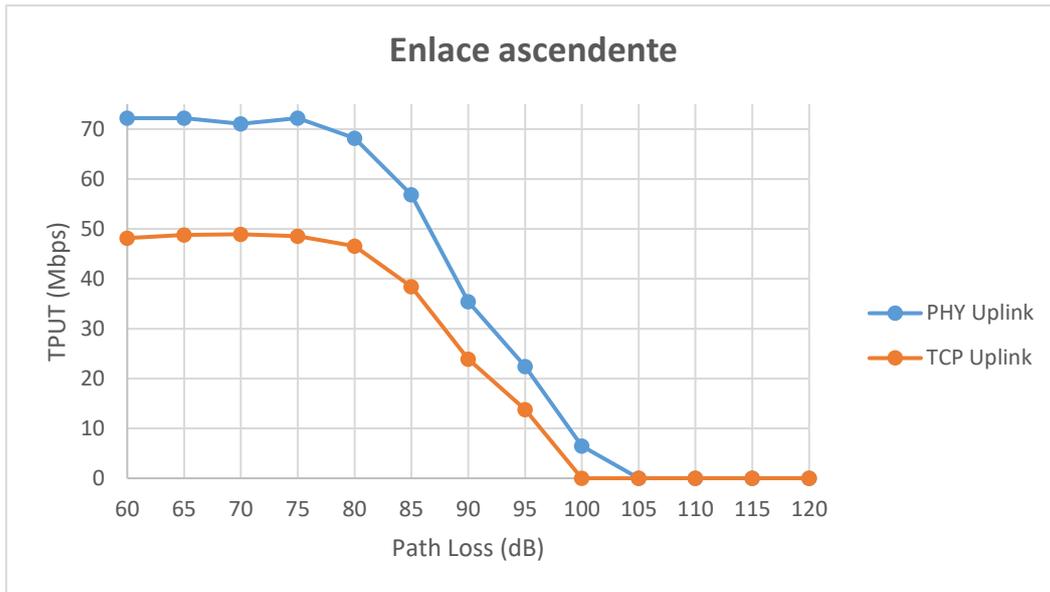


Figura 3.1.3.7 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=9

Se puede apreciar que al comienzo de la medida hay una diferencia muy amplia entre la medida ideal y la real pero conforme va aumentando el proceso ambas curvas se van aproximando llegando a tener un comportamiento similar. Otro aspecto que se puede observar es que la caída en este caso ya ha caído a los 100 dB frente a los 105dB que teníamos en el caso anterior.

Para el caso en el que metemos las correspondientes de interferencias vemos que con un valor de MCS=9 la curva se ve afectada pero aun así la calidad de transmisión es aceptable, y quizás podemos decir que este valor es un buen valor para llevar a cabo el tráfico de datos, ya que se encuentra en el punto intermedio del rango de valores que puede tomar el MCS para este tipo de cámara que puede usar dos antenas en el caso que sea necesario mejorar la comunicación. A continuación, se muestra los datos obtenidos para este caso en enlace descendente.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
60	60	37.30	57.42
65	60	38.19	60.84
70	60	40.04	62.95
75	60	40.58	60.73
80	60	36.62	56.88
85	60	32.46	46.94

Final averaged measurement result			
90	60	19.83	29.85
95	60	11.99	20.58
100	60	2.13	6.50
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.22 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=9

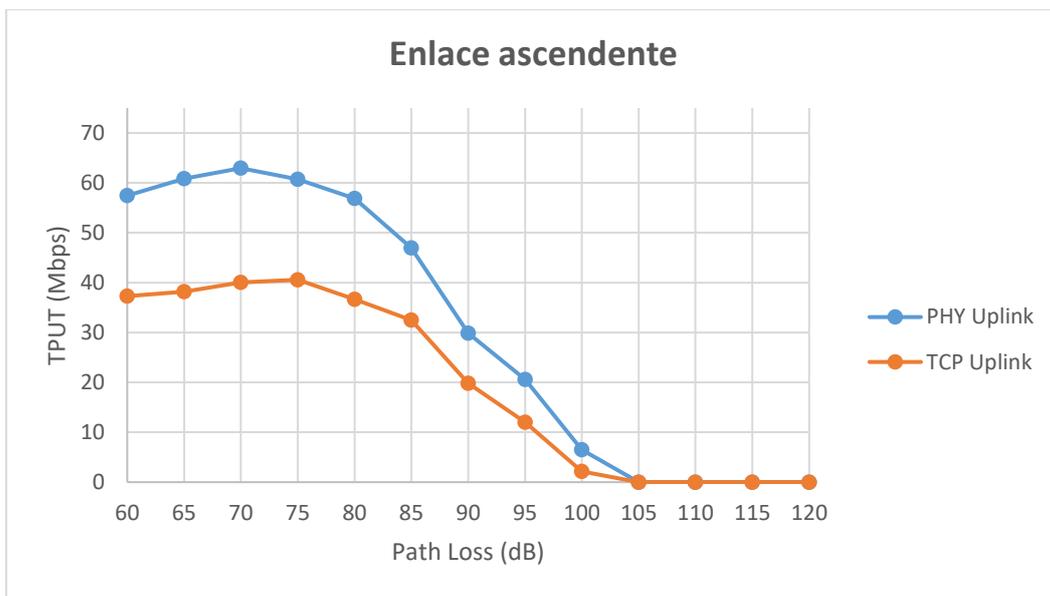


Figura 3.1.3.8 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=9

Vemos claramente que los valores son menores que en el caso en el que no teníamos interferencias como es lógico, el valor máximo de TPUT que se obtiene es de 40.58 dB bastante menor que en el anterior caso. Sin embargo, para el enlace ascendente vemos que las interferencias no afectan mucho en este sentido de la comunicación.

El último caso que tenemos para el enlace ascendente es cuando el MCS=15, donde se utilizan las dos antenas proporcionadas por la cámara de reverberación utilizada en el que tendremos un tasa de rendimiento muy buena pero que conforme avanzamos la caída de la curva es más rápida que en el resto de casos.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	99.04	142.00
55	60	106.77	134.80
60	60	103.86	136.40
65	60	94.09	106.35
70	60	86.56	102.30
75	60	61.23	92.07
80	60	33.55	71.06
85	60	7.23	14.63
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.22 Medidas enlace ascendente sin interferencias para MCS=15

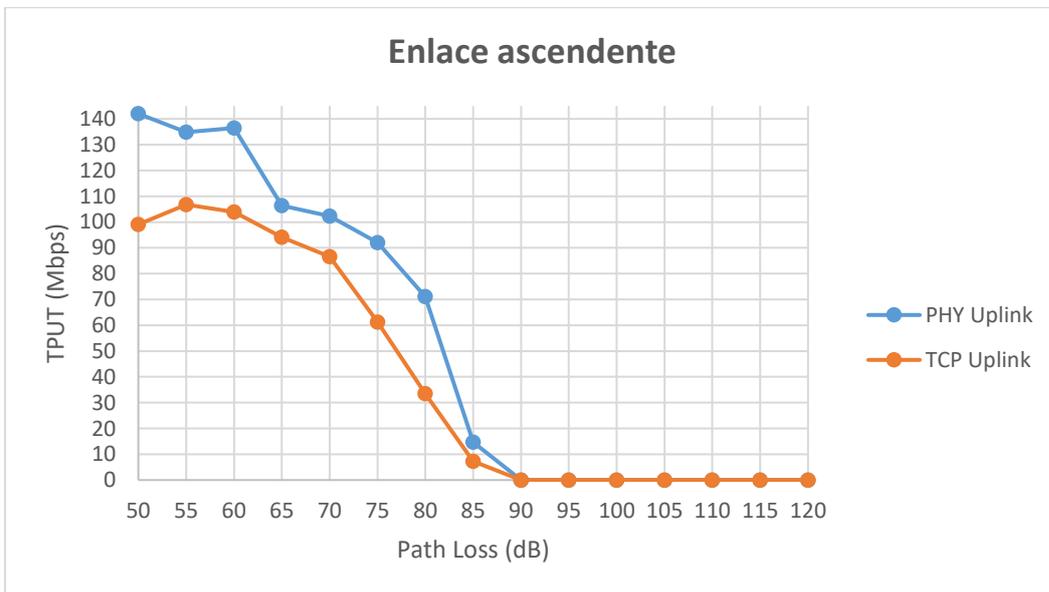


Figura 3.1.3.9 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=9

Vemos que la diferencia es grande con respecto a los niveles de TPUT alcanzados en los casos anteriores, puesto que como se ha dicho antes se está haciendo uso de dos antenas para la comunicación, no obstante, la pendiente de la curva es mayor ya que la caída es más abrupta que para los casos anteriores.

Para el caso en el que se presentan las interferencias correspondientes vemos que la pendiente es mucho mayor que en el último caso, llegando a caer entorno a los 85 dB de Path Loss, por tanto se puede decir que para este caso las interferencias sí que afectan a la curva y por tanto a la transmisión de datos. Esto lo podemos observar el siguiente gráfico como realiza dicho comportamiento para el enlace ascendente.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Uplink (Mbps)	PHY Uplink (Mbps)
50	60	97.03	124.20
55	60	103.53	117.16
60	60	100.83	128.54
65	60	90.59	114.87
70	60	81.86	102.30
75	60	60.32	86.05
80	60	33.11	68.72
85	60	0.00	21.67
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.23 Medidas enlace ascendente con interferencias para MCS=15

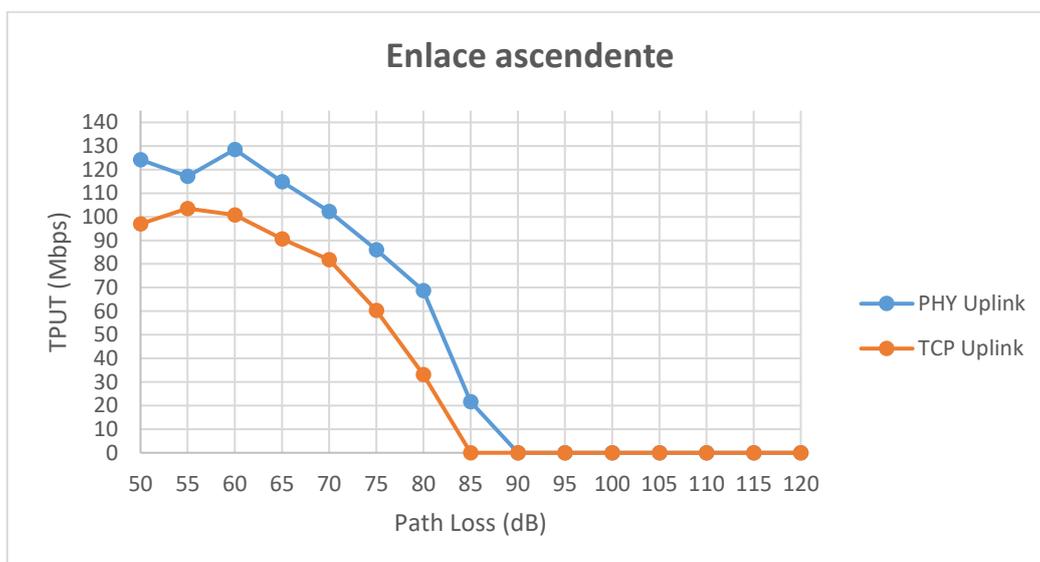


Figura 3.1.3.10 PHY Uplink vs TCP Uplink para MCS=15

En el punto anterior hemos visto el comportamiento de la curva cuando el MCS presenta un valor concreto para el enlace ascendente, ahora en los siguientes puntos se muestra el comportamiento que se produce para el enlace descendente.

Al igual que en el enlace ascendente, el primer caso es cuando se toma un valor de MCS igual a uno, el comportamiento es más estable pero este caso como ya se ha comentado ocurre que el nivel de TPUT es bajo para poder tener una buena comunicación. En este primer caso en comparación con el enlace ascendente alcanzan un poco más de tasa de rendimiento, sin embargo, la caída se produce en el mismo punto que en el caso anterior. A continuación, se muestra las medidas obtenidas en el caso del enlace descendente cuando no tenemos interferencias configuradas para este escenario.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
75	60	10.32	13.00
80	60	10.34	13.00
85	60	10.30	13.00
90	60	10.28	13.00
95	60	6.78	13.00
100	60	2.81	13.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.23 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=1

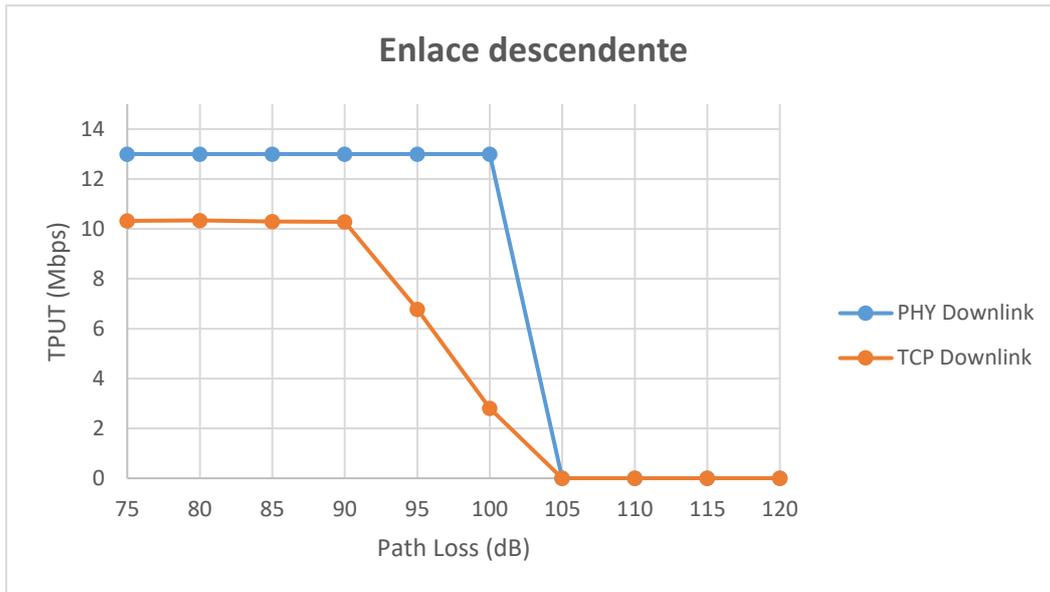


Figura 3.1.3.11 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=1

Para el caso en el que se interfiere la señal la diferencia respecto a la gráfica anterior es mínima puesto que de los tres casos que tenemos, este es el peor de los casos ya sea que tengamos o no interferencias, por ello apenas hay una diferencia en el comportamiento de la curva. Sin embargo como es obvio el gráfico con interferencia va a presentar los valores menores aunque sea pequeña la diferencia.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
75	60	10.31	13.00
80	60	10.34	13.00
85	60	10.24	13.00
90	60	10.22	13.00
95	60	5.42	13.00
100	60	2.34	13.00
105	60	0.00	13.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.24 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=1

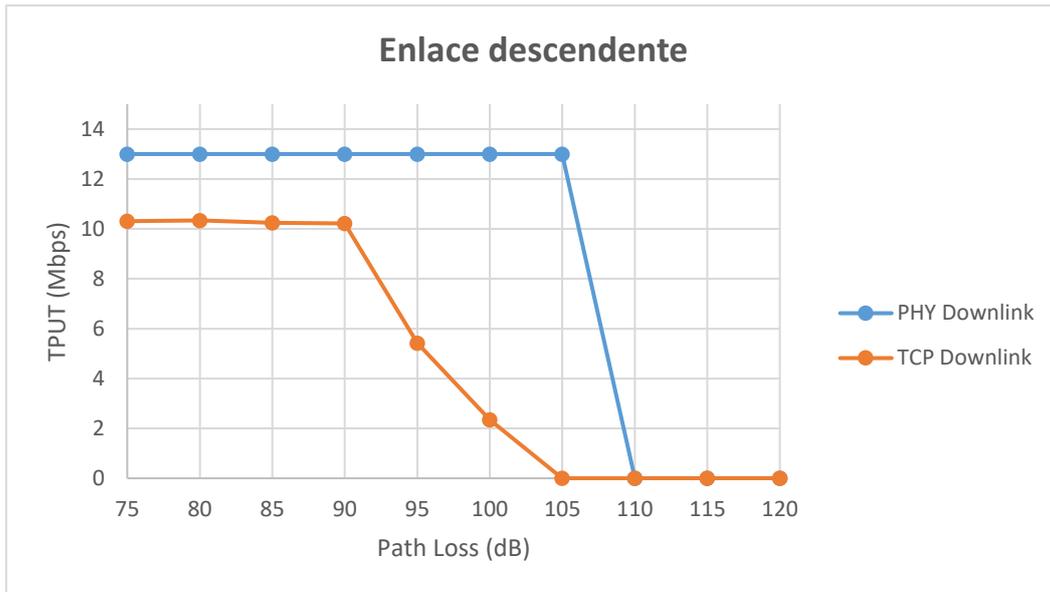


Figura 3.1.3.12 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=1

El siguiente caso se da cuando el MCS es igual a nueve, este caso es un punto intermedio entre el valor mínimo y máximo. Es un valor adecuado para obtener una buena comunicación ya que ofrece un rendimiento aceptable, sin embargo, ocurre lo mismo que el terminal Samsung S5, que para el caso del enlace descendente las interferencias afectan mucho más al enlace descendente que al enlace ascendente

Se alcanza un valor máximo de tasa de rendimiento de 20.19 Mbps y el punto en el que la curva llega a caer es entorno a los 100 dB de Path Loss. Además, se observa que en este caso en el que no tenemos interferencias los valores de la medida ideal no se alejan mucho con respecto a los valores de la medida real.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
60	60	19.86	26.00
65	60	19.99	26.00
70	60	19.91	26.00
75	60	20.19	26.00
80	60	20.14	26.00
85	60	19.49	26.00
90	60	19.42	26.00
95	60	5.50	26.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00

Final averaged measurement result			
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.25 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=9

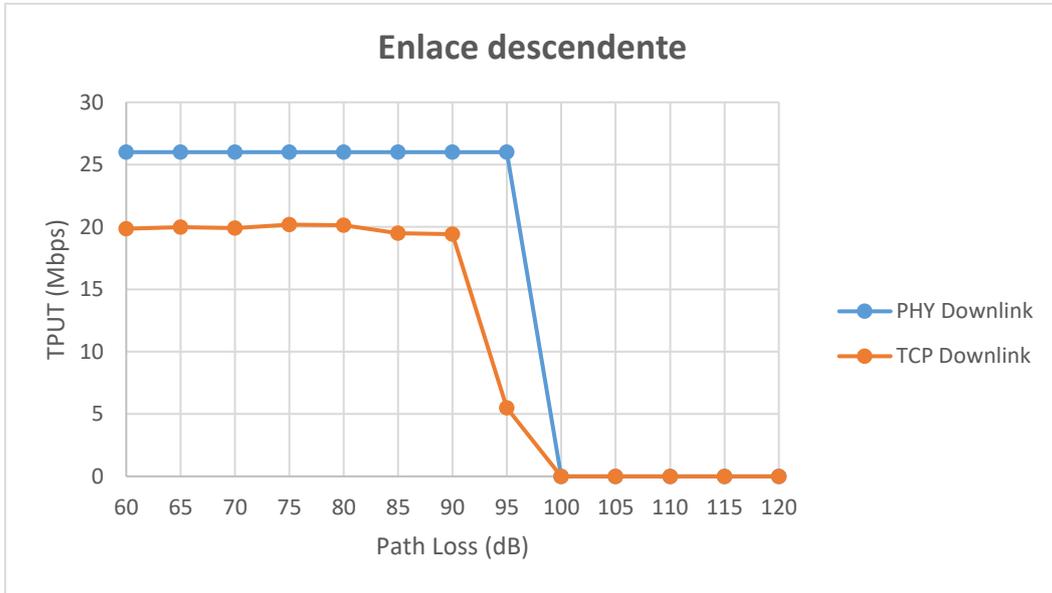


Figura 3.1.3.13 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=9

En el caso de MCS=9 con interferencias ocurre todo lo contrario que en el caso anterior, puesto que como se muestra en la siguiente gráfica se aprecia una gran diferencia entre la curva ideal frente a la curva real, se puede apreciar que las interferencias introducidas juegan un papel importante porque se observa que al inicio de las medidas cae los 20 Mbps a los 10Mbps en un rango pequeño. Luego se aprecia una pequeña subida para alcanzar los 16.54 Mbps y finalmente cae entorno a los 95 dB de Path Loss.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
60	60	19.87	26.00
65	60	17.28	26.00
70	60	13.03	26.00
75	60	10.01	26.00
80	60	16.54	26.00
85	60	10.49	26.00
90	60	8.69	26.00

Final averaged measurement result			
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.26 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=9

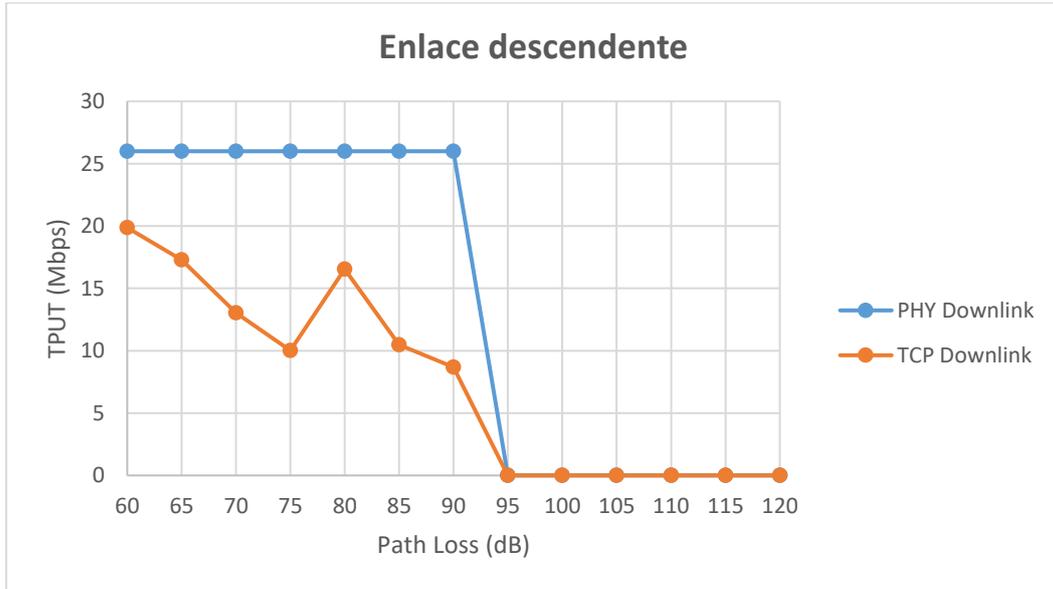


Figura 3.1.3.14 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=9

Por último, tenemos el caso en el que el MCS=1, para el caso en el que no presenta interferencias ocurre todo lo contrario que ocurría en el caso en el que el MCS=1 la curvas de la medida ideal y real se diferencian mucho llegando a tener una diferencia de 44.83 Mbps y se puede apreciar claramente que la curva cae mucho antes que en los dos casos anteriores, en este caso la caída de la curva se produce entorno a los 80 dB de Path Loss. A continuación, se muestra las medidas en este caso sin ningún tipo de interferencia.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	84.15	130.00
55	60	85.17	130.00
60	60	84.05	130.00
65	60	82.85	130.00
70	60	79.57	130.00
75	60	55.53	130.00
80	60	0.00	130.00
85	60	0.00	0.00
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.27 Medidas enlace descendente sin interferencias para MCS=15

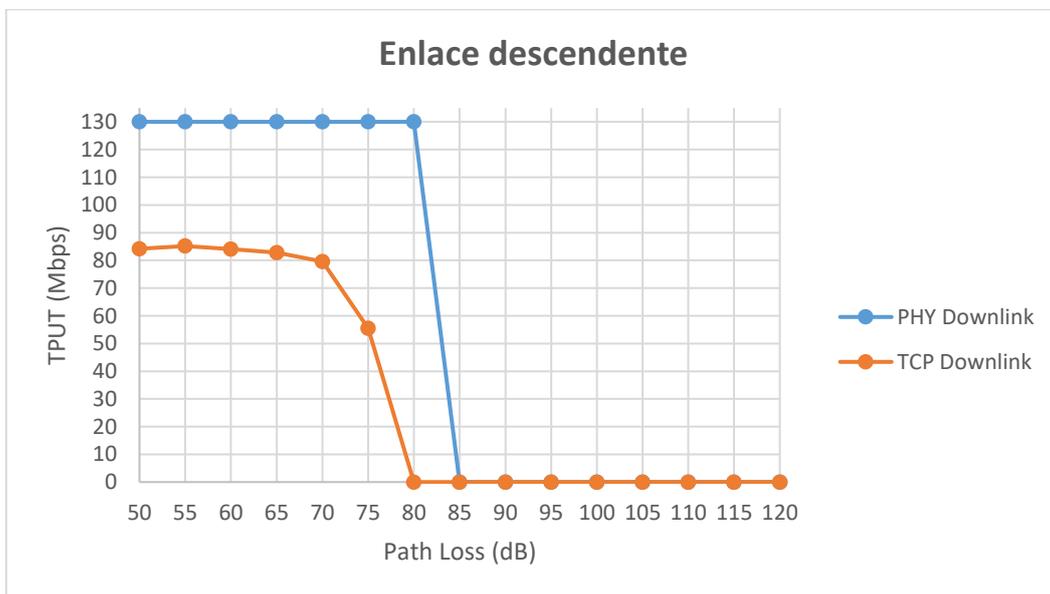


Figura 3.1.3.15 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=15

Para el caso en el que si tenemos interferencias vemos que la curva llega a alcanzar un máximo mayor que en el caso en el que no teníamos interferencias, sin embargo, aunque haya alcanzado un mayor máximo vemos que la curva cae mucho antes y por tanto presenta una pendiente más elevada lo cual hace que dicho comportamiento sea normal

puesto que se han introducido interferencias. El hecho de haber alcanzado un pico máximo mayor que en el caso anterior puede ocurrir perfectamente puesto que quizá ha habido un momento en el que el entorno presentaba unas características optimas a pesar de presentar interferencias. A continuación, se muestra el gráfico en el que se puede observar el comportamiento descrito en este caso.

Final averaged measurement result			
Path Loss (dB)	Time (s)	Downlink (Mbps)	PHY Downlink (Mbps)
50	60	84.41	130.00
55	60	87.10	130.00
60	60	86.28	130.00
65	60	64.12	130.00
70	60	55.30	130.00
75	60	32.21	130.00
80	60	0.00	130.00
85	60	0.00	0.00
90	60	0.00	0.00
95	60	0.00	0.00
100	60	0.00	0.00
105	60	0.00	0.00
110	60	0.00	0.00
115	60	0.00	0.00
120	60	0.00	0.00

Tabla 3.28 Medidas enlace descendente con interferencias para MCS=15

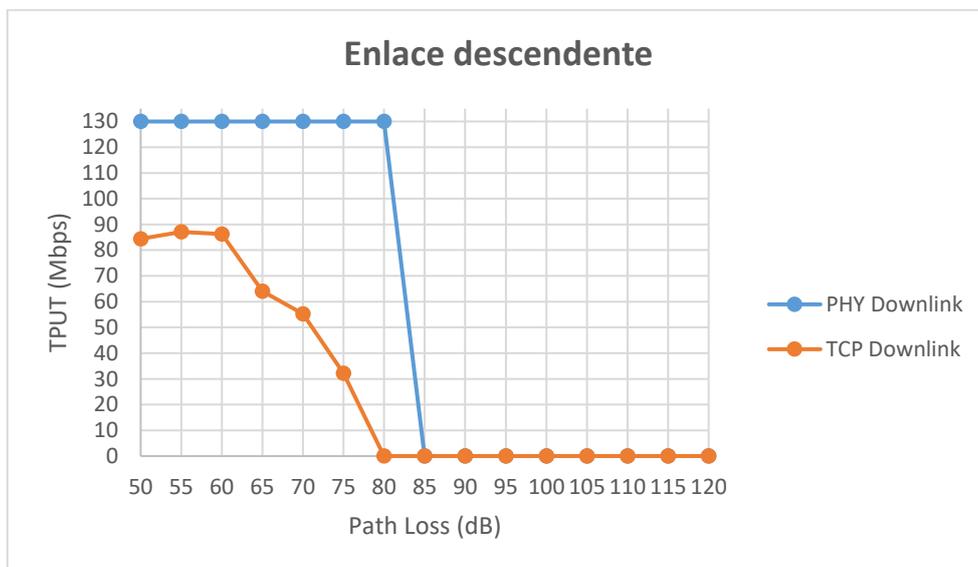


Figura 3.1.3.15 PHY Downlink vs TCP Downlink para MCS=15

3.2 Interpolación lineal

En este punto del proyecto se va a realizar una interpolación lineal con los datos que se han obtenido en apartados anterior para tener en cuenta que valores toman en ciertos puntos de interés.

Lo primero de todo es definir lo que es y para qué sirve la interpolación, este concepto es muy conocido en cualquier ámbito científico. Podemos decir que el proceso de interpolación es un método utilizado para obtener información que no es conocida dentro de un rango de medidas, es muy útil puesto que se podría realizar un estudio y nuevas medidas para obtener el dato de interés, sin embargo, esto dependiendo del tipo de medida del que se trate puede generar un mayor coste, de ahí que gracias a este método podamos obtener un dato desconocido a partir del rango de datos conocidos.

Existen diferentes tipos de interpolación, según la unidad o medida que queramos hacer escogeremos una u otra, en nuestro caso para los datos medidos hemos decidido hacer una interpolación lineal, la fórmula que presenta este tipo de interpolación y que se ha usado para los cálculos ha sido la siguiente:

$$x = x_0 + \frac{x_1 - x_0}{y_1 - y_0} (y - y_0)$$

Donde:

x: Es el valor a calcular

x₀: Primer valor conocido del eje X.

x₁: Segundo valor conocido del eje X.

y₀: Primer valor conocido del eje Y.

y₁: Segundo valor conocido del eje Y

A partir de esta fórmula se va a calcular la medida que presenta el valor al 70% y al 30% de la curva tanto en el caso del enlace ascendente como en el caso del enlace descendente con y sin interferencias, de esta manera podemos realizar un análisis más exhaustivo del comportamiento de la curva para cada caso. También con esos datos conocidos se calculará que diferencia presentan en esos puntos en dB para comparar también los gráficos con y sin interferencias.

3.2.1 Samsung S5 vs Xiaomi Mi Mix 3 5G MCS Auto

Al igual que en los apartados anteriores vamos a realizar las medidas primero cuando se ha configurado en modo Auto el MCS, para el caso del enlace ascendente se muestra los resultados obtenidos.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	72,30	90,00	95,00	18,46	18,46	85,00	90,00	52,11	27,63
Con interferencia	72,21	85,00	95,00	49,95	16,15	80,00	90,00	58,32	26,56

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
50,61	85,22	21,69	93,24
50,61	84,60	21,69	94,20
Δ70%	0,59	Δ30%	-0,96

Tabla 3.2.1.1 Medidas enlace ascendente para MCS Auto Samsung S5

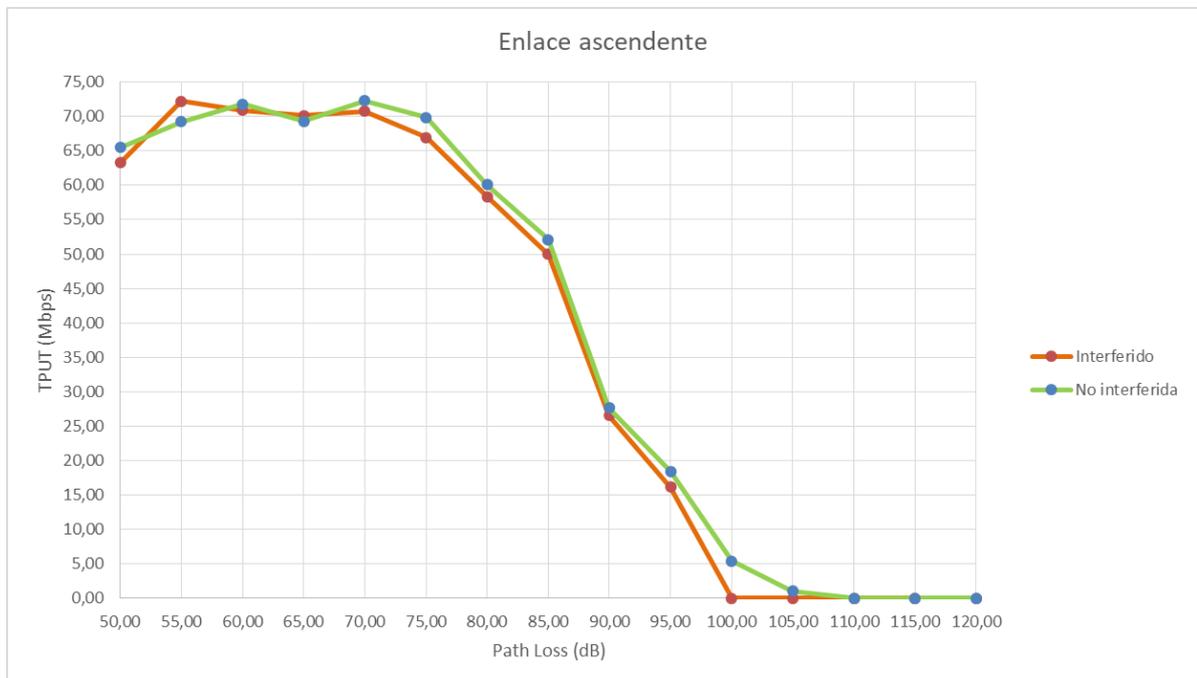


Figura 3.2.1.1 Medidas interpolación MCS Auto

Para este primer caso vemos que el comportamiento de las dos gráficas es muy similar en el caso del enlace ascendente, el valor que se ha obtenido al 70% es del 50.61 Mbps para el caso en el que no presenta interferencias mientras que para el caso en el que

tenemos interferencias se ha obtenido un valor de 50.55 Mbps por tanto la diferencia entre ambas curvas en este punto es insignificante.

Al 30% vemos que la curva con interferencia se encuentra un poco por encima de la que no tiene interferencias, esto puede ocurrir puesto que quizás el entorno y la situación haya sido más óptimo para el caso en el que teníamos interferencias. También destacar que en el enlace ascendente las interferencias no afectan en la misma medida que en el caso del enlace descendente.

Esto último comentado lo podemos apreciar en los datos obtenidos en la tabla siguiente, en la que se observa una mayor diferencia entre la curva interferida y la que no presenta interferencias. Mediante la interpolación realizada podemos ver que al 70% de la curva se obtiene una diferencia de 12.51dB de diferencia y conforme se avanza y ambas curvas dicha diferencia se va reduciendo llegando a alcanzar una diferencia de 4.33dB de diferencia al 30%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	74,45	90,00	95,00	40,98	15,72	85,00	90,00	53,31	40,98
Con interferencia	72,72	75,00	90,00	40,23	17,54	70,00	85,00	66,53	23,73

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
52,12	85,48	22,34	93,69
50,12	72,74	21,82	89,31
Δ70%	12,74	Δ30%	4,38

Tabla 3.2.1.2 Medidas enlace descendente para MCS Auto Samsung S5

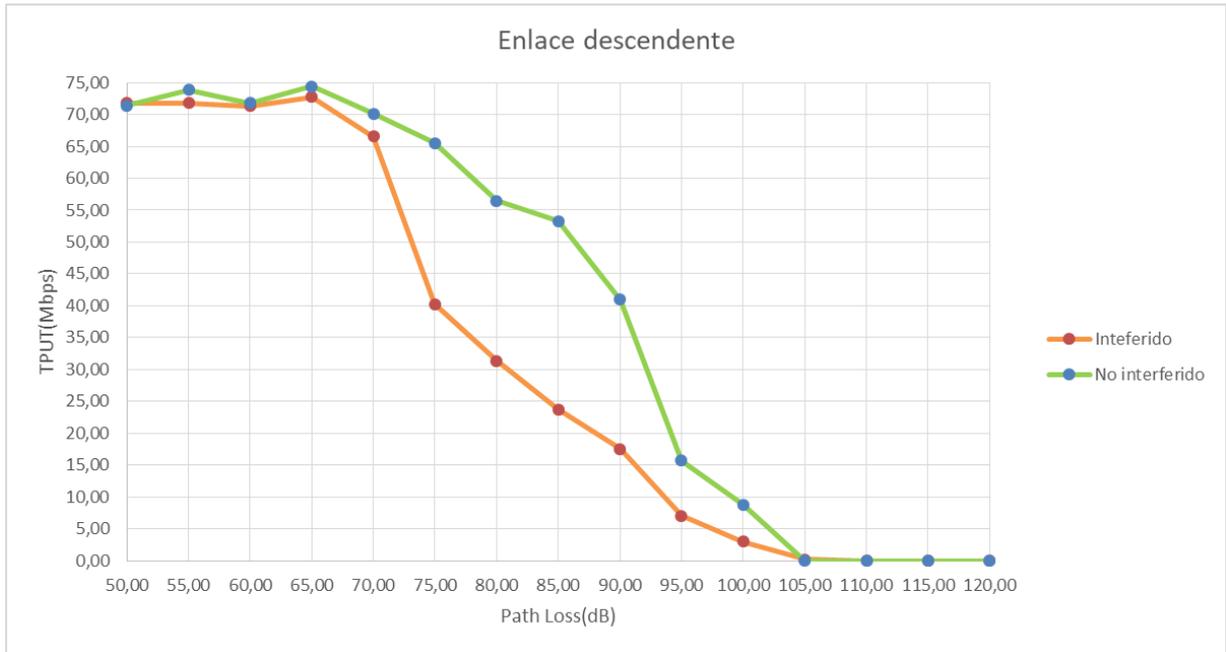


Figura 3.2.1.2 Medidas interpolación MCS Auto Samsung S5

Vamos a realizar el mismo estudio que se ha llevado a cabo para el terminal anterior, la configuración establecida es MCS en modo Auto de tal manera que el terminal se adapte al entorno que se va presentando durante la comunicación tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente.

	TPUT_Max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	102,38	80,00	90,00	60,18	0,00	26,81	85,00	79,64	49,51
Con interferencia	102,89	80,00	90,00	60,08	0,00	24,30	85,00	79,20	49,43

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
71,67	48,61	30,71	86,90
71,67	45,21	30,71	87,86
Δ70%	2,31	Δ30%	-0,96

Tabla 3.2.1.3 Medidas enlace ascendente para MCS Auto

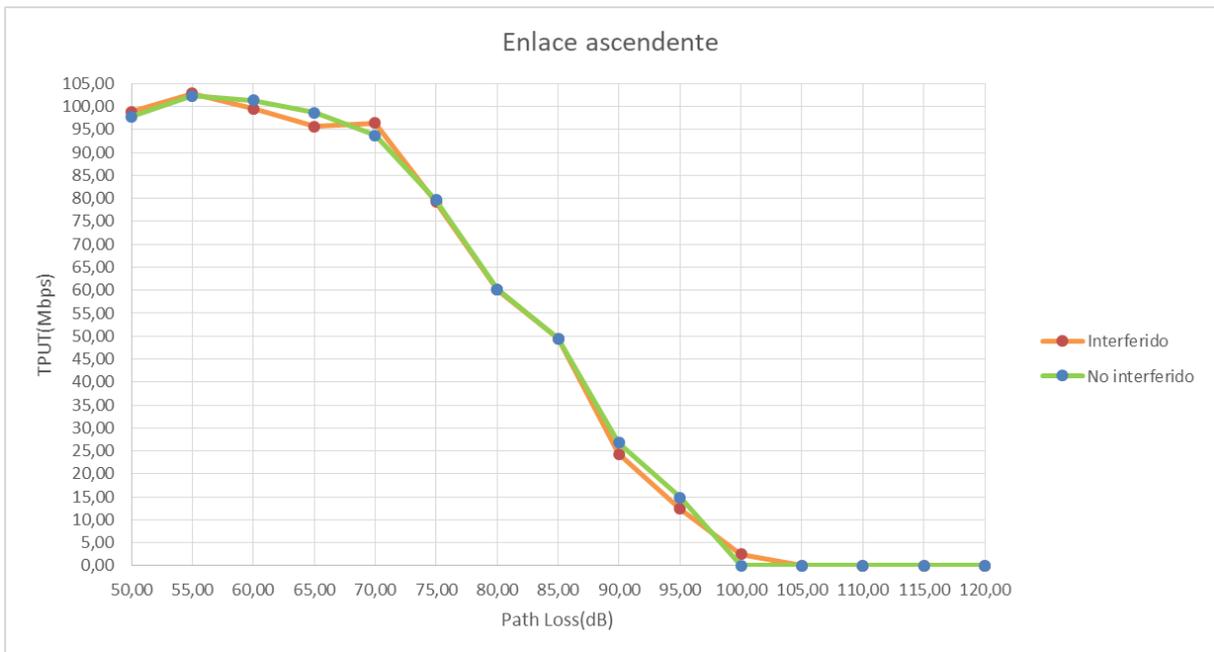


Figura 3.2.1.3 Medidas interpolación MCS Auto

Como se aprecia en el gráfico anterior para el caso del enlace ascendente las curvas prácticamente son iguales, esto es debido a que al estar configurado en modo Auto el valor del MCS en ambos casos va a ir cambiando, dependiendo del entorno en el que se encuentre en cada punto. Vemos que para el caso del 70% la diferencia que se muestra entre ambas curvas es de 2.37 dB y conforme va avanzando vemos que en el punto de caída al 30% llega a estar ligeramente por debajo la curva no interferida de ahí que obtengamos un valor negativo en dicho punto, esto puede ocurrir debido a que al tener un comportamiento similar, habrá algún punto en el que el entorno de la curva interferida sea mejor que el que no está interferido y por ello en ese punto se encuentre ligeramente por encima.

En el caso del enlace descendente ocurre todo lo contrario al caso anterior, vemos que la diferencia entre la curva interferida y la no interferida va aumentando conforme aumentamos el valor de Path Loss. Con esto queda nuevamente demostrado que las interferencias afectan mucho más en el caso del enlace descendente que en el caso del enlace ascendente.

Los efectos de las interferencias introducidas se aprecian sobre todo al inicio de la curva donde vemos que la curva interferida se ve afectada, llegando a presentar una diferencia al 70% de 13.77 dB frente a los 6.77 dB que se observan al 30%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	86,88	80,00	95,00	55,52	9,00	75,00	90,00	69,41	31,52
Con interferencia	84,73	65,00	85,00	57,15	21,68	60,00	80,00	84,40	25,65

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
60,82	78,09	26,06	91,21
60,82	64,33	25,42	84,44
Δ70%	13,77	Δ30%	6,77

Tabla 3.2.1.4 Medidas enlace descendente para MCS Auto

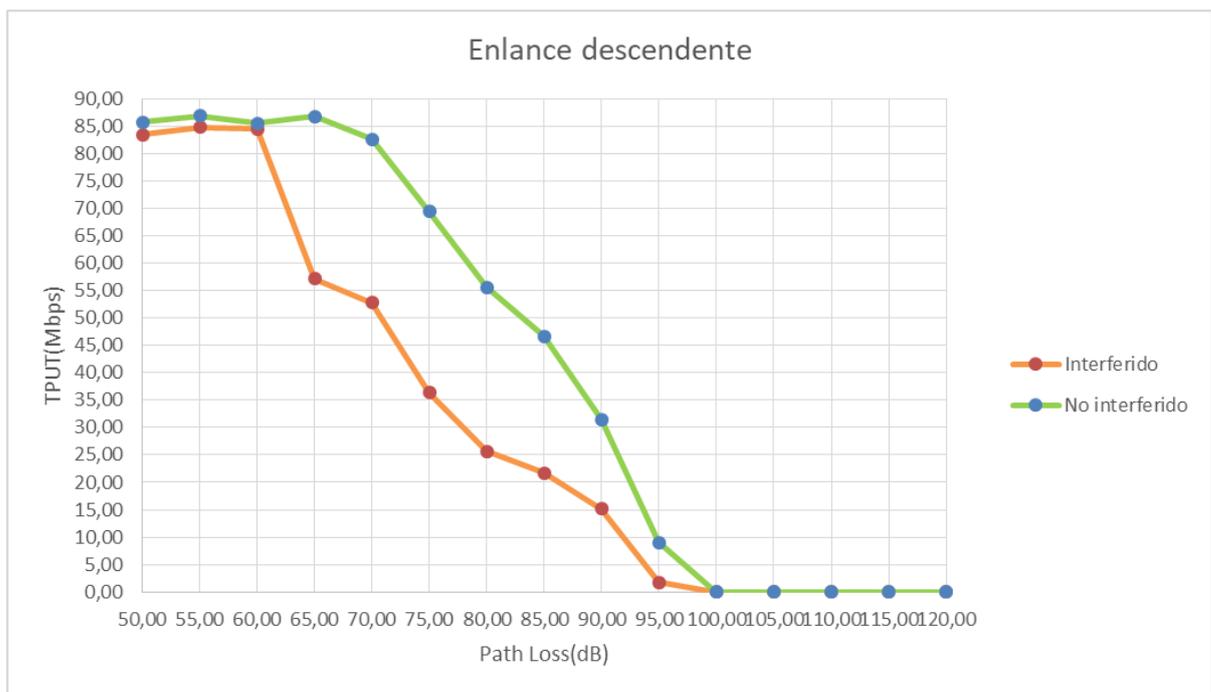


Figura 3.2.1.4 Medidas interpolación MCS Auto

A continuación, vamos a realizar una comparación entre ambos terminales para ver el comportamiento que presentan para este caso y de esta manera ver que terminal soporta mejor las interferencias introducidas.

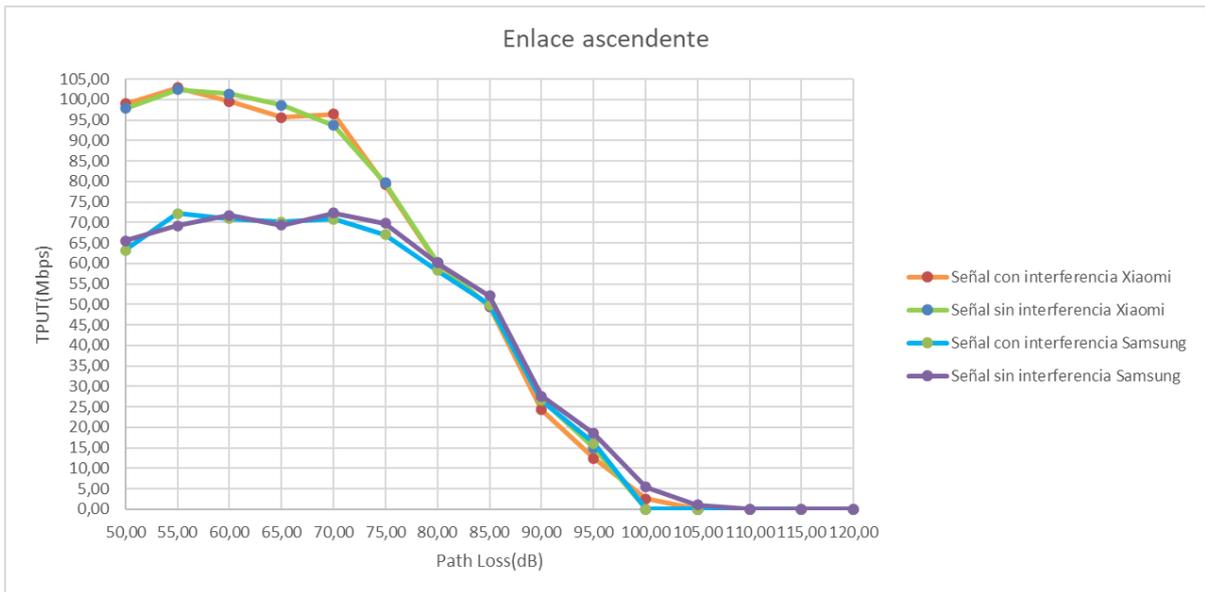


Figura 3.2.1.5 Comparación terminal en modo Auto para enlace ascendente

La gráfica anterior se corresponde para el caso del enlace ascendente en el que se observa que soporta mejor las interferencias el dispositivo Xiaomi tanto en el caso que no tenemos interferencias como para el caso en el que se introduce dichas interferencias. Conforme aumentamos el valor de Path Loss vemos que el comportamiento de las 4 gráficas es muy similar, incluso se puede apreciar que para valores muy bajos de MCS tiene mayor rendimiento el dispositivo Samsung, no obstante, la diferencia es muy pequeña.

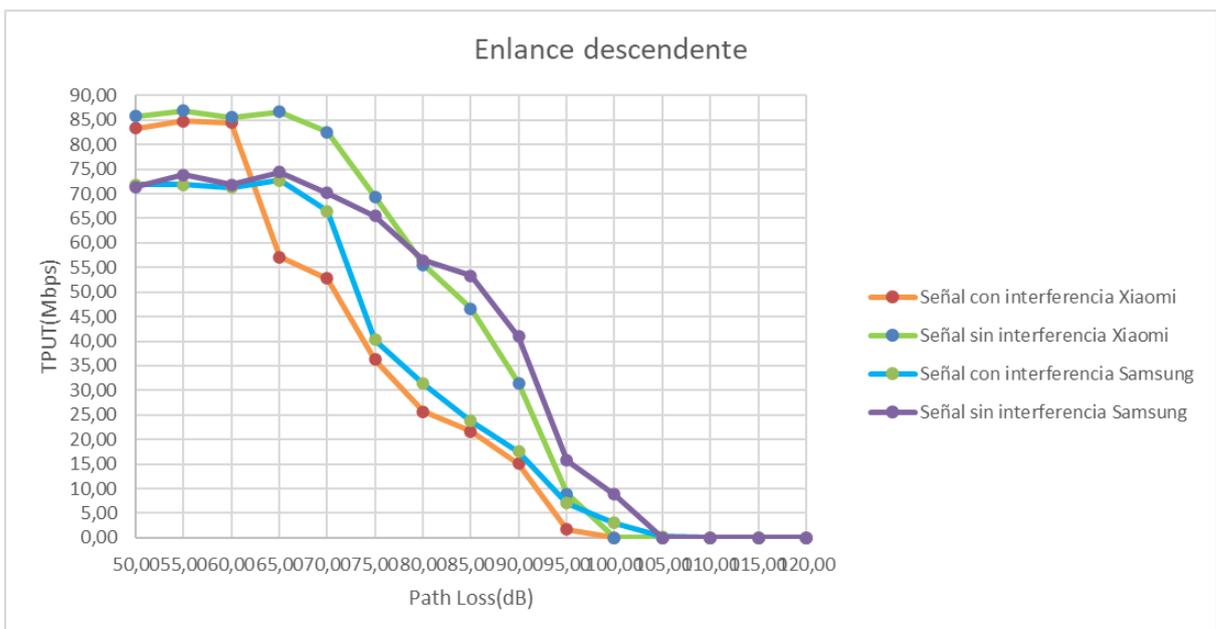


Figura 3.2.1.6 Comparación terminal en modo Auto para enlace descendente

En el caso del enlace descendente vemos que en términos generales muestra una mejor respuesta el Samsung S5, sobre todo esto se ve reflejado en el caso en el que presentan ambos dispositivos, vemos claramente que la curva del Xiaomi está por debajo de la curva del otro dispositivo. Por tanto, podemos decir que para el enlace ascendente es mas adecuado utilizar el dispositivo mas moderno mientras que para el caso del enlace descendente vemos que ofrece mejor respuesta el terminal Samsung.

Interpolación con MCS 1, MCS 9 y MCS 15

En este punto vamos a realizar el estudio de interpolación para los tres casos que se han escogido para MCS 1, MCS9 y MCS 15 en este caso tendremos que hacer el estudio tanto en el enlace ascendente como descendente.

Para el primer valor de MCS=1 en enlace ascendente ocurre un comportamiento similar al primer caso que teníamos cuando estaba configurado el MCS en modo Auto las curvas presentan un comportamiento similar aunque en este caso la diferencia aumenta un poco más con respecto al caso anterior, en la siguiente tabla se muestra los valores calculados al 30% y al 70% de la curva para este caso.

	TPUT_max	Path Loss Inferior	TPUT Inferior	Path Loss Superior	TPUT Superior
Sin interferencia	11,48	100,00	2,54	95,00	9,06
Con interferencia	11,49	95,00	3,31	90,00	9,48

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
8,04	95,79	3,45	99,30
8,05	91,17	3,45	96,05
Δ70%	4,62	Δ30%	3,25

Tabla 3.2.1.5 Medidas enlace ascendente Samsung S5 para MCS=1

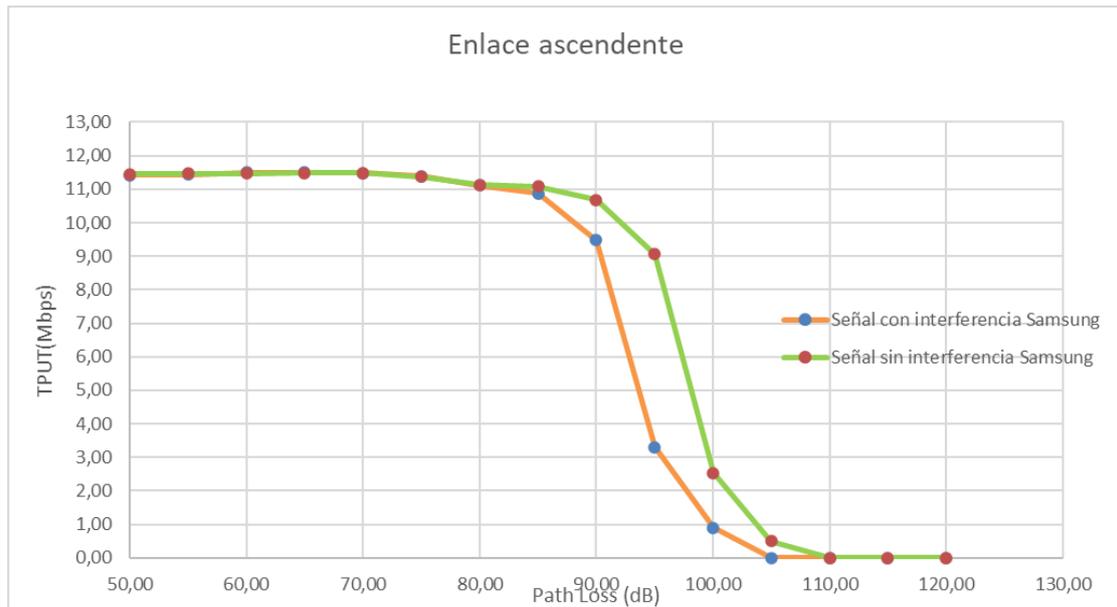


Figura 3.2.1.7 Medidas interpolación MCS=1

Sin embargo para el caso del enlace descendente vemos que la diferencia entre las señales es más notable, llegando a alcanzar cerca de la caída entorno al 30% una diferencia de 7.11 dB. Como se aprecia en el gráfico el comportamiento que presenta la curva no interferida es más lineal, todo lo contrario a lo que ocurre con la curva que presenta interferencias cuyo comportamiento se puede ver que es muy inestable.

	TPUT_max	Path Loss Inferior_1	Path Loss Inferior_2	TPUT Inferior_1	TPUT Inferior_2	Path Loss Superior_r_1	Path Loss Superior_r_2	TPUT Superior_r_1	TPUT Superior_r_2
Sin interferencia	10,31	95,00	105,00	6,32	0,22	90,00	100,00	10,24	3,16
Con interferencia	10,24	95,00	95,00	0,36	0,36	90,00	90,00	7,19	7,19

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
7,22	93,85	3,09	100,12
7,22	89,98	3,09	93,01
Δ70%	3,87	Δ30%	7,11

Tabla 3.2.1.6 Medidas enlace descendente Samsung S5 para MCS=1

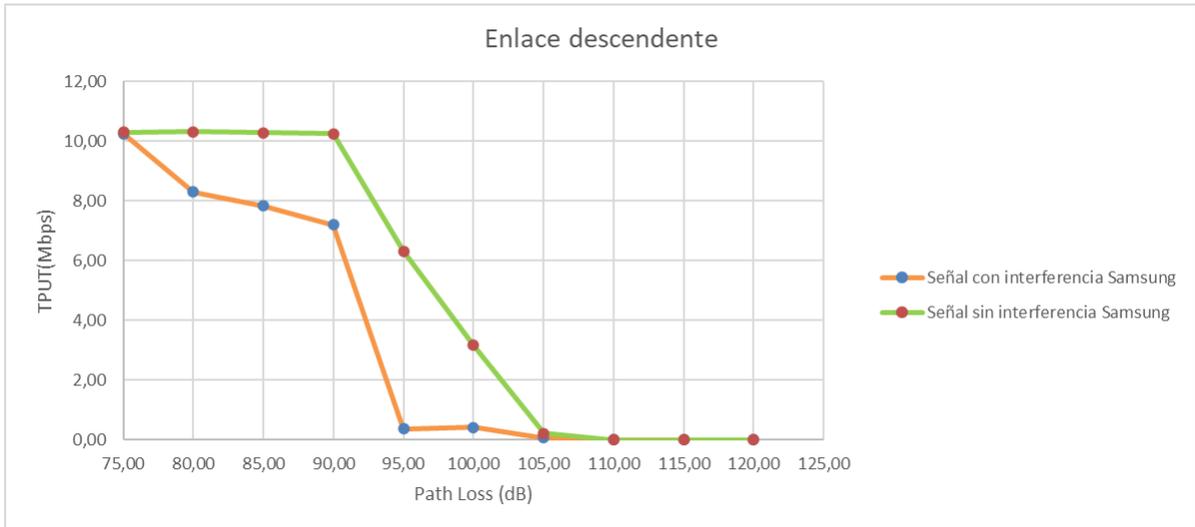


Figura 3.2.1.8 Medidas interpolación Samsung S5 MCS=1

Para el caso en el que el MCS es igual a nueve podemos ver que en el caso del enlace ascendente la diferencia tanto al 30% como al 70% es mínima llegando a tener un comportamiento muy similar en ambas curvas, se puede decir que con un MCS=9 la comunicación que se tiene es muy buena incluso para el caso en el que se presentan interferencias. Esto también es debido a lo que se ha comentado en apartados anteriores que la tasa de transmisión aumenta con respecto al caso en el que el MCS era igual a uno.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	22,93	100,00	100,00	2,70	2,70	95,00	95,00	19,40	19,40
Con interferencia	23,06	100,00	100,00	2,23	2,23	95,00	95,00	17,53	17,53

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
16,05	96,00	6,88	98,75
16,05	95,48	6,88	98,32
Δ70%	0,52	Δ30%	0,43

Tabla 3.2.1.7 Medidas enlace ascendente Samsung S5 para MCS=9

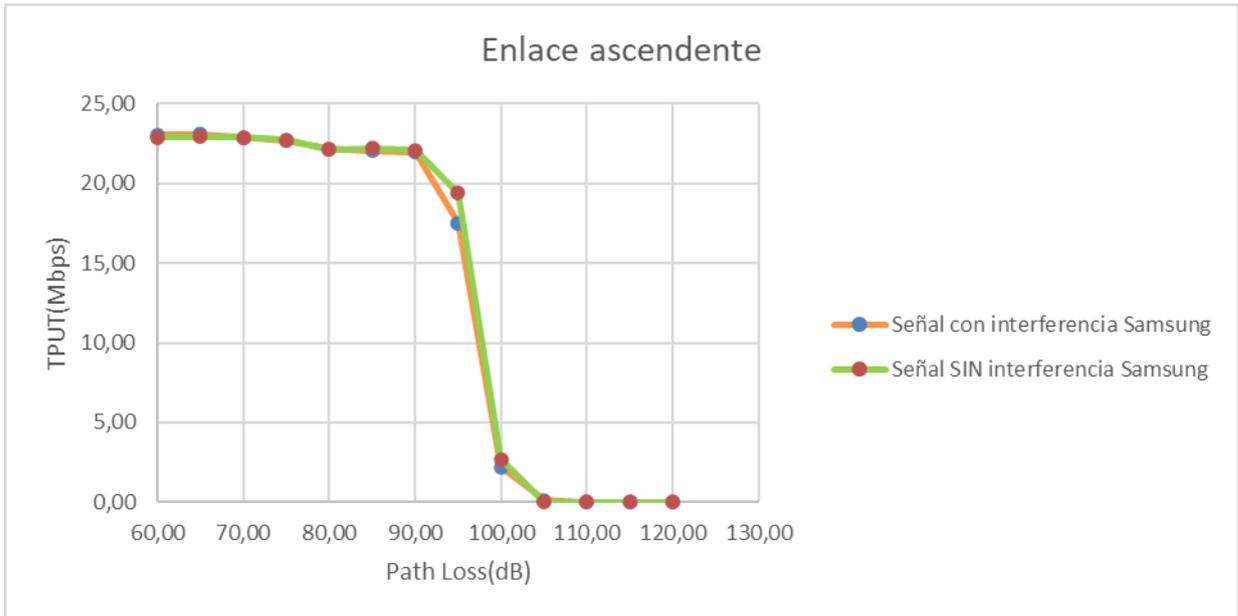


Figura 3.2.1.9 Medidas interpolación Samsung MCS=9

En el caso del enlace descendente, se puede observar que al inicio de las medidas la curva interferida se encuentra por encima de la curva no interferida pero la diferencia es pequeña de ahí que para el caso del 70% la diferencia con respecto al Path Loss es de 1.41 dB. Conforme se realizan más medidas vemos que la señal interferida tiene mayor pendiente que la señal no interferida y por tanto la caída es más abrupta, de ahí que la diferencia vaya aumentando y para el caso del 30% la diferencia llega a los 5.90 dB.

	TPUT_max	Path Loss Inferior_1	Path Loss Inferior_2	TPUT Inferior_1	TPUT Inferior_2	Path Loss Superior_r_1	Path Loss Superior_r_2	TPUT Superior_r_1	TPUT Superior_r_2
Sin interferencia	20,17	95,00	100,00	11,79	5,85	90,00	95,00	19,07	11,79
Con interferencia	21,71	95,00	95,00	3,87	3,87	90,00	90,00	20,89	20,89

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
14,12	93,40	6,05	99,84
14,12	91,99	6,05	93,94
Δ70%	1,41	Δ30%	5,90

Tabla 3.2.1.8 Medidas enlace descendente Samsung S5 para MCS=9

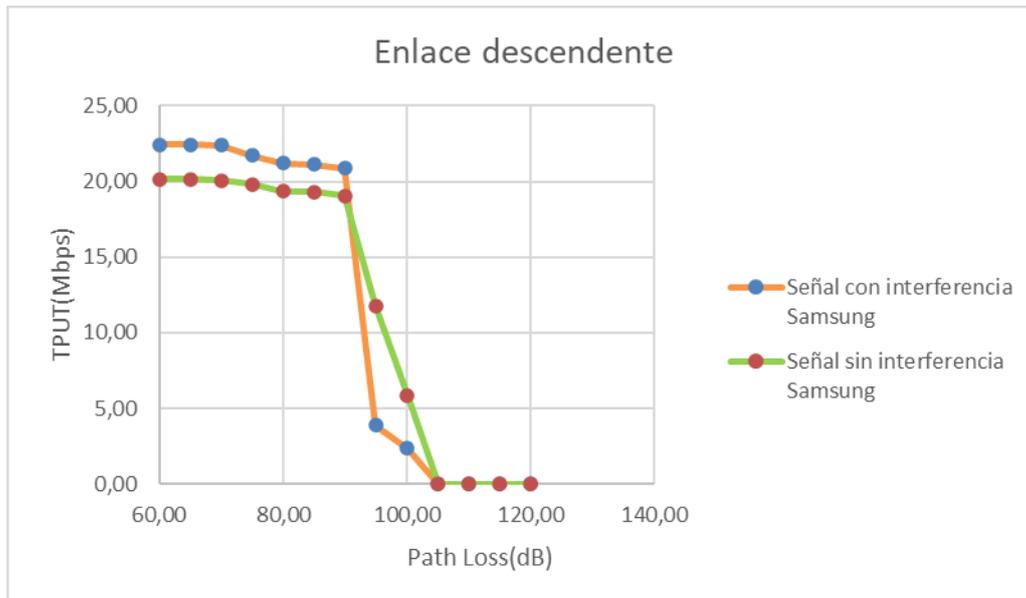


Figura 3.2.1.10 Medidas interpolación Samsung S5 MCS=9

Para el último caso en el que el valor del MCS es igual a quince vemos que el comportamiento en el caso del enlace descendente es muy similar para las dos curvas, esto es debido a que en este caso se ha llegado a utilizar dos antenas para la comunicación y por tanto nos ofrece una buena calidad en la transmisión de datos de ahí que tanto para el 30% como para el 70% las diferencias entre ellas sean muy pequeña. A continuación se muestra las medidas obtenidas para este caso en concreto.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Con interferencia	67,27	75,00	80,00	28,52	4,03	70,00	75,00	57,19	28,52
Sin interferencia	70,68	75,00	80,00	35,42	4,81	70,00	75,00	67,00	35,42

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
49,48	71,34	21,20	76,49
49,48	72,77	21,20	78,16
Δ70%	1,43	Δ30%	1,67

Tabla 3.2.1.9 Medidas enlace ascendente Samsung S5 para MCS=15

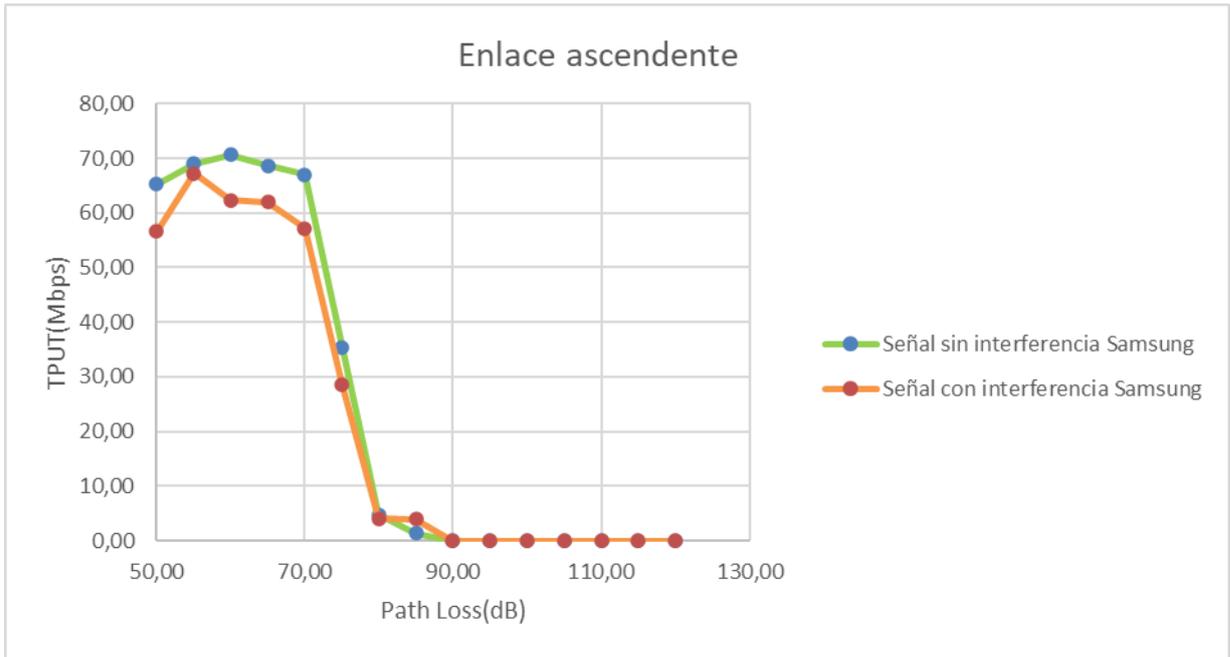


Figura 3.2.1.11 Medidas interpolación Samsung S5 MCS=15

Para el caso del enlace descendente ocurre un comportamiento similar que en el caso anterior, puesto que con un MCS alto la señales no se ven tan afectadas por las interferencias introducidas, no obstante si observamos la siguiente tabla, se aprecia un pequeño aumento con respecto al caso del enlace ascendente, tanto para el caso del 70% como el caso del 30%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior_1	Path Loss Inferior_2	TPUT Inferior_1	TPUT Inferior_2	Path Loss Superior_r_1	Path Loss Superior_r_2	TPUT Superior_r_1	TPUT Superior_r_2
Sin interferencia	74,62	80,00	85,00	26,64	0,00	75,00	80,00	52,60	26,64
Con interferencia	79,42	75,00	80,00	47,43	18,47	70,00	75,00	66,18	47,43

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
52,24	75,07	22,39	80,80
52,24	73,72	22,39	79,42
Δ70%	1,35	Δ30%	1,38

Tabla 3.2.1.10 Medidas enlace descendente Samsung S5 para MCS=15

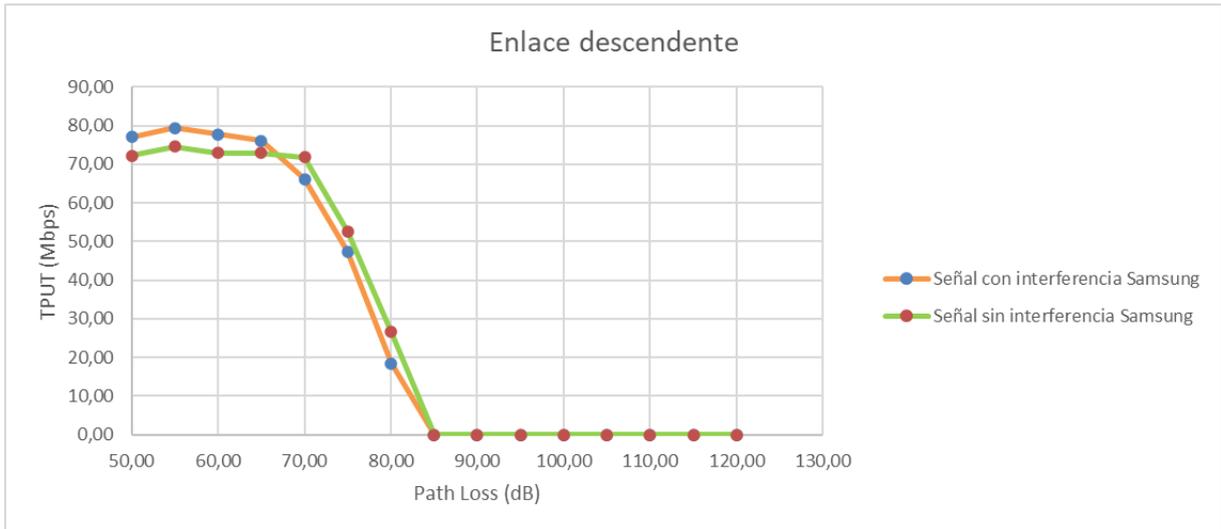


Figura 3.2.1.12 Medidas interpolación Samsung S5 MCS=15

Al igual que para el anterior dispositivo se va a realizar la interpolación para tres valores concretos para el dispositivo de Xiaomi tanto para el enlace ascendente como para el enlace descendente, en alguno de estos valores el comportamiento se verá más o menos afectada dependiendo tanto del entorno, enlace y valor de MCS.

A continuación, se muestra los resultados obtenidos para un MCS=1 para el caso del enlace ascendente que ocurre como en el caso anterior con el otro terminal móvil, en el que ambas curvas presentan un comportamiento parecido conforme aumentamos el valor de Path Loss alcanzando una diferencia de 1.08 dB al 70% y conforme las medidas avanzan dicho valor se ve un pequeño aumento llegando a tener 2.49 dB cuando se alcanza el 30%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior	TPUT Inferior	Path Loss Superior	TPUT Superior
Sin interferencia	9,94	100,00	1,65	95,00	7,78
Con interferencia	9,89	95,00	6,73	90,00	9,56

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
6,96	95,67	2,98	98,91
6,96	94,59	2,98	96,43
Δ70%	1,08	Δ30%	2,49

Tabla 3.2.1.11 Medidas enlace ascendente Xiaomi para MCS=1

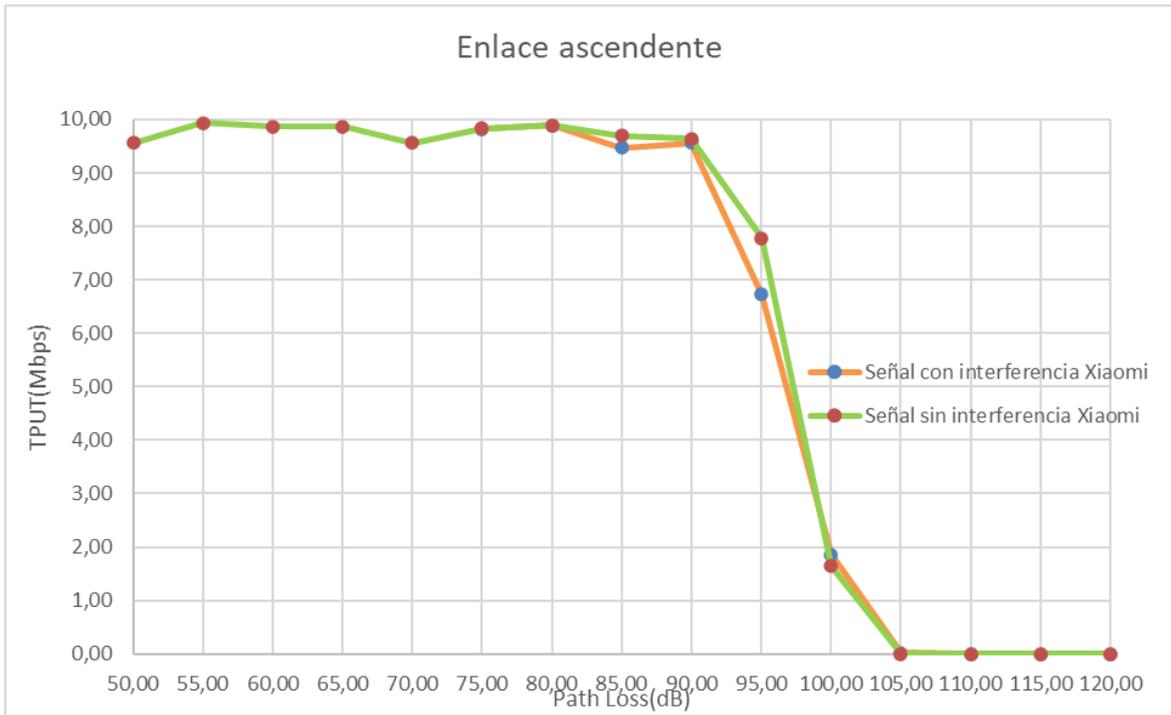


Figura 3.2.1.13 Medidas interpolación Xiaomi MCS=1

A continuación tenemos el caso del enlace descendente el cual podemos observar que con este valor de MCS tampoco se ve diferencia entre ambas curvas, esto es debido a que para este caso tampoco se transmite gran cantidad de información y este caso se da en situaciones en el que la comunicación está sometida a una situación extrema en la que está al límite de finalizar la transferencia de datos debido a la poca tasa de rendimiento que presenta. En la tabla siguiente se muestra los valores calculados tanto al 30% como al 70%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	10,34	95,00	105,00	6,78	0,00	90,00	100,00	10,28	2,81
Con interferencia	10,34	95,00	95,00	5,42	5,42	90,00	90,00	10,22	10,22

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
7,24	94,35	3,10	99,48
7,24	93,11	3,10	101,38
Δ70%	1,24	Δ30%	-1,89

Tabla 3.2.1.12 Medidas enlace descendente Xiaomi para MCS=1

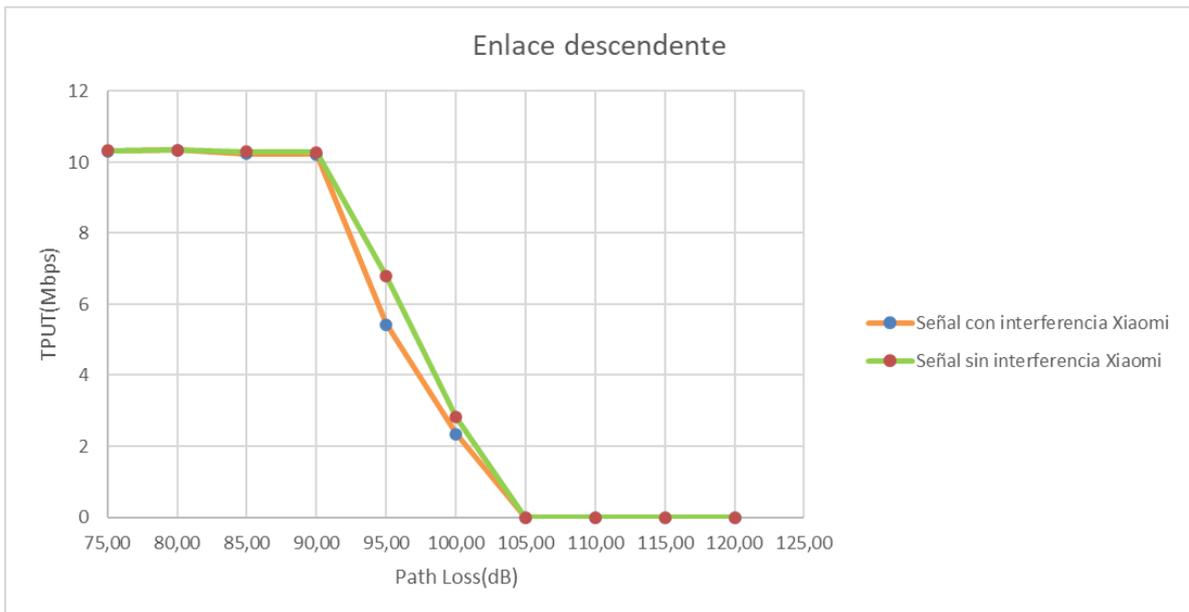


Figura 3.2.1.14 Medidas interpolación Xiaomi MCS=1

El segundo valor que se da para este caso es cuando el MCS=9 vemos que al inicio de la medida se aprecia una diferencia entre la curva interferida y la no interferida en este caso conforme vamos aumentando el Path Loss la diferencia entre ambas curvas se va deteriorando hasta encontrarse en el mismo punto durante cierto tiempo y llegando a estar en ciertos puntos la curva sin interferencia por debajo de la que presenta interferencias.

	TPUT_max	Path Loss Inferior_1	Path Loss Inferior_2	TPUT Inferior_1	TPUT Inferior_2	Path Loss Superior_r_1	Path Loss Superior_r_2	TPUT Superior_r_1	TPUT Superior_r_2
Sin interferencia	48,92	90,00	95,00	23,88	13,80	85,00	90,00	38,40	23,88
Con interferencia	40,58	90,00	95,00	19,83	11,99	85,00	90,00	32,46	19,83

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
34,24	86,43	14,68	94,57
34,24	84,30	14,68	94,40
Δ70%	2,14	Δ30%	0,17

Tabla 3.2.1.13 Medidas enlace ascendente Xiaomi para MCS=9

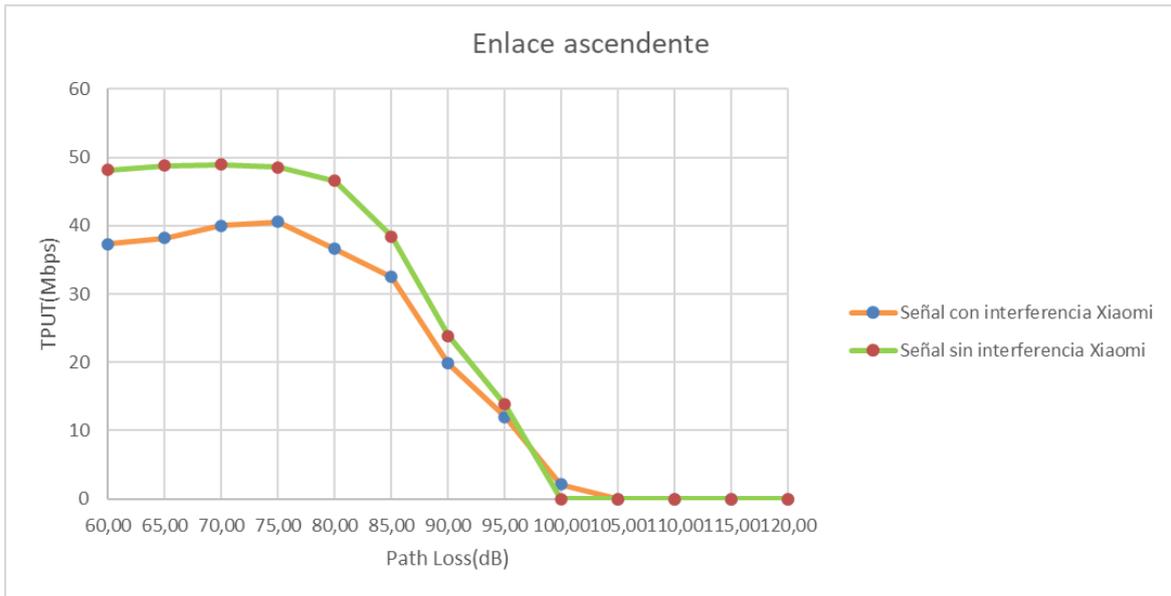


Figura 3.2.1.15 Medidas interpolación MCS=9

Para el caso del enlace descendente, vemos que las interferencias afectan mucho más en este enlace y esto se ve reflejado en la gran diferencia que se aprecia cuando la curva cae al 70%, vemos que el valor en este punto tiene una diferencia de 7.15 dB, por otro lado conforme avanzamos en el gráfico vemos que ambas gráficas reducen sus diferencias llegando a tener un pequeña diferencia de 1.98 dB al 30%.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superio r_1	Path Loss Superio r_2	TPUT Superio r_1	TPUT Superio r_2
Sin interferencia	20,19	95,00	95,00	5,50	5,50	90,00	90,00	19,42	19,42
Con interferencia	19,87	90,00	95,00	13,03	0,00	65,00	90,00	17,28	8,69

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
13,91	91,98	5,96	94,83
13,91	84,83	5,96	92,86
Δ70%	7,15	Δ30%	1,98

Tabla 3.2.1.14 Medidas enlace descendente Xiaomi para MCS=9

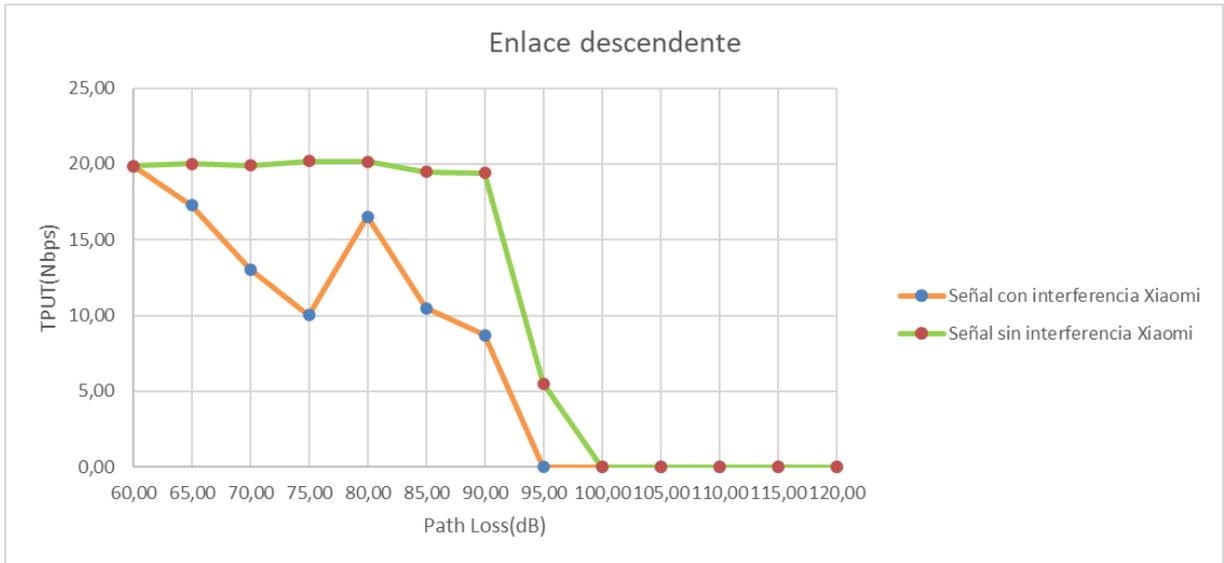


Figura 3.2.1.16 Medidas interpolación Xiaomi MCS=9

Para este último caso con un MCS=15 ocurre lo mismo que con el anterior terminal que al tener una comunicación con dos antenas, la tasa de rendimiento es muy buena para la transferencia de información y por tanto en ambos casos la comunicación no se ve muy afectada por ello el comportamiento que presentan ambas curvas es similar y apenas presentan una diferencia en los diferentes puntos.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superio r_1	Path Loss Superio r_2	TPUT Superio r_1	TPUT Superio r_2
Sin interferencia	106,77	75,00	80,00	61,23	33,55	70,00	75,00	86,56	61,23
Con interferencia	103,53	75,00	80,00	60,32	33,11	70,00	75,00	81,86	60,32

TPUT (70%)	Path Loss(70%)(dB)	TPUT (30%)	Path Loss(30%)(dB)
74,74	72,33	32,03	80,27
74,74	71,65	32,03	80,13
Δ70%	0,68	Δ30%	0,14

Tabla 3.2.1.15 Medidas enlace ascendente Xiaomi para MCS=15

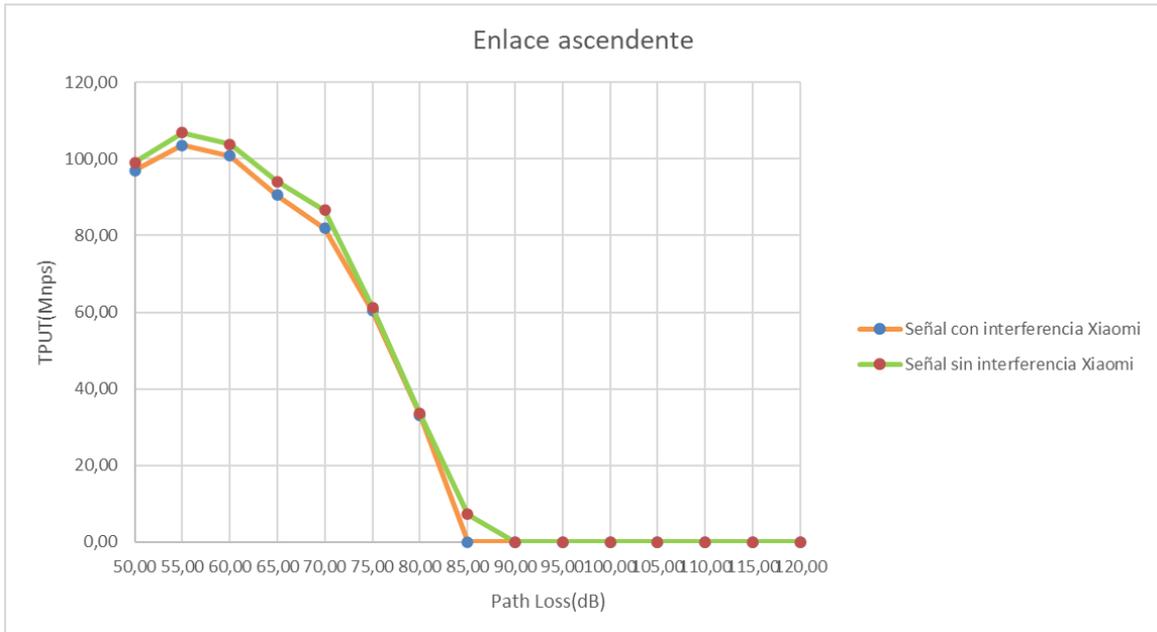


Figura 3.2.1.17 Medidas interpolación Xiaomi MCS=15

En el caso del enlace descendente la diferencia entre la curva interferida y la que no presenta interferencias es un poco más clara que en el caso del enlace ascendente, puesto que como ya se ha comentado la comunicación en el sentido descendente es mucho más vulnerable a cualquier tipo de interferencia. Al 70% se ha alcanzado 4.47 dB de diferencia entre ambas curvas al 70%. En el gráfico siguiente se puede apreciar el comportamiento que presentan las señales para este caso en el que el MCS=15.

	TPUT_max	Path Loss Inferior _1	Path Loss Inferior _2	TPUT Inferior _1	TPUT Inferior _2	Path Loss Superior r_1	Path Loss Superior r_2	TPUT Superior r_1	TPUT Superior r_2
Sin interferencia	85,17	75,00	80,00	0,00	0,00	70,00	75,00	79,57	55,53
Con interferencia	87,10	70,00	80,00	55,30	0,00	65,00	75,00	64,12	32,21

MTS (70%)	Path Loss(70%)(dB)	MTS (30%)	Path Loss(30%)(dB)
59,62	71,25	25,55	77,70
59,62	67,55	25,55	77,86
Δ70%	3,70	Δ30%	-0,16

Tabla 3.2.1.16 Medidas enlace descendente Xiaomi para MCS=15

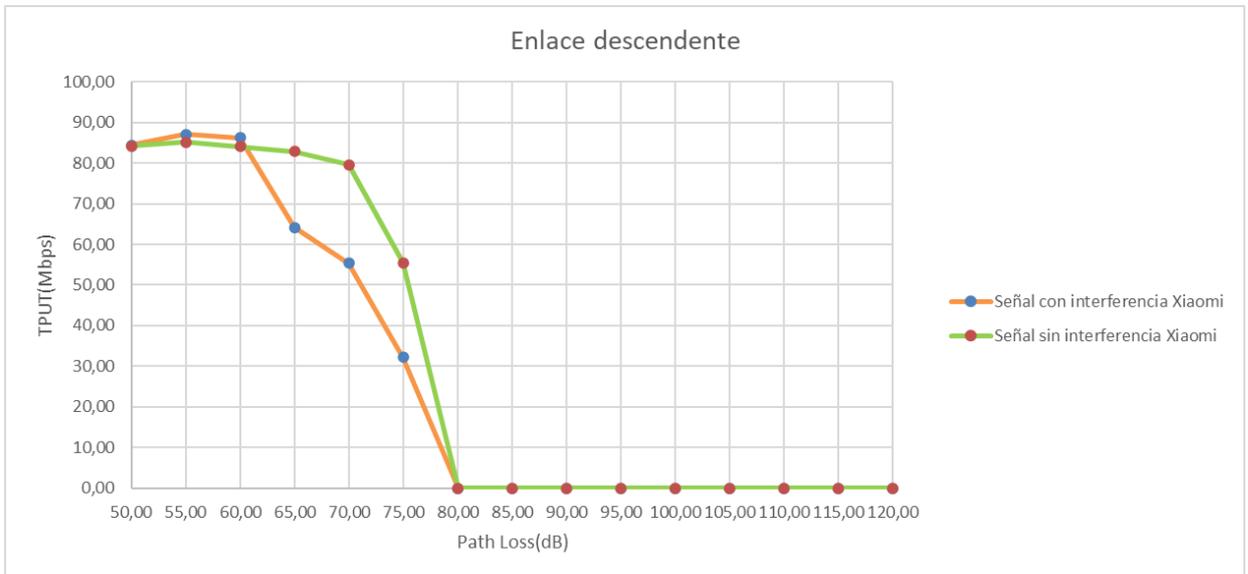


Figura 3.2.1.18 Medidas interpolación Xiaomi MCS=15

Al igual que en el caso del MCS Auto, vamos a comparar el comportamiento de los dos dispositivos cuando toman los valores descritos en los puntos anteriores, de esta manera se puede ver más claro como ha afectado las interferencias tanto en el caso del enlace ascendente como el enlace descendente.

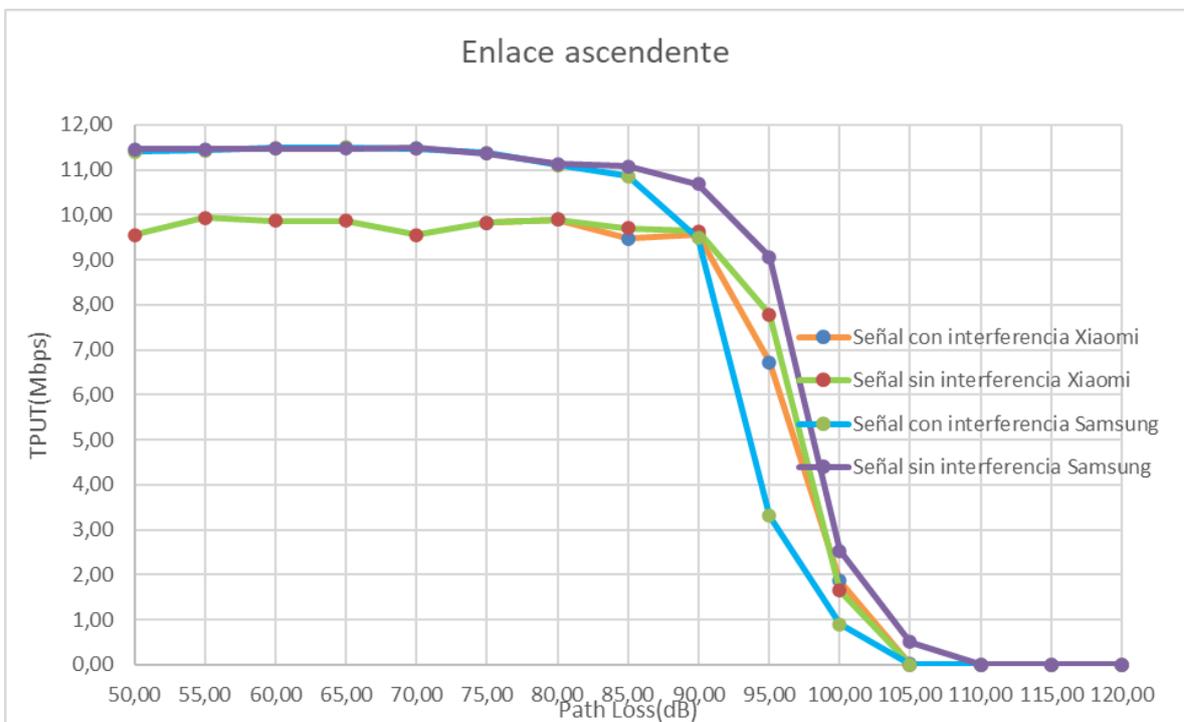


Figura 3.2.1.19 Comparación terminales para enlace ascendente con MCS=1

Como se puede apreciar en la anterior gráfica el comportamiento de las curvas es muy similar conforme aumenta el Path Loss, sin embargo, cabe destacar que para el caso en el que no presentan interferencias vemos que el comportamiento de ambos dispositivos es muy parecido. No obstante, en el caso en el que se presentan interferencias vemos como la curva del terminal Samsung S5 cae mucho mas que la del Xiaomi, por ello se puede decir que responde mejor en este caso el dispositivo Xiaomi.

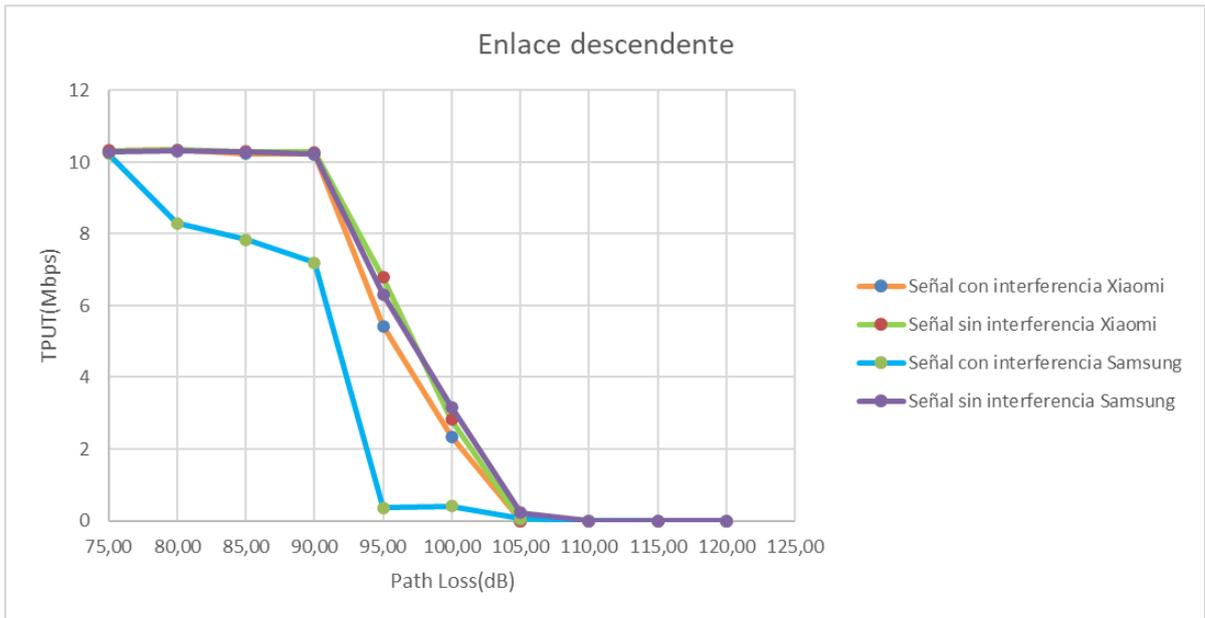


Figura 3.2.1.20 Comparación terminales para enlace descendente con MCS=1

Para el caso del enlace descendente con un valor de MCS=1 vemos claramente que el terminal mas afectado cuando metemos las interferencias vuelve a ser el Samsung S5 y en este caso el terminal que mejor responde ante las dos situaciones expuestas es el Xiaomi.

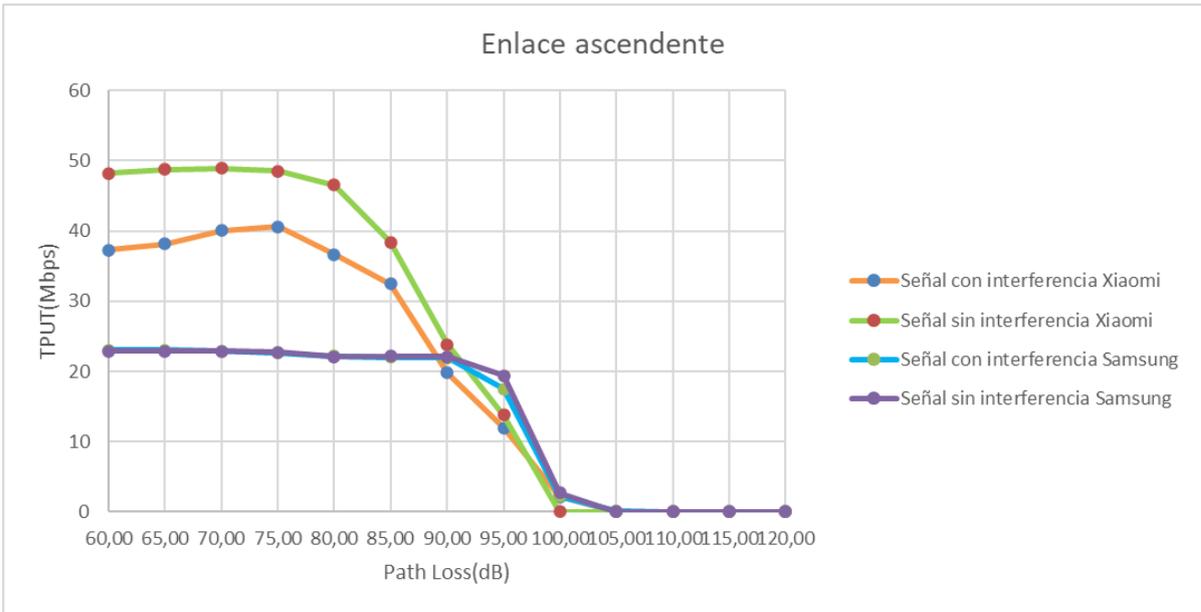


Figura 3.2.1.21 Comparación terminales para enlace ascendente con MCS=9

Para el caso en el que el MCS=9 y en enlace ascendente vemos que la señales que mejor TPUT ofrecen son nuevamente las del terminal Xiaomi por tanto podemos decir que se va a tener una mejor calidad en cuanto a la comunicación si utilizamos el terminal más moderno. Hay que destacar también que conforme aumentamos el valor de Path Loss vemos que tiene una mayor resistencia el Samsung S5, pero como su tasa de transmisión es menor a la del otro terminal para este caso también vemos que Xiaomi lleva ventaja sobre Samsung.

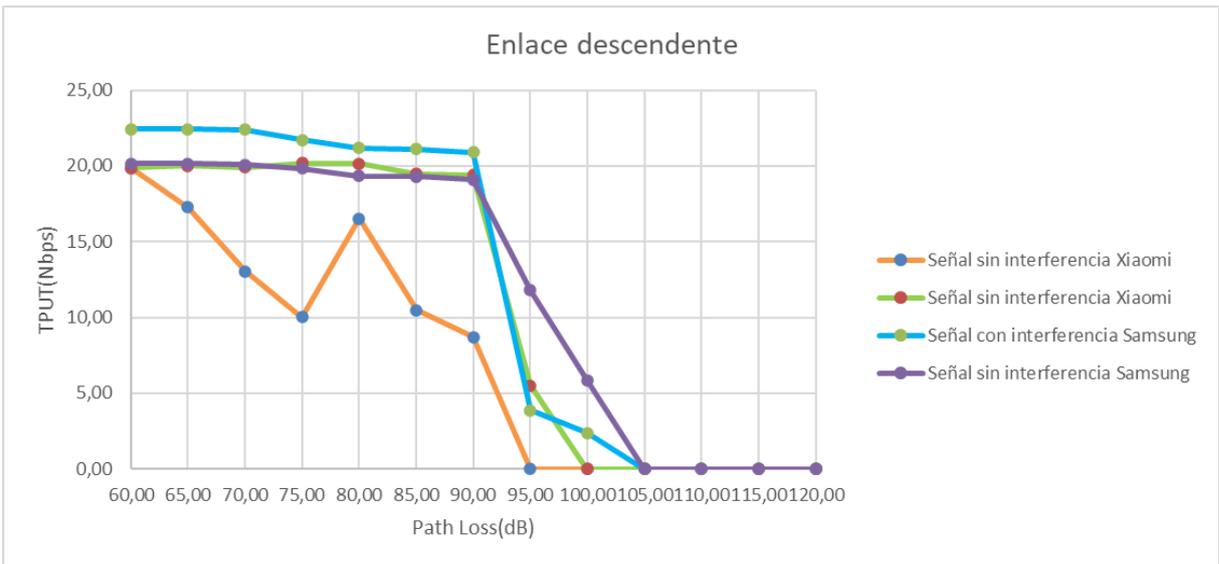


Figura 3.2.1.22 Comparación terminales para enlace descendente con MCS=9

Para el caso del enlace descendente vemos que ocurre todo lo contrario a lo que ocurría en el enlace ascendente, vemos que tanto para el caso en el que tenemos interferencias como en el caso contrario, las curvas de Samsung están por encima de las del terminal Xiaomi, sobre todo en el caso en el que metemos las interferencias, se puede observar como la curva de Xiaomi cae con claridad con respecto a la del otro terminal.

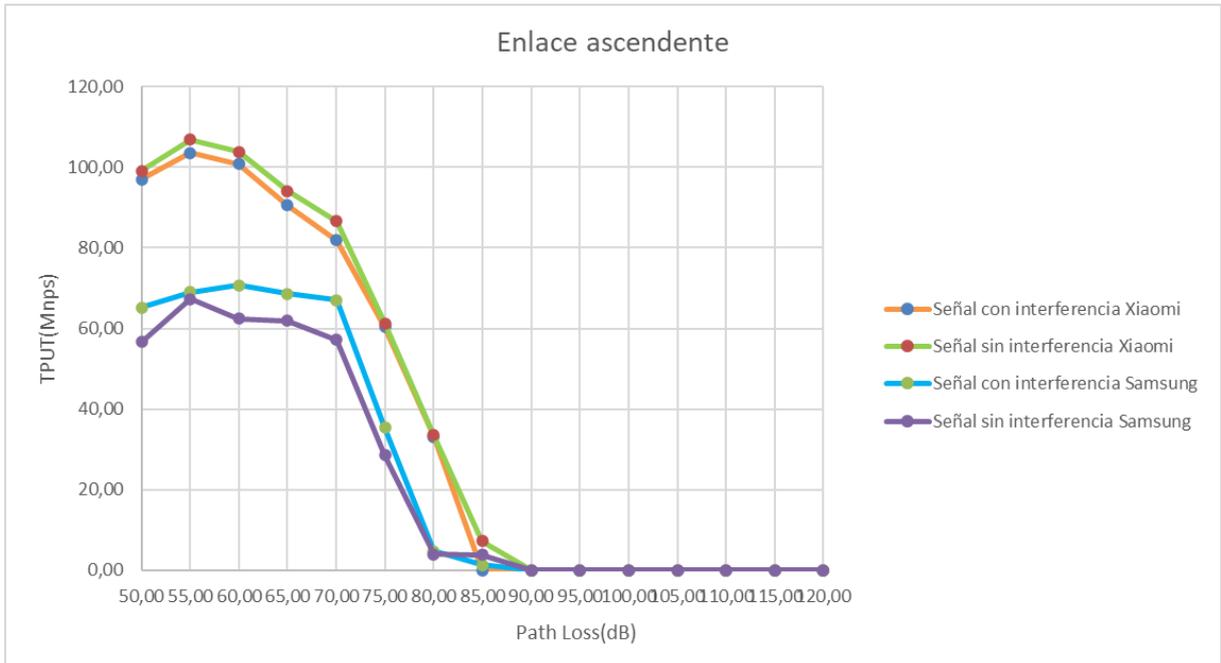


Figura 3.2.1.23 Comparación terminales para enlace ascendente con MCS=15

Para este último caso en el que el MCS toma el valor máximo vemos que el comportamiento del Xiaomi es más óptimo que el de Samsung ya que como se puede apreciar en el gráfico anterior, ofrece mejor TPUT y menor caída. Samsung para este caso obviamente también un TPUT muy bueno sin embargo la curva cae un poco antes que las curvas correspondientes al Xiaomi.



Figura 3.2.1.24 Comparación terminales para enlace descendente con MCS=15

Para el último caso en enlace descendente con MCS=15, se observa que para el caso en el que no tenemos interferencias el comportamiento de ambos terminales es similar, pero en el caso en el que se tiene interferencias, vemos que la curva de Xiaomi cae antes que la de Samsung y por tanto se puede decir que en este caso Samsung nos ofrece mejores prestaciones para llevar a cabo una comunicación estable.

En resumen, después de haber analizado las diferentes situaciones y haber comparado ambos terminales, podemos decir que se ha obtenido mejores resultados cuando se ha utilizado un terminal más moderno como en este caso se corresponde con Xiaomi.

Hemos visto que soporta mejor las interferencias en la mayoría de los casos y prácticamente tanto para enlace ascendente como descendente Xiaomi nos ha proporcionado mejores resultados.

Capítulo 4

4.1 Conclusiones y líneas futuras

En este trabajo, hemos podido realizar diferentes medidas planteando situaciones comunes a la hora de llevar a cabo la comunicación. Para ello se ha tenido en cuenta tanto el entorno como los diferentes terminales y dispositivos que van a estar presentes durante las correspondientes medidas realizadas.

La finalidad principal era conocer el concepto y funcionamiento que lleva a cabo una cámara de reverberación como la que se ha utilizado a lo largo de este proyecto. Tanto a nivel de hardware como de software hemos visto las diferentes características que presenta y los diferentes parámetros de configuración que hay que tener en cuenta para el correcto funcionamiento de dicha cámara. Con este tipo de cámara hemos visto que se puede realizar un estudio genérico de la calidad de transferencia de datos que puede darse teniendo en cuenta los diversos fenómenos externos que están presentes en la comunicación.

Se ha podido observar que para todas las situaciones planteadas en este proyecto el enlace descendente se ha visto más afectado por las interferencias que se han introducido dentro de la cámara y también un parámetro muy importante es el valor del MCS, que en la mayoría de casos la configuración más adecuada ha sido dejarlo en modo Auto, puesto que de esta manera se ha visto un comportamiento más estable en la comunicación permitiendo adaptarse en cada momento a cada situación que se presenta durante la comunicación.

A modo de líneas futuras se puede llevar a cabo un análisis más detallado y teniendo en cuenta muchos más factores que influyen en la transferencia de datos dentro de otro tipo de cámara como puede ser una cámara anecoica en la cual podemos controlar con mayor exactitud las interferencias que buscamos que entren en juego durante las mediciones, ya que con el tipo de cámara utilizado en este proyecto quizás sea un

estudio más aleatorio que con el caso de una cámara anecoica ya que hay ciertos agentes externos que no se han podido controlar y que ha afectado en cuanto al comportamiento de la señal.

Bibliografía

- [1] J. Zyren, “Extension of Bluetooth and 802.11 Direct Sequence Interference Model”, Doc.: IEEE 802.11-98/378, Nov. 1998, [Consultado: 1 marzo 2021]
- [2] “Analizando Bluetooth”, <https://www.incibe-cert.es/blog/analizando-bluetooth>, 2016, [Consultado: 1 agosto 2021].
- [3] “Wifi y Bluetooth”, <https://es.itpedia.nl/2018/07/12/wifi-en-bluetooth-wat-is-het-verschil/>, 2018 [Consultado: 1 agosto 2021].
- [4] “E500”, <http://emite-ing.com/en/solutions/test-systems/e-series>, 2018, [Consultado 1 agosto 2021].
- [5] “Introducción a Bluetooth y Wi-Fi”, http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lem/hernandez_a_r/capitulo1.pdf, [Consultado: 1 agosto 2021].
- [6] “Wifi”, <https://www.adslzone.net/reportajes/tecnologia/que-es-wifi-como-funciona/>, 2021, [Consultado: 1 agosto 2021].
- [7] “Beamforming”, <https://www.testdevelocidad.es/2020/06/19/tecnologia-beamforming-velocidad-internet/>, [Consultado 5 agosto 2021].
- [8] “Cámaras de reverberación”, <https://www.iac-gmbh.de/es/reverberation-chambers.html>, [Consultado 15 agosto 2021].
- [9] “Xiaomi Mi Mix 3 5G”, <https://computerhoy.com/fichas/xiaomi-mi-mix-3-5g>, [Consultado 5 agosto 2021]
- [10] “Modulación y Codificación”, <https://soporte.syscom.mx/es/articles/1846947-redes-inalambricas-modulacion-y-codificacion>, [Consultado 5 agosto 2021]