

UNIVERSIDAD TÉCNICA FEDERICO SANTA MARÍA
DEPARTAMENTO DE ELECTRÓNICA
VALPARAÍSO - CHILE



**“CARACTERIZACIÓN DE LA GANANCIA POR
DIVERSIDAD ANGULAR DE ANTENAS
DIRECTIVAS PARA ENLACES
EXTERIOR-EXTERIOR EN AMBIENTES
URBANOS”**

MARIO ELÍAS TEJEDA AGUAYO

**MEMORIA DE TITULACIÓN PARA OPTAR AL TÍTULO DE INGENIERO
CIVIL ELECTRÓNICO MENCIÓN EN TELECOMUNICACIONES**

PROFESOR GUIA:

RODOLFO FEICK

PROFESOR CORREFERENTE:

**HECTOR CARRASCO
MAURICIO RODRÍGUEZ**

DICIEMBRE-2016

A mi familia, que con ejemplo y dedicación me ayudaron a llegar a donde estoy.

A Daniela, por estar a mi lado todos estos años y apoyarme cuando más lo necesité.

A mis amigos, a los de siempre, a los nuevos, a quienes hoy me acompañan y a los que me acompañarán.

Resumen

Este trabajo presenta una comparación empírica de la efectividad de sistemas de diversidad angular y espacial para enlaces inalámbricos fijos de exterior a exterior. El análisis se centra principalmente en el desempeño de aquellos sistemas de diversidad con sólo una cadena de RF. Los resultados muestran que para tales sistemas aquellos con diversidad angular superan con creces en desempeño a los espaciales por al menos 4 [dB] al utilizar arreglos de características comparables. Este estudio es realizado para sistemas angulares con tres órdenes distintos de diversidad, 5, 12 y 20. Se observa un deterioro cercano a los 2 [dB] al ser comparados con el combinador de razón máxima (MRC) correspondiente al sistema óptimo. Esto se compara favorablemente con diversidad espacial donde el deterioro llega a los 10 [dB] para un orden de diversidad de 20. Con el fin de establecer una referencia que permita explicar los resultados observados se utiliza un modelo de desvanecimientos Rice que incluye los efectos de correlación de antena. Entre los resultados se observa que este modelo se ajusta de manera adecuada a los datos empíricos y permite predecir el desempeño de los distintos sistemas de diversidad presentados.

Temas relacionados: Modelos de canal, antenas directivas, diversidad, enlaces inalámbricos de exterior a exterior.

Abstract

This work presents an empirically based comparison of the effectiveness of angular and spatial diversity systems for outdoor to outdoor fixed wireless links. The analysis is focused on the performance of systems with only one RF chain. The results show that angular diversity outperforms spatial diversity systems by at least 4 [dB] when using arrays with comparable dimensions. This study is performed for angular diversity systems with three different orders, 5, 12 and 20. A performance loss of 2 [dB] was observed when comparing with the optimum maximum ratio combiner (MRC). In contrast a spatial diversity system of order 20 has a performance loss of around 10 [dB]. In order to provide a reference for the observed results, a simple Ricean fading model including antenna correlation effects is simulated. This model is found to fit very well the main results and then can be used to predict the performance of the different kind of systems analyzed.

Keywords: Channel models, directive antennas, diversity, outdoor-outdoor wireless links.

Glosario

- RF: Radiofrecuencia.
- MRC: Maximum Ratio Combiner.
- SC: Selection Combiner.
- ASC: Angular Selection Combiner.
- SSC: Spatial Selection Combiner.
- AMRC: Angular Maximum Ratio Combiner.
- SMRC: Spatial Maximum Ratio Combiner.
- VI: Virtual Instrument.
- Omni: Antena omnidireccional.
- CIRC: Arreglo de antenas circular o equiespaciadas.
- ARC: Arreglo de antenas en arco o contiguas.
- PR: Potencia Recibida.
- EV: Extreme Value.
- CDF: Cumulative Distribution Function o función de distribución acumulada.
- sis: Sistema de diversidad.

Índice general

Índice de figuras	VII
-------------------	-----

Índice de cuadros	VIII
-------------------	------

Capítulo 1 Introducción	1
-------------------------	---

1.1 Motivación y Objetivos	1
1.2 Estado del Arte	3

Capítulo 2 Equipos de Medición, Escenarios y Procedimiento	5
--	---

2.1 Equipo de Medición	5
2.1.1 Transmisor	6
2.1.2 Antenas	6
2.1.3 Motor paso a paso	9
2.1.4 Receptor	10
2.2 Lugares de Medición	11
2.3 Medición de Potencia Recibida y Estadísticas de Desvanecimientos de Pequeña Escala.	13
2.4 Medición de Razones de Potencia.	14

Capítulo 3 Resultados y análisis	17
----------------------------------	----

3.1 Caracterización del Canal	17
3.1.1 Potencia Media Recibida a lo Largo de la Calle	17
3.1.2 Dispersión Angular	18
3.1.3 Desvanecimientos de Pequeña Escala	22

3.1.4	Correlación de Antena	23
3.1.5	Descripción de Modelo	25
3.2	Análisis de Sistemas de Diversidad	27
3.2.1	Descripción Estadística de Razones de Potencia en los Sistemas de Diversidad	27
3.2.2	Potencia Recibida por Sistemas de Diversidad	32
Capítulo 4	Conclusiones	37
4.1	Conclusiones	37
Bibliografía		39
Apéndice A	Puesta en Marcha del Proyecto	43
A.1	Alternativas de Solución	43
A.1.1	Bloque Transmisor	44
A.1.2	Bloque Receptor	44
A.1.3	Bloque Receptor: Diseño de un Nuevo Sistema Receptor	44
A.1.4	Bloque Receptor: Puesta en Marcha de Receptor Antiguo	46
A.1.5	Bloque Procesamiento	48
A.2	Selección de Alternativa	48
A.2.1	Criterios de Selección	48
A.2.2	Evaluación de Alternativas	49
A.2.3	Selección	50
Apéndice B	Planos de Escenarios de Medición	53

Índice de figuras

2.1	Esquema de sistema de mediciones.	6
2.2	Esquema del sistema transmisor.	6
2.3	Patrón de radiación de antena omnidireccional.	7
2.4	Patrón de radiación de las tres antenas directivas utilizadas.	8
2.5	Esquema del sistema receptor.	10
2.6	Escenario de medición típico.	11
2.7	Representación de brazo giratorio utilizado para desplazar o girar antenas.	12
2.8	Esquema de arreglos para sistemas con diversidad.	15
3.1	Potencia recibida por un dipolo. Cada 60 datos angulares por posición son promediados y representan un punto del gráfico	18
3.2	Potencia recibida vs. ángulo para el arreglo de antenas patch 4x1.	19
3.3	Potencia recibida vs. ángulo para la antena patch.	20
3.4	Potencia recibida vs. ángulo para el arreglo de antenas patch 2x2.	21
3.5	Mejor ajuste de distribución log-normal al conjunto de factor K obteni- do durante la campaña de mediciones.	23
3.6	Estadísticas de correlación de antena comparadas con una distribución Extreme Value.	24
3.7	Representación espacial del modelo de desvanecimientos Rice.	26
3.8	CDF: Razón de potencia recibida por un sistema MRC angular vs. MRC espacial.	28

3.9	CDF: Razon de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para N = 20.	29
3.10	CDF: Razón de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para N = 12.	30
3.11	CDF: Razón de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para N = 5.	31
3.12	Gráfico de media vs. N para resultados empíricos y modelo.	31
3.13	Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con N = 5.	33
3.14	Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con N = 12.	34
3.15	Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con N = 20.	35
A.1	Etapas necesarias para llevar a cabo el proyecto.	43
A.2	Instrumento virtual del receptor.	47

Índice de cuadros

2.1	Resumen de ganancia y ancho de haz para las 4 antenas utilizadas. . . .	9
3.1	Media μ_ρ y desviación estándar σ_ρ del mejor ajuste para las correlaciones de antena en arreglo circular y de arco.	24
3.2	Media y desviación estándar de los resultados empíricos de la razón AMRC/SMRC	27
3.3	Media y desviación estándar de las CDFs empíricas de los distintos sistemas analizados.	29
3.4	Parámetros de ajuste por mínimos cuadrados a potencia recibida por los distintos sistemas.	32
A.1	Ponderación de los criterios de evaluación.	49
A.2	Sistema de puntuación de alternativas.	49
A.3	Sistema de puntuación de alternativas.	51

Capítulo 1

Introducción

1.1. Motivación y Objetivos

Para sistemas de telecomunicaciones inalámbricas los entornos con alta presencia de dispersores producen el efecto de propagación con multi-trayectos, donde los frentes de onda entre transmisor y receptor realizan contribuciones con magnitud y fase variables que pueden resultar en variaciones de la potencia recibida. Este efecto corresponde al denominado desvanecimiento de pequeña escala, el cual produce estas cambios en la potencia recibida para variaciones de distancia entre transmisor y receptor del orden de la longitud de onda de la señal propagada. Este tipo de entorno, presente en varias situaciones prácticas, suele contar con un frente de onda dominante en comparación con los demás [1].

Dentro de las opciones que se disponen para mitigar los efectos del desvanecimiento de pequeña escala se encuentran las técnicas de diversidad. Para el caso de diversidad espacial se cuenta con una gran cantidad literatura y publicaciones que reportan extensivamente sobre el tema [1]. En particular se consideran sistemas que permiten escoger la máxima potencia recibida entre múltiples antenas separadas espacialmente o la combinación de la contribución de estas antenas. En contraste, el uso de antenas directivas con técnicas de diversidad angular ha sido relativamente poco mencionado [2]-[5].

El uso de sistemas angulares es de interés debido a que las antenas directivas cuentan con la capacidad de recibir mayores niveles de potencia recibida según su posición angular en comparación con antenas omnidireccionales, lo que permite sacar ventaja de la presencia de componentes dominantes en los multi-trayectos y de este modo conseguir mejoras en los enlaces. Por otro lado, recientemente se han desarrollado sistemas que permiten dirigir de forma electrónica el diagrama de radiación de antenas en dispositivos de comunicaciones móviles [7]-[12]. Sin embargo, aún hay escasez de resultados empíricos que permitan evaluar de manera apropiada el desempeño de la ganancia realizable por este tipo de sistemas en entornos con presencia alta de multi-trayectos.

El foco principal de este trabajo consiste en evaluar el rendimiento de diversidad combinadores por selección angular (ASC) y espacial (SSC) basándose en resultados empíricos y modelos de simulación. Como referencia para la comparación se escoge el sistema de diversidad por combinación de razón máxima (MRC). Estos resultados permiten cuantificar la ventaja de ganancia de un sistema con múltiples cadenas de RF, como es el caso de un sistema MRC, por sobre sistemas más sencillos y que cuentan con una sola cadena de RF, como es el caso de (ASC y SSC). También se incluye el rendimiento de una antena omnidireccional, es decir, un elemento que no cuenta con capacidades de diversidad ni de apuntamiento de patrón de radiación. Como los sistemas MRC considerados como referencia en la comparación utilizan el mismo sistema de antenas empleado en el respectivo combinador por selección. De este modo, SSC y la antena omnidireccional son comparadas con un MRC espacial, mientras que ASC es comparado con un MRC angular. Por otro lado, la comparación entre sistemas espaciales y angulares se valida debido a que, como se mostrará más adelante, tanto MRC angular como espacial tienen rendimientos similares en promedio, lo cual es confirmado con datos empíricos.

Para obtener los datos empíricos utilizados en este trabajo se llevó a cabo una campaña de mediciones con equipos de banda angosta a una frecuencia de 3.5 GHz. Se registró la potencia recibida por 3 antenas directivas, con diferentes anchos de haz, y

una antena omnidireccional obteniendo un total de 129 enlaces con cada antena para propagación exterior-exterior en entornos urbanos, con posiciones relativas de transmisor y receptor en rangos de 5 a 75 m.

1.2. Estado del Arte

A continuación se mencionan algunos estudios relacionados con el uso de antenas directivas y sistemas de diversidad.

En cuanto a la interacción entre la propagación con multi-trayectos y el decremento de las características de ganancia de una antena direccional se ha publicado poco. El decremento de ganancias obtenibles por antenas directivas debido a dispersores locales se define originalmente en [13] como el Factor de Reducción de Ganancia (Gain Reduction Factor). Este factor se caracteriza por ser una variable aleatoria dependiente de la locación y sus parámetros estadísticos fueron computados para enlaces exterior-exterior específico de entornos sub-urbanos. Este factor es discutido en [3], donde se presentan resultados empíricos para enlaces urbanos de exterior-interior.

En [14] se presentan resultados empíricos para sistemas de diversidad angular y espacial en estaciones base (BS) celulares. Sin embargo, sólo considera 2 antenas directivas ampliamente espaciadas que cubren el mismo sector.

En [16] se presentan comparaciones basadas en simulación del desempeño de sistemas de diversidad con múltiples antenas omnidireccionales y directivas en un canal Riciano. Sin embargo, las antenas directivas no consideran apuntamiento en búsqueda de la máxima potencia recibida y tampoco una comparación con MRC.

En [17] se realiza una comparación de diversidad angular con SSC y MRC basada en resultados empíricos. Sin embargo, la antena directiva se desplaza, en vez de rotar sobre su propio eje, lo que implica que obtenga beneficios de diversidad espacial además de angular.

En [18] se hace un estudio de diversos esquemas de diversidad, incluyendo ASC, pero las antenas directivas se encuentran limitadas a 2 opciones angulares separadas

por 180° .

En el presente trabajo se diferencia de los demás ya que, además de realizar una comparación entre sistemas de diversidad espacial y angular, también contrasta el uso de sistemas simples (ASC y SSC) con una sola cadena de RF, con aquellos complejos (MRC) con múltiples cadenas. Por otro lado, estos resultados permiten extender los resultados presentados en [4], el cual considera enlaces exterior-interior y solo 1 valor de ancho de haz.

Capítulo 2

Equipos de Medición, Escenarios y Procedimiento

Los resultados empíricos de este trabajo se basan en el procesamiento de datos adquiridos durante una campaña de mediciones. A continuación se describen los equipos utilizados, la campaña de mediciones realizada y el procedimiento de medición y procesamiento de datos.

2.1. Equipo de Medición

Los elementos principales que componen el sistema de medición se encuentran ilustrados en la figura 2.1. El transmisor corresponde a un generador de onda continua a 3.5 GHz que entrega 17.8 dBm de potencia a la entrada de una antena patch. La señal transmitida puede ser recibida por medio de 4 antenas distintas: una antena omnidireccional, una antena patch, un arreglo 2x2 de antenas patch y un arreglo 4x1 de antenas patch. La potencia recibida es registrada por medio de un receptor de banda angosta el cual envía los datos a un computador por medio de una interfaz serial. Un instrumento virtual de Labview sincroniza la adquisición de los datos con el movimiento de la antena receptora, lo cual simula un arreglo de 60 antenas en distintas posiciones espaciales

o angulares. A continuación se entregará más detalle de cada uno de estos componentes. El datasheet de los componentes presentes en los equipos se puede encontrar en [19]-[23].

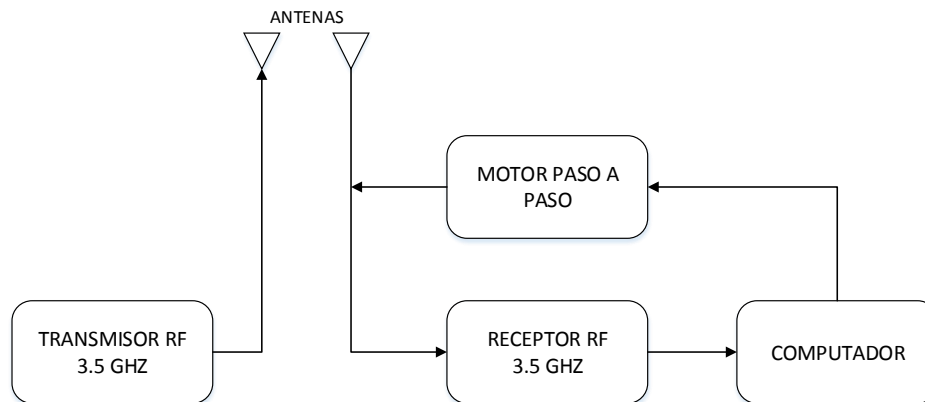


Figura 2.1: Esquema de sistema de mediciones.

2.1.1. Transmisor

Corresponde a un transmisor de radiofrecuencia (figura 2.2) que genera una señal de 3.5 GHz de onda continua con 17.8 dBm de potencia por medio de un oscilador sintetizado programable amplificado y con referencia externa.

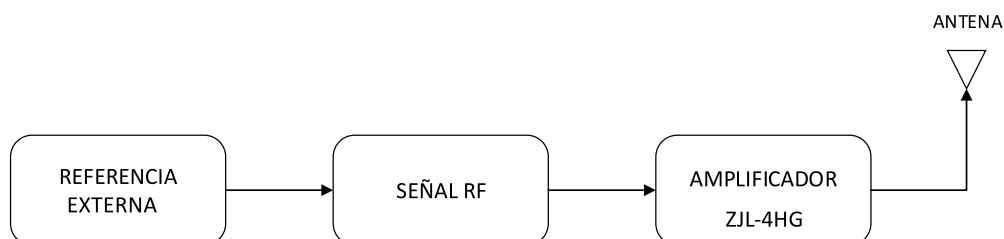


Figura 2.2: Esquema del sistema transmisor.

2.1.2. Antenas

Se utilizan 4 tipos de antenas diseñadas para operar a 3.5 [GHz]: una omnidireccional y tres directivas. Los distintos anchos de haz mencionados a continuación están

referidos a una atenuación de potencia de 3 dB respecto a la dirección de máxima ganancia.

Antena Omnidireccional

Corresponde a una antena dipolo con un patrón de radiación como el indicado en la figura 2.3. Esta antena permite obtener una ganancia de potencia de 2.4 dBi, con un patrón de radiación aproximadamente constante en el plano azimut y un ancho de haz de 63 grados en el plano de elevación. En general, sus aplicaciones corresponden a analizar sistemas sin diversidad o con diversidad espacial. Además permite obtener parámetros de caracterización de canal.

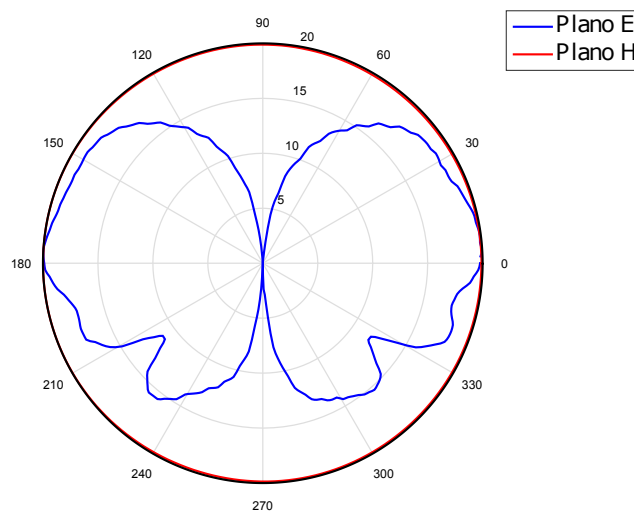
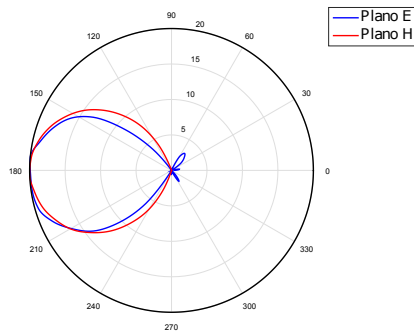


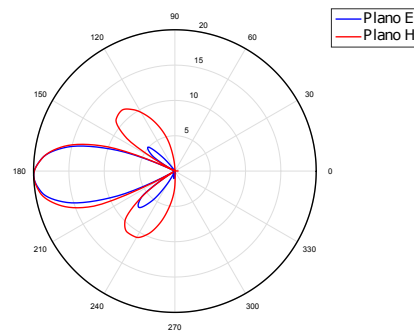
Figura 2.3: Patrón de radiación de antena omnidireccional.

Antenas Direccionales

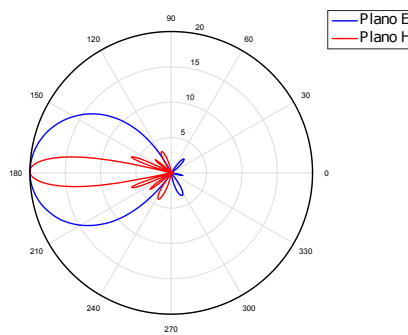
Se utilizan tres tipos diferentes de antenas direccionales. La primera (2.4a) corresponde a una antena patch con una ganancia de 10.2 dB; su patrón de radiación muestra un ancho de haz de 60 grados en el plano azimut y de 50 grados en el plano de elevación. La segunda es un arreglo 2x2 de antenas patch (2.4b), la cual cuenta con una ganancia máxima de 16.5 dB y un patrón de radiación con ancho de haz de 25 grados en



(a) Patrón de radiación de antena direccional, patch.



(b) Patrón de radiación de antena direccional, arreglo de patches 2x2.



(c) Patrón de radiación de antena direccional, arreglo de patches 4x1.

Figura 2.4: Patrón de radiación de las tres antenas directivas utilizadas.

azimuth y 30 grados de elevación. Finalmente, la tercera antena utilizada corresponde a un arreglo 4x1 de antenas patch, con 15.2 dB de ganancia y 15 grados de ancho de haz en azimuth y 50 grados en elevación. El uso de antenas con distintos valores para el ancho de haz en azimuth permitirá obtener datos con tres distintos órdenes de diversidad angular.

La tabla 2.1 presenta un resumen de las características de cada antena utilizada. La ganancia de cada antena fue medida y calibrada en una cámara anecoica, y es expresada en dBi.

Antena	Ancho de Haz Azimut [°]	Ancho de Haz Elevación [°]	Ganancia [dBi]
Dipolo	-	63	2.4
Patch	60	50	10.2
Patch 2x2	30	25	16.5
Patch 4x1	15	50	15.2

Cuadro 2.1: Resumen de ganancia y ancho de haz para las 4 antenas utilizadas.

2.1.3. Motor paso a paso

Este elemento cumple con la función de girar o desplazar las antenas receptoras con el fin de obtener muestras para 60 posiciones angulares o espaciales distintas con pasos de 6 grados. El motor es controlado por un microcontrolador Arduino y su movimiento es sincronizado mediante el uso de un instrumento virtual (VI) del software LabView.

2.1.4. Receptor

La figura 2.5 muestra el esquema general de los componentes del receptor, el que corresponde a un receptor de radiofrecuencia a 3.5 GHz. Este equipo permite operar en banda ancha (20 MHz) y/o banda angosta (200 KHz). Sin embargo, para fines de este trabajo solo se utiliza el canal de banda angosta. Un atenuador variable en el rango de 0 dB a 60 dB permite evitar la saturación de las componentes y la potencia es medida mediante el medidor de potencia Frankonia.

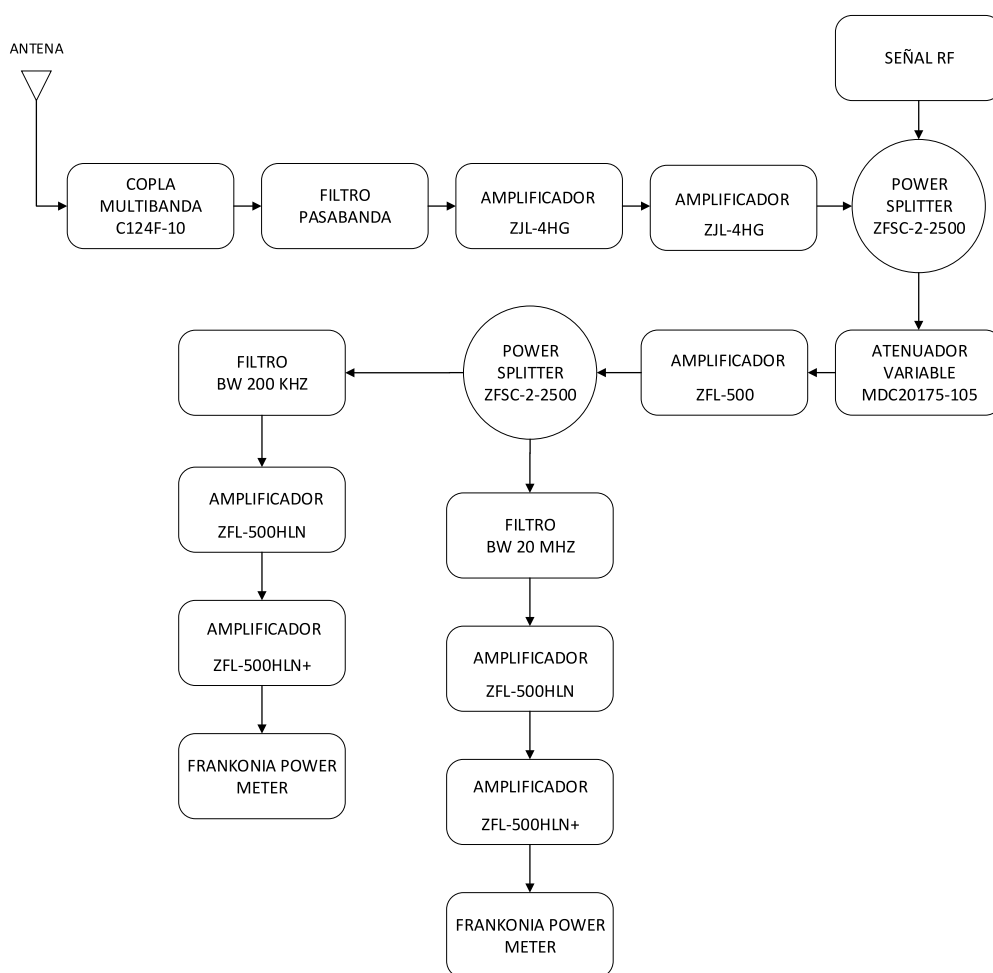


Figura 2.5: Esquema del sistema receptor.

2.2. Lugares de Medición

Las mediciones fueron llevadas a cabo en 3 escenarios con condiciones de cañón de calle, en el campus de la Universidad Técnica Federico Santa María, Valparaíso, Chile, en la Universidad Diego Portales, Santiago, Chile, y en el Condominio Vista Manquehue, Quilpué, Chile. En todos los escenarios se escogieron posiciones para que el receptor se pudiera ubicar en un rango de distancias entre 5 m a 75 m respecto al transmisor. Un esquema del escenario típico de medición es presentado en la figura 2.6.

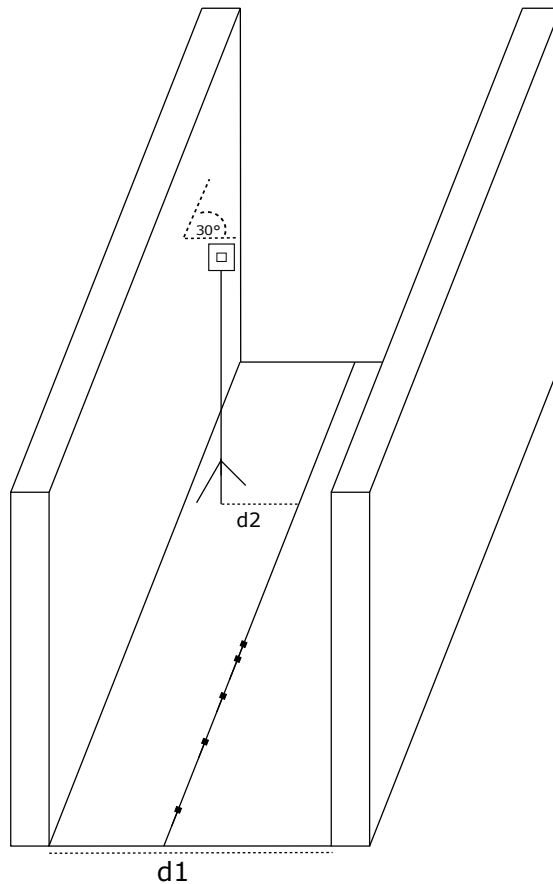
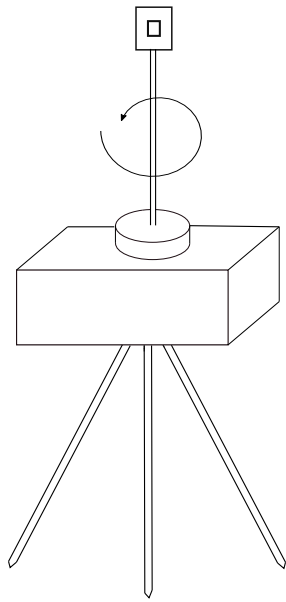
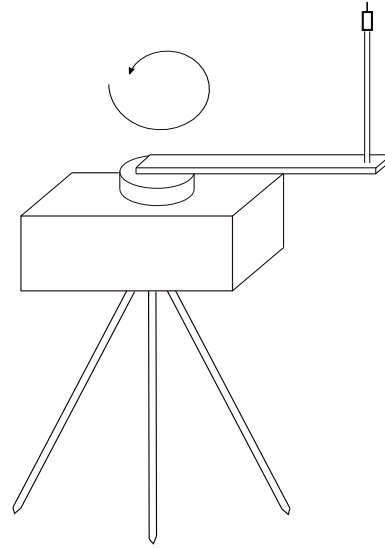


Figura 2.6: Escenario de medición típico.

Considerando las mediciones de los 3 escenarios se obtuvieron un total de 129 enlaces, todos en condiciones de línea de vista entre antena transmisora y receptora. Como se puede observar en la figura 2.6, la antena patch del transmisor es dirigida en



(a) Sistema de medición angular para el caso de una antena directiva.



(b) Sistema de medición angular para el caso de una antena omnidireccional.

Figura 2.7: Representación de brazo giratorio utilizado para desplazar o girar antenas.

30 grados azimut respecto a la muralla más cercana. Además, la antena receptora es ubicada en los puntos destacados de la línea paralela a las dos murallas de la calle.

2.3. Medición de Potencia Recibida y Estadísticas de Desvanecimientos de Pequeña Escala.

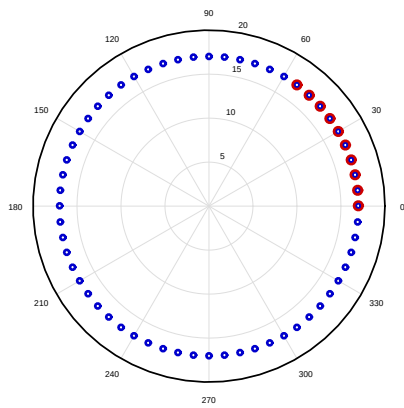
Uno de los objetivos de las mediciones adquiridas corresponde a las caracterización de los escenarios medidos. Este tipo de mediciones se consiguió utilizando como antena receptora un dipolo omnidireccional de 2.4 dBi de ganancia montada sobre un brazo giratorio controlado por computador de modo que pudiera realizar mediciones en pasos de 6 grados en azimut con un radio de 0.4 m o 0.1 m (Figura 2.7b). Esto implica desplazamientos del dipolo del orden de $\lambda/2$ y $\lambda/8$ respectivamente. Este procedimiento fue repetido en una variedad de posiciones para los 3 escenarios. Las mediciones realizadas con el brazo rotatorio con radio de 0.4 m fueron utilizadas para calcular la potencia media recibida en la calle y en la estimación de parámetros de desvanecimientos de pequeña escala. Se comprobó que no existen mejoras significativas de estos resultados al utilizar los datos de ambos arreglos. Por cada posición de las antenas se obtienen 20 muestras de potencia consecutivas, lo que permite verificar consistencia y promediar para remover desvanecimientos temporales residuales, los cuales son normalmente menores a 0.5 dB.

Al calcular las ganancias por diversidad se consideran solo las mediciones obtenidas por el brazo de menor radio, debido a que sus dimensiones se asemejan más a las del sistema angular. Se debe tener en cuenta que, debido a la correlación de antena, las muestras adyacentes del sistema con radio menor no se pueden considerar como muestras de potencia independientes.

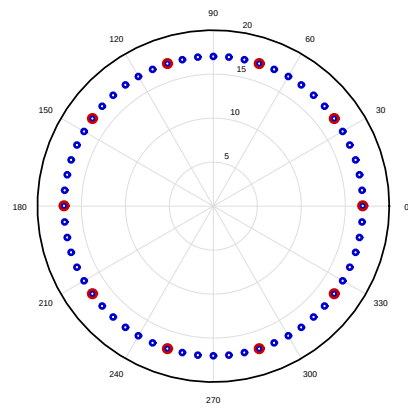
2.4. Medición de Razones de Potencia.

Para medir las razones de potencia de los sistemas de diversidad se utiliza la antena omnidireccional en el brazo giratorio de 0.1 m y las 3 antenas directivas, con desplazamientos espaciales/angulares de 6 grados por paso (Figura 2.7a). Se observa que para el caso del arreglo 4x1, su ganancia directiva supera en 13 dB la del dipolo. Equivalentemente, se requiere de un arreglo de 20 dipolos separados espacialmente para lograr la ganancia de la antena directiva. Por esta razón, se compara el desempeño de un arreglo espacial de 20 dipolos con la antena directiva 4x1. Esta diversidad angular en la antena directiva es obtenida en base a girarla en incrementos de 18 grados. Siguiendo esta misma regla se encuentra que el incremento angular en azimuth corresponde a 30 grados para el arreglo 2x2 y 60 grados para la antena patch, obteniendo ordenes de diversidad N de 12 y 6 respectivamente. Por otro lado es importante tener en cuenta la ventaja que tienen las antenas directivas por tener un ancho de haz vertical más estrecho que el de el dipolo utilizado. La antena omnidireccional tiene un ancho de haz vertical de media potencia de 63 grados. En cuanto a las antenas directivas: la antena patch, arreglo 2x2 y arreglo 4x1 tienen un ancho de haz vertical de media potencia de 50, 25 y 50 grados respectivamente. Esto provoca una ventaja de 1 dB para las antenas patch y arreglo 4x1, y 3 dB de ventaja para el arreglo 2x2. Sin embargo, las antenas directivas presentan una desventaja de 1 dB de eficiencia, medido en cámara anecoica. Estas diferencias son compensadas al momento de presentar los resultados empíricos.

Por otro lado, para evaluar el efecto de correlación de antena se consideran dos tipos de arreglo para los sistemas de diversidad espacial. Uno corresponde de N posiciones contiguas en un arreglo arco (ARC, Figura 2.8a). La otra corresponde a N muestras equiespaciadas en las 60 posiciones angulares posibles, lo cual es denominado como arreglo circular (CIRC, , Figura 2.8b)).



(a) Arreglo ARC.



(b) Arreglo CIRC.

Figura 2.8: Esquema de arreglos para sistemas con diversidad.

Capítulo 3

Resultados y análisis

3.1. Caracterización del Canal

3.1.1. Potencia Media Recibida a lo Largo de la Calle

Se comienza por caracterizar la potencia recibida en el ambiente medido. Se ajusta un modelo clásico de potencia recibida a los datos de la antena dipolo con el sistema giratorio descrito en la sección 2. Para cada ubicación medida se promedian los 60 valores de potencia obtenidos durante un giro. El modelo utilizado corresponde al mismo utilizado en [4]:

$$\overline{PR}_{dB}(d) = PR_{dB}(d_0) + 10n \log_{10} \left(\frac{d}{d_0} \right) + X_\sigma \quad (3.1)$$

donde d corresponde a la distancia de separación tridimensional entre antena transmisora y receptora, $PR_{dB}(d_0)$ es la potencia recibida en dBm a una distancia de referencia d_0 en [m], n es el exponente de potencia recibida y X_σ es una variable aleatoria con media en cero y desviación estándar σ . Se ha comprobado [4] que en este tipo de ambientes X_σ tiene una distribución gaussiana.

Las regresiones lineales son llevadas a cabo para todos los lugares de medición y al conjunto de todos los datos. Se aplica el método de los mínimos cuadrados y para

cada caso se utiliza como valor de referencia $PR_{dB}(d_0)$ a la potencia recibida por la antena dipolo en espacio libre a una distancia $d_0 = 1[m]$. Luego, la pendiente obtenida en cada caso será utilizada para regresiones realizadas posteriormente (sección 3.2.2) de modo que sea posible llevar a cabo una comparación justa de los distintos sistemas evaluados.

La figura 3.1 muestra el gráfico de potencia recibida por un dipolo con el sistema de giro de 40 [cm] para todos los datos adquiridos.

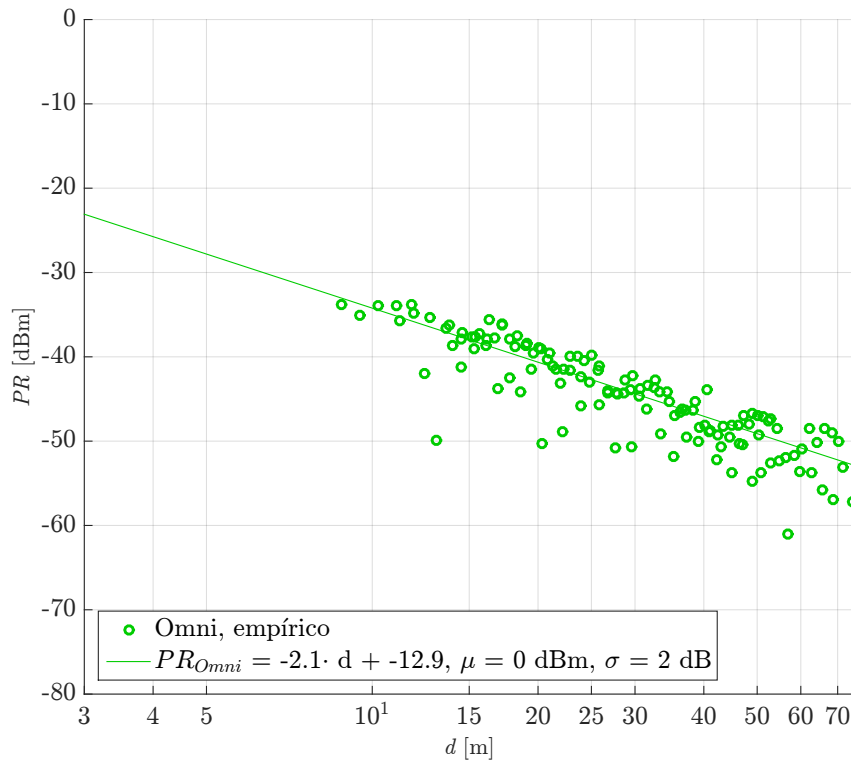


Figura 3.1: Potencia recibida por un dipolo. Cada 60 datos angulares por posición son promediados y representan un punto del gráfico

3.1.2. Dispersión Angular

Con el fin de tener indicios para un modelo de desvanecimientos de pequeña escala que se ajuste de manera apropiada a los datos adquiridos se procede a analizar la disper-

sión angular del canal. Para ello, se observa la potencia recibida en pasos de 6 grados por los distintos tipos de antenas directivas. Estos resultados se presentan normalizados en posición angular y potencia. La figura 3.2 muestra un subconjunto de los datos adquiridos utilizando el arreglo de antenas patch 4x1. Se puede observar que hay una alta presencia de componentes dominantes, las cuales están asociadas al lóbulo principal del patrón de radiación de la antenna. Sin embargo, es notoria la presencia de componentes de potencia cercana a la dominante en algunos casos, la cual no es atribuible a lóbulos secundarios.

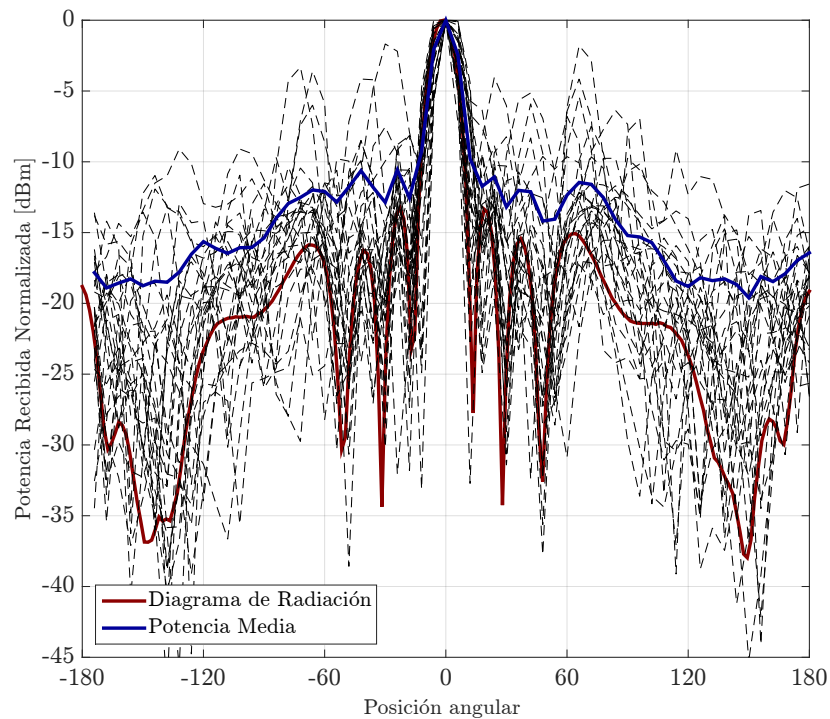


Figura 3.2: Potencia recibida vs. ángulo para el arreglo de antenas patch 4x1.

Según se comprobará en secciones posteriores (sección 3.2), modelar los desvanecimientos de pequeña escala como los de un canal riciano resultará adecuado. A pesar de que lo observado en la figura 3.2 indica la presencia de más de una componente significativa en algunos casos se comprobará más adelante, mediante simulación y

procesamiento de datos empíricos, que un modelo riciano describe adecuadamente el canal.

Las figuras 3.3 y 3.4 muestran la potencia angular recibida para un subconjuntos de los datos adquiridos con las antenas directivas restantes. Se observa que a medida que aumenta el ancho de haz de las antenas se tiene una menor resolución angular y por lo tanto una menor presencia de componentes significativos.

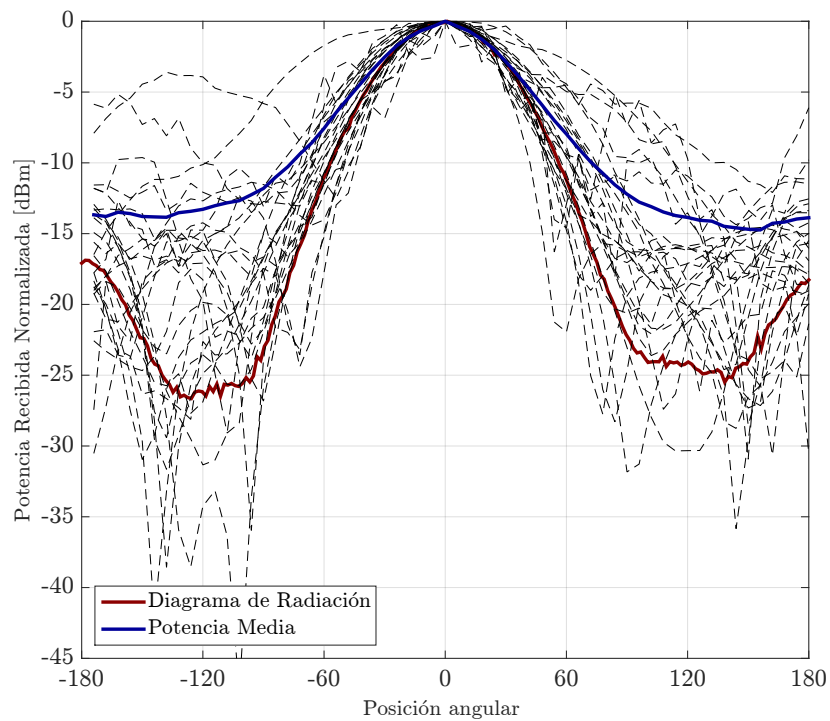


Figura 3.3: Potencia recibida vs. ángulo para la antena patch.

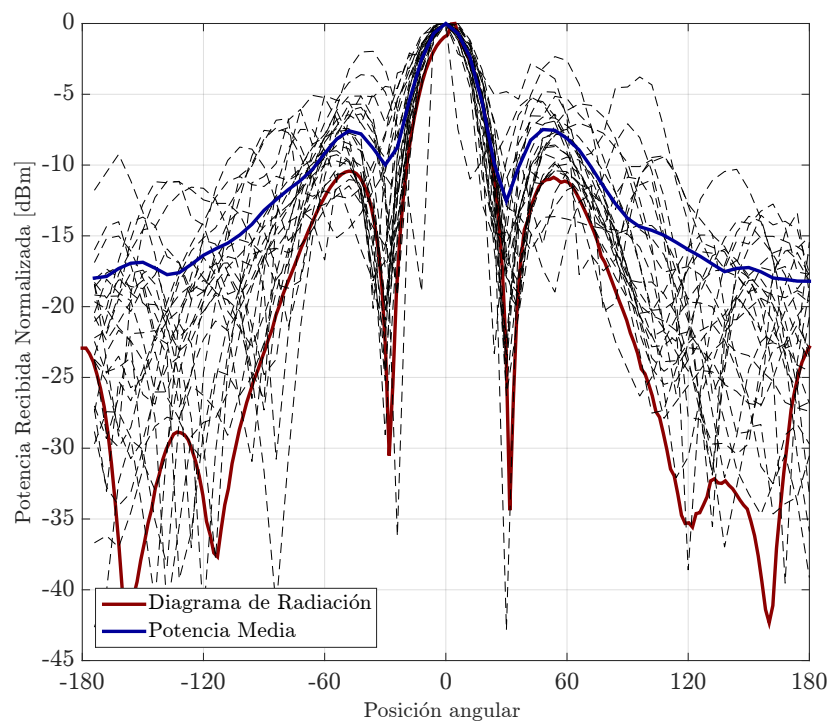


Figura 3.4: Potencia recibida vs. ángulo para el arreglo de antenas patch 2x2.

3.1.3. Desvanecimientos de Pequeña Escala

Modelar este fenómeno es de gran importancia debido a que, como se verá más adelante, la caracterización de las ganancias por diversidad dependen principalmente de estas estadísticas [4]. Los datos utilizados para describir esta característica del canal corresponden a los obtenidos por medio de la antena dipolo en el sistema rotativo de 40 [cm]. Los 60 datos de potencia de un giro permiten realizar estimaciones de los parámetros del modelo estadístico para los desvanecimientos de pequeña escala. En este caso, es utilizado el modelo Rayleigh/Rice y el parámetro factor K es estimado mediante el método de los dos momentos [1]. De los datos adquiridos se concluyó que el factor K se comporta como una variable aleatoria que puede ser modelada mediante la distribución log-normal, lo que es consistente con lo reportado en [4].

$$f_{log-normal}(K) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} K \sigma_K} e^{-\frac{(10\log_{10}(K) - \mu_K)^2}{2\sigma_K^2}} \quad (3.2)$$

La figura 3.5 muestra el ajuste del modelo en las estadísticas de todo el conjunto de datos.

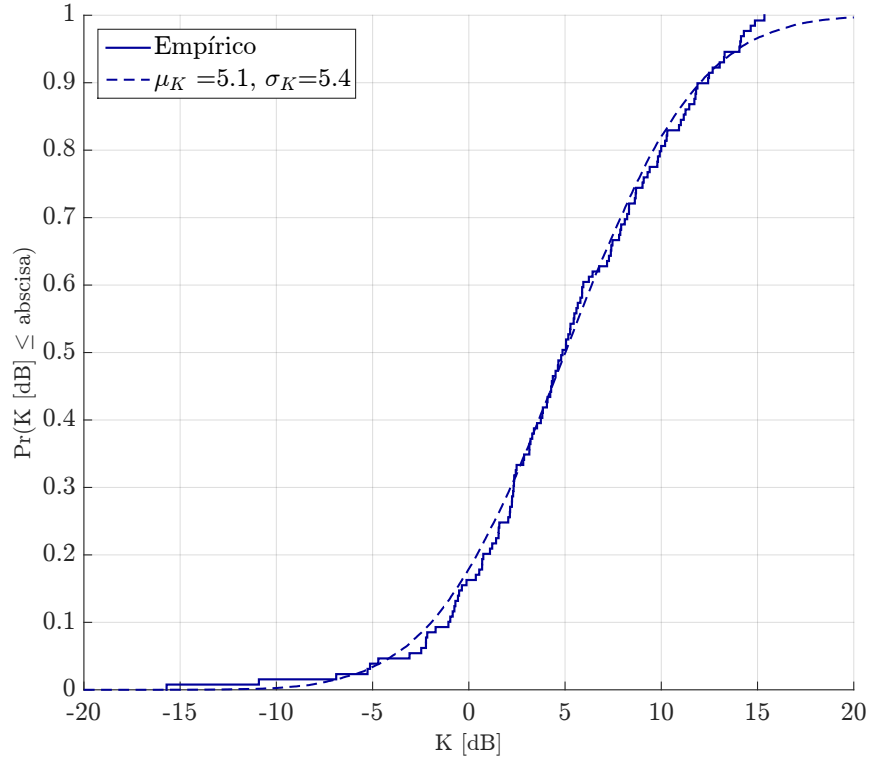


Figura 3.5: Mejor ajuste de distribución log-normal al conjunto de factor K obtenido durante la campaña de mediciones.

3.1.4. Correlación de Antena

Otro factor importante a considerar al momento de caracterizar las estadísticas de ganancias por diversidad corresponde a la correlación espacial de los arreglos de antenas utilizados para los distintos sistemas. Los resultados demostraron que la correlación espacial entre potencias recibidas por antenas omnidireccionales es una variable aleatoria dependiente de la posición. Esta correlación es modelada como $C(d) = \exp(-d/\rho)$ [4], donde d es la separación de antenas y ρ es el parámetro que define el decaimiento de correlación caracterizado por una variable aleatoria de valores extremos (EV):

$$f_{EV}(\rho) = \frac{1}{\sigma_\rho} e^{\left(\frac{\rho - \mu_\rho}{\sigma_\rho}\right)} e^{-e^{\left(\frac{\rho - \mu_\rho}{\sigma_\rho}\right)}} \quad (3.3)$$

La correlación de antena de los sistemas utilizados depende exclusivamente del

Tipo de Arreglo	μ_ρ	σ_ρ
ARC	0.73	0.14
CIRC	0.21	0.29

Cuadro 3.1: Media μ_ρ y desviación estándar σ_ρ del mejor ajuste para las correlaciones de antena en arreglo circular y de arco.

tipo de arreglo. En la tabla 3.1 se observa que para el arreglo tipo ARC el parámetro μ_ρ es considerablemente mayor que para el arreglo tipo CIRC. Esto se debe a la menor distancia entre las distintas antenas para los arreglos ARC en comparación con CIRC.

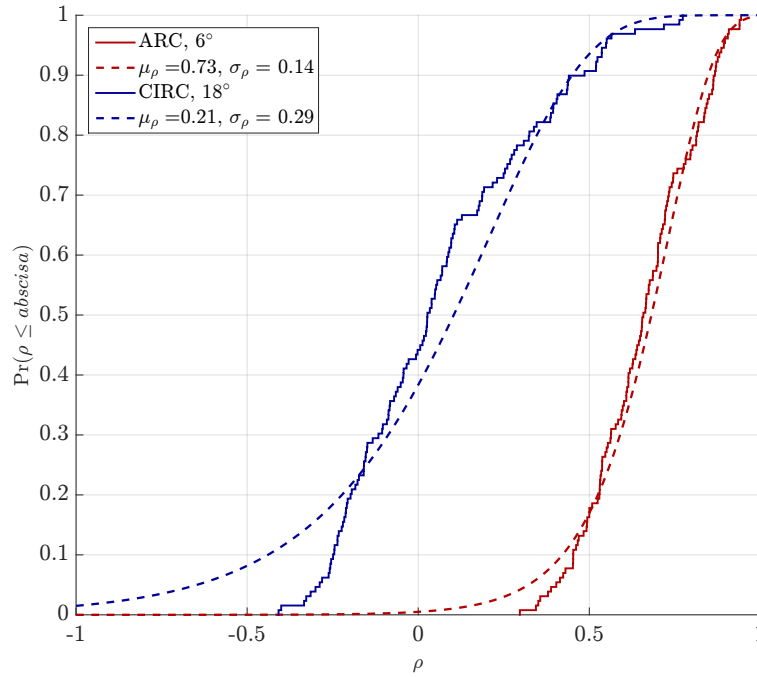


Figura 3.6: Estadísticas de correlación de antena comparadas con una distribución Extreme Value.

3.1.5. Descripción de Modelo

Con el fin de tener una base de comparación con los datos empíricos se obtienen resultados mediante la simulación de un modelo teórico de canal. Para ello se considera un modelo de desvanecimientos Rice descrito en [3]. Este modelo, ilustrado en la figura 3.7, resulta de la adición de una componente dominante no aleatoria que arriba desde una dirección angular y de una gran cantidad de componentes de multitrayecto de igual potencia distribuidas a lo largo del plano azimuth. La fase de estas componentes difusas es modelada aleatoria mediante una distribución uniformemente distribuida en el rango de 0 a 2π . Así, se caracteriza la potencia recibida por antenas directivas y omnidireccionales asumiendo que estas reciben N muestras independientes en una misma región. Para el caso de la antena omnidireccional el voltaje a la salida de sus terminales corresponde a una variable aleatoria de distribución Rice, caracterizada por el parámetro factor K, definido como la razón entre la potencia de la componente dominante y la potencia promedio de la suma de las componentes difusas. El radio del arreglo utilizado se modela mediante la correlación de antena correspondiente a cada caso. Para el caso de las antenas directivas se asume que el patrón de radiación de ganancia horizontal puede considerarse como constante sobre la región angular de $360^\circ/N$ y cero para el resto. De este modo, la antena directiva ocupa N posiciones no traslapadas. Luego, se asume que los multitrayectos se comportan de igual forma que con la antena omnidireccional y que por cada posición angular se encuentra una gran cantidad de componentes difusas. Así, las antenas directivas reciben una muestra angular distribuida Rice y N-1 muestras distribuidas Rayleigh.

Los parámetros necesarios para llevar a cabo la simulación de este modelo son obtenidos mediante la caracterización del canal. Para el factor K se utilizaron 200 muestras del ajuste log-normal obtenido en la sección 3.1.3. Estas muestras fueron procesadas en 200 iteraciones del simulador, donde en cada una se obtuvieron 60 muestras aleatorias distribuidas Rice. La correlación de antena se agrega como parámetro al modelo de mo-

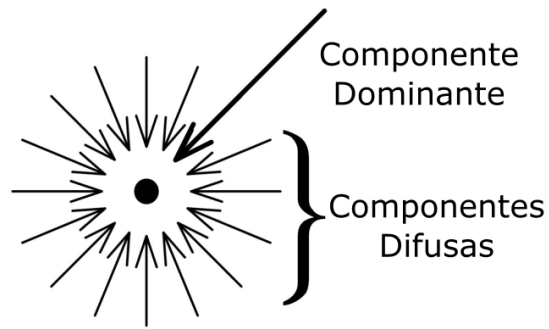


Figura 3.7: Representación espacial del modelo de desvanecimientos Rice.

do que permita simular el efecto de arreglos de antenas omnidireccionales con distintos grados de separación espacial. De este modo, las 60 muestras Rice son correlacionadas a partir de los parámetros de ajuste obtenidos en 3.1.4. Finalmente, el simulador entrega como resultado la potencia recibida por los distintos sistemas de diversidad analizados. Los resultados son presentados en la sección 3.2.

3.2. Análisis de Sistemas de Diversidad

3.2.1. Descripción Estadística de Razones de Potencia en los Sistemas de Diversidad

En esta sección se presentan los resultados principales de este trabajo, es decir, la comparación de la ganancia por diversidad obtenida por distintos sistemas de antenas ubicados en las mismas posiciones espaciales. Los resultados son presentados para los 129 enlaces obtenidos durante la campaña de mediciones y se consideran las compensaciones mencionadas en la sección 2.4.

Se comienza verificando la validez de la equivalencia estadística entre MRC espacial y angular, expresados SMRC y AMRC respectivamente, los cuales se ubican en posiciones afectadas por las mismas condiciones de desvanecimientos de pequeña escala. Para ello, se obtiene la diferencia de potencia recibida en dB entre el arreglo de antenas omnidireccionales y el de antenas directivas. Luego se obtiene la CDF de la razón entre ambas potencias ($G_{AMRC/SMRC}$) para todos los enlaces medidos. Los cálculos son realizados con los datos de las tres antenas direccionales utilizadas, es decir, para diversidad de orden 20, 12 y 5 correspondientes a las antenas directivas arreglo patch 4x1, arreglo patch 2x2 y antena patch respectivamente. Los resultados son presentados en la figura 3.8 y el resumen de la media $\mu_{G_{AMRC/SMRC}}$ y desviación estándar $\sigma_{G_{AMRC/SMRC}}$ se encuentran en la tabla 3.2. Se puede apreciar que, en general, no hay una ventaja atribuible al uso de sistemas angulares en lugar de aquellos espaciales.

N	$\mu_{G_{AMRC/SMRC}}$	$\sigma_{G_{AMRC/SMRC}}$
20	0.46	2.26
12	0.30	3.13
5	0.70	2.43

Cuadro 3.2: Media y desviación estándar de los resultados empíricos de la razón AMRC/SMRC .

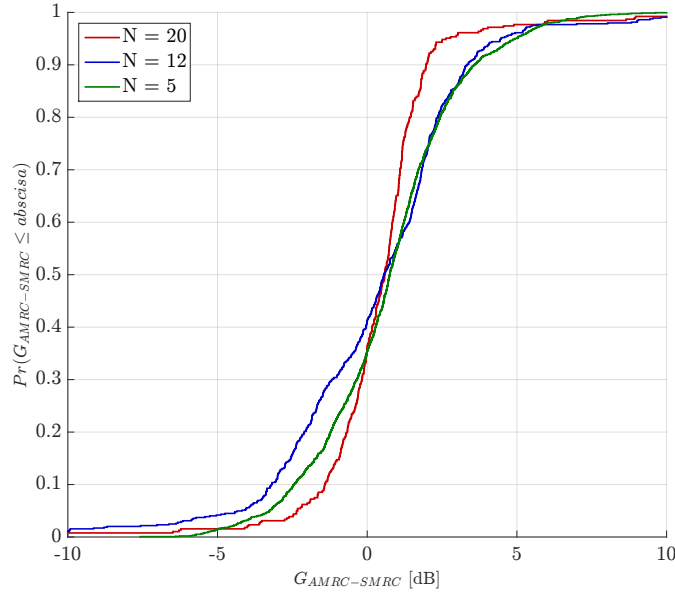


Figura 3.8: CDF: Razón de potencia recibida por un sistema MRC angular vs. MRC espacial.

A continuación se procede a evaluar y analizar la degradación del desempeño de sistemas de diversidad con solo una cadena de RF en comparación con aquellos con múltiples cadenas, como sucede al utilizar SSC y ASC en lugar de MRC espacial o angular. Además, se incluyen los resultados de una antena omnidireccional simple, es decir, de un sistemas sin diversidad. Para referirse esta degradación de sistemas en base a razones de potencia se utilizará $G_{sis/MRC}$, donde *sis* puede reemplazarse por SSC, ASC y Omni según corresponda. Estas degradaciones serán evaluadas para sistemas angulares y espaciales por separado, usando en cada caso el MRC respectivo como referencia. Como se establece que tanto MRC angular como espacial tienen un desempeño similar en promedio, esta pérdida es un parámetro relevante de comparación. La figura 3.9 muestra los resultados para $N = 20$. Como se puede observar, el incremento de la correlación de antena, que se da al utilizar un arreglo ARC en lugar de uno CIRC, tiene un efecto negativo en el desempeño de la razón SSC/MRC. Esto resulta en un leve corrimiento de la CDF a la izquierda. Para el caso Omni/MRC el efecto es leve y solo influye en los extremos de la CDF y no en su media.

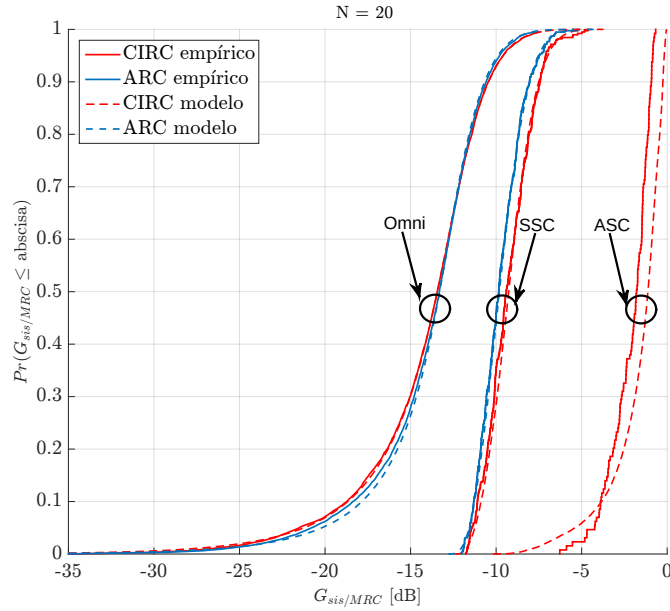


Figura 3.9: CDF: Razon de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para $N = 20$.

La media $\mu_{G_{iss}/MRC}$ y desviación estándar $\sigma_{G_{iss}/MRC}$ de las CDFs se resume en la tabla 3.3. Se comprueba que el desempeño de ASC es considerablemente mejor que el de SSC, obteniendo una mejora de 7.6 dB para el caso ARC y 7.0 dB para el caso CIRC, con $N = 20$. Por otro lado, el deterioro obtenido al evaluar la razón ASC/MRC corresponde a 2 dB considerando el valor de su media.

Parámetro	$\mu_{G_{iss}/MRC}$			$\sigma_{G_{iss}/MRC}$		
N	5	12	20	5	12	20
ASC	-1.0	-2.0	-2.0	0.7	1.0	1.2
SSC_{CIRC}	-4.3	-7.2	-9.0	1.1	1.3	1.4
SSC_{ARC}	-5.1	-7.8	-9.6	1.0	1.2	1.3
$Omni_{CIRC}$	-7.0	-10.8	-13.1	3.6	3.7	3.7
$Omni_{ARC}$	-7.0	-10.8	-13.1	2.8	3.3	3.5

Cuadro 3.3: Media y desviación estándar de las CDFs empíricas de los distintos sistemas analizados.

Por otro lado, en la figura 3.9 también se puede observar la comparación de los resultados empíricos con aquellos obtenidos por medio del uso del modelo basado en los

resultados empíricos de la caracterización del canal, es decir, en base a las estadísticas de factor K y correlación de antena obtenidas. El modelo permite predecir adecuadamente el desempeño de todos los sistemas, con un error inferior a 1 dB en la mayor parte de los casos.

Este análisis también es válido para $N = 12$ y $N = 5$, presentado en las figuras 3.10 Y 3.11 respectivamente y con el resumen de sus medias y ganancias en la tabla 3.3. Para estos casos se observa que la diferencia de la media de ganancia entre un sistema ASC sobre uno con SSC con arreglo CIRC o ARC corresponde a 5.2 dB y 5.8 dB respectivamente para $N = 12$ y a 3.3 dB y 4.1 dB para $N = 5$. Por otro lado, los resultados sugieren que para sistemas angulares el deterioro de desempeño respecto a MRC tiende a saturarse con el aumento del orden de diversidad a diferencia de aquellos con características espacial. En la figura 3.12 puede observarse el ajuste de la media de los resultados empíricos con las curvas obtenidas mediante el resultado de aplicar el modelo a múltiples valores de N en un rango de 1 a 30.

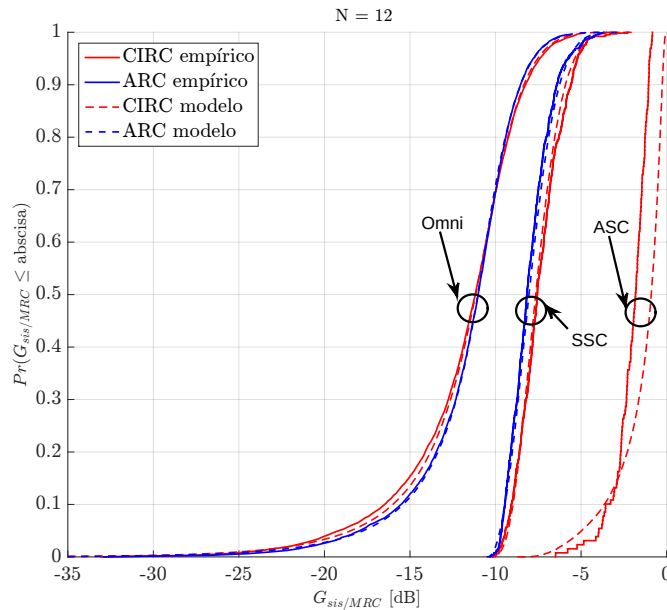


Figura 3.10: CDF: Razón de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para $N = 12$.

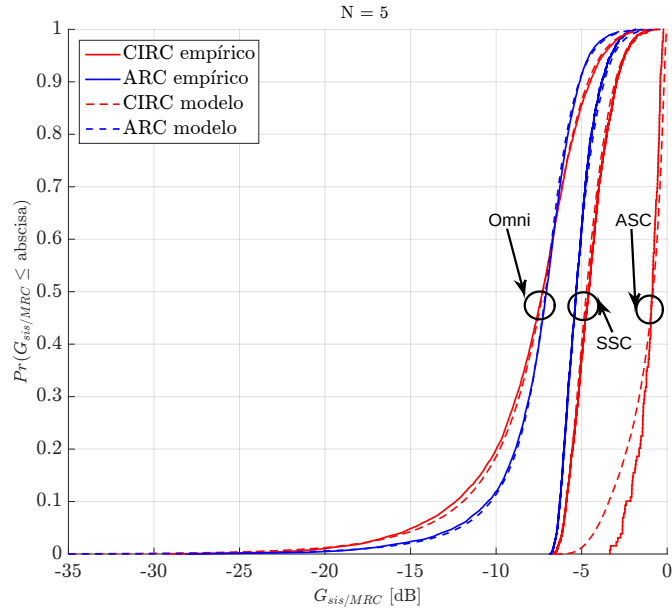


Figura 3.11: CDF: Razón de potencia de los distintos sistemas analizados vs. MRC para $N = 5$.

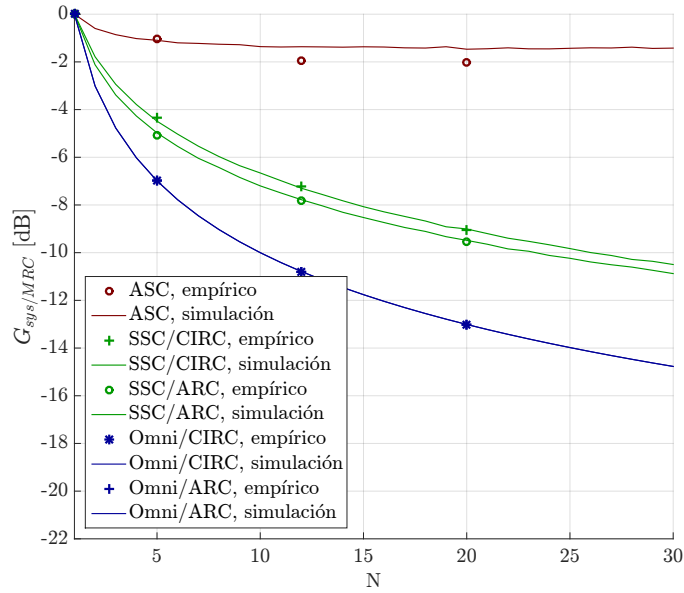


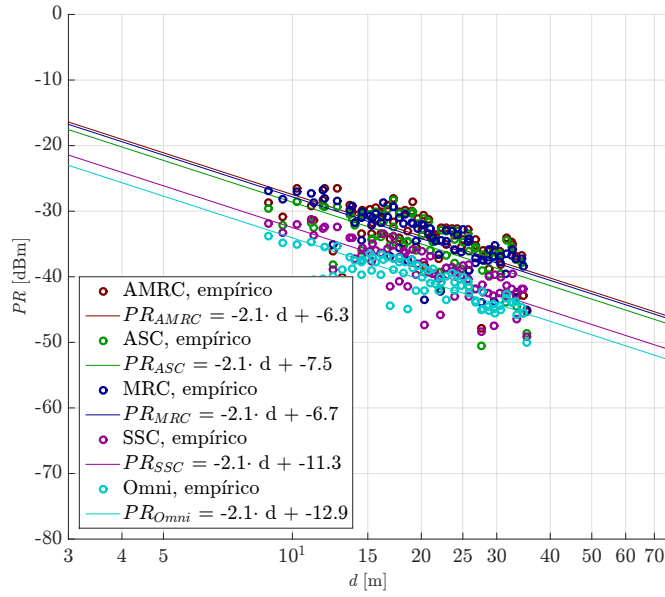
Figura 3.12: Gráfico de media vs. N para resultados empíricos y modelo.

3.2.2. Potencia Recibida por Sistemas de Diversidad

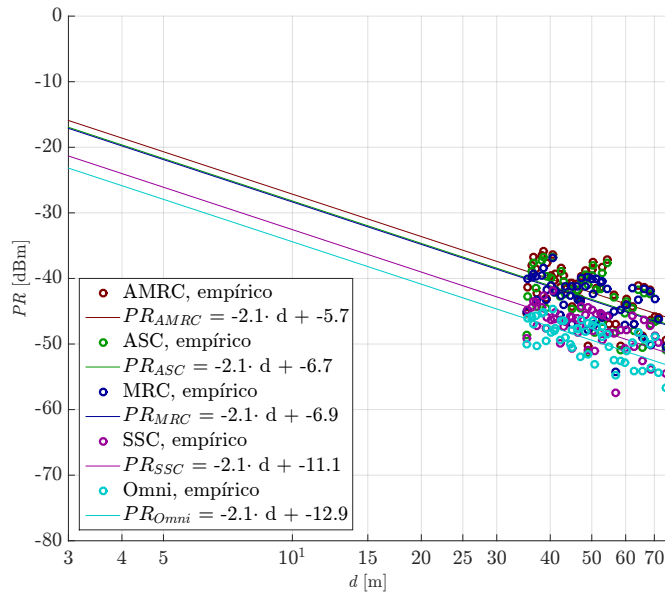
En esta sección se presenta la potencia recibida por todos los sistemas analizados con el fin de verificar si la distancia juega un rol relevante en los resultados. Para ello, se hará una regresión lineal a dos subconjuntos de datos empíricos de potencia recibida por los distintos sistemas de diversidad para los rangos de distancia de 7 a 35 m y de 35 a 74 m. Esta será denotada como PR_{sis} , donde sis puede ser reemplazado por AMRC, SMRC, ASC, SSC u Omni dependiendo del sistema que corresponda. Con el fin de establecer un valor de referencia para los datos se realiza una regresión lineal mediante el método de los mínimos cuadrados. Para permitir una comparación justa entre los distintos sistemas se fija la pendiente de las regresiones a aquella obtenida por el ajuste a la potencia recibida por el dipolo, considerando su intercepto en $d_0 = 1m$ como la potencia que recibiría en espacio libre. La tabla 3.4 resume los parámetros obtenidos mediante la regresión para todo el conjunto de datos. Se puede observar que la diferencia de potencia entre los sistemas MRC y aquellos con una sola cadena de RF es consecuente con los valores de $\mu_{G_{sis}/MRC}$. El resultado de los ajustes para los dos subconjuntos de datos es ilustrado en las figuras 3.13, 3.14 y 3.15 para $N = 5, 12$ y 20 respectivamente. Se observa que no hay un mayor efecto de la distancia en los resultados obtenidos por los distintos sistemas de diversidad, con diferencias menores a 1 dB para los ajustes de diferentes rangos de distancia.

Parámetro	n	$PR_{sis}(d_0)$			$\sigma_{PR_{sis}}$		
N	-	5	12	20	5	12	20
<i>AMRC</i>	2.1	-5.4	-1.8	-0.6	3.1	3.4	2.8
<i>ASC</i>	2.1	-6.4	-3.9	-1.6	3.5	3.9	3.7
<i>MRC</i>	2.1	-6.1	-2.1	-0.1	3.0	2.9	2.9
<i>SSC</i>	2.1	-10.5	-9.6	-9.2	2.6	2.5	2.4
<i>Omni</i>	2.1	-12.9	-12.9	-12.9	2.0	2.0	2.0

Cuadro 3.4: Parámetros de ajuste por mínimos cuadrados a potencia recibida por los distintos sistemas.

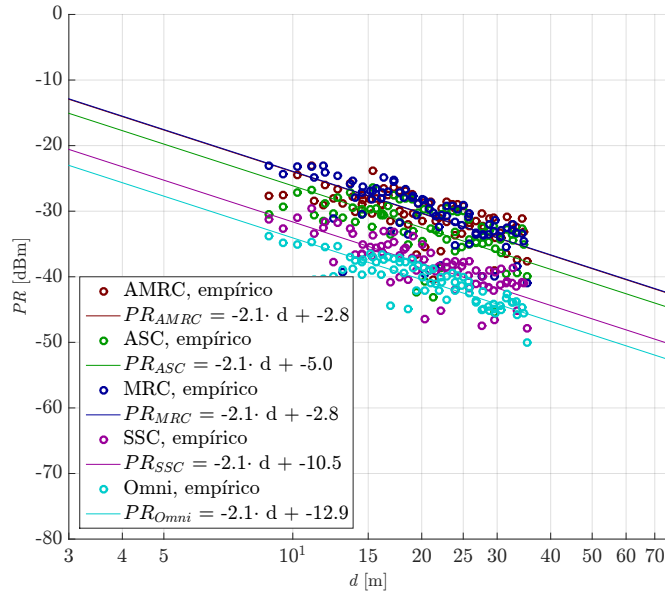


(a) Regresión para el rango 7 a 35 m.

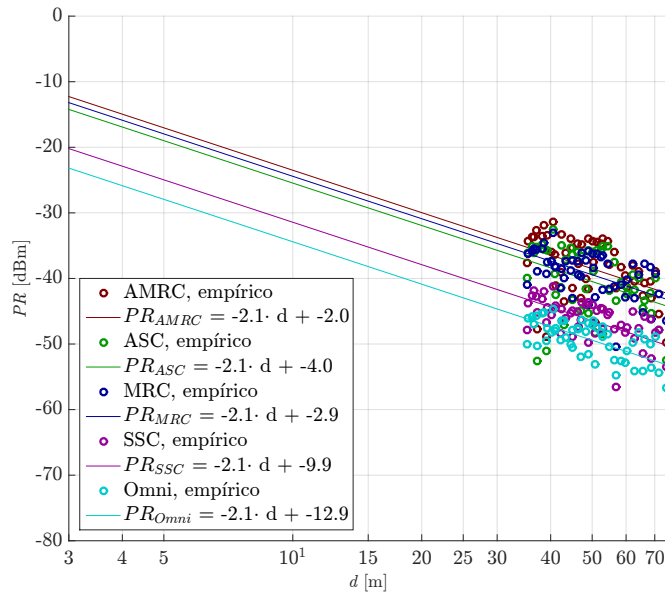


(b) Regresión para el rango 35 a 74 m.

Figura 3.13: Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con $N = 5$.

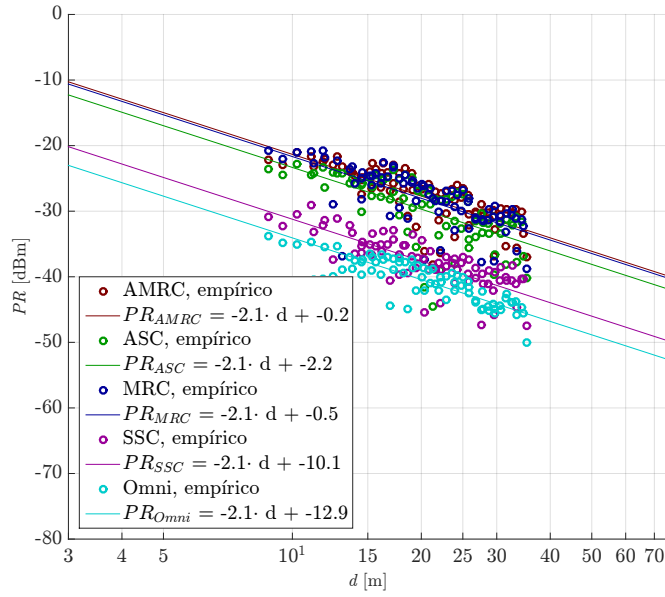


(a) Regresión para el rango 7 a 35 m.

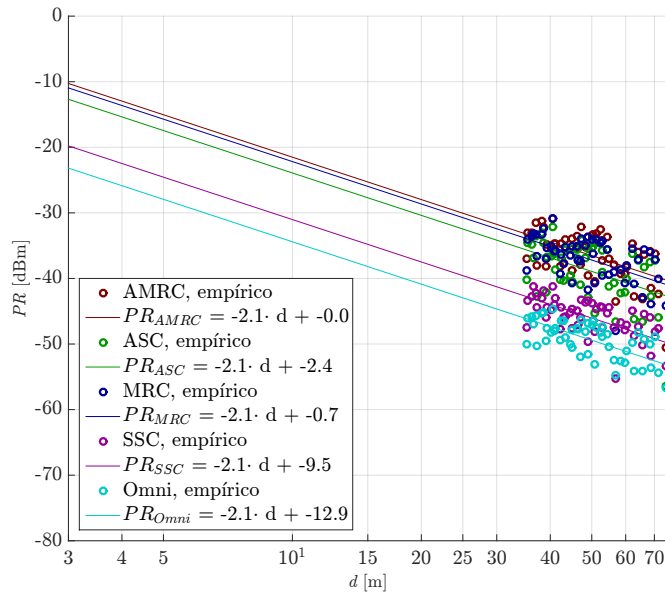


(b) Regresión para el rango 35 a 74 m.

Figura 3.14: Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con $N = 12$.



(a) Regresión para el rango 7 a 35 m.



(b) Regresión para el rango 35 a 74 m.

Figura 3.15: Potencia recibida vs. distancia para los distintos sistemas analizados con $N = 20$.

Capítulo 4

Conclusiones

4.1. Conclusiones

A lo largo de este trabajo se ha comparado el desempeño de distintos sistemas de diversidad ubicados en posiciones idénticas para enlaces inalámbricos fijos de exterior a exterior basándose en resultados empíricos. Para obtener los resultados se comparó la potencia recibida por cada uno de los sistemas respecto a su MRC correspondiente. Esta comparación, realizada entre sistemas angulares y espaciales, se valida al establecer que no existe ninguna ventaja entre cualquiera de los dos MRC considerados. Así, los resultados indican que aun cuando hay presencia considerable de multitrayectos en el entorno de propagación, se observa que ASC tiene un desempeño considerablemente mejor que SSC para todos los distintos casos analizados. Por otro lado, las condiciones de propagación permiten que ASC no tenga un deterioro de desempeño significativo con respecto a AMRC, siendo en todos los casos inferior a 2 dB en su media. Por otro lado, ASC tiene la ventaja de requerir sistemas de complejidad considerablemente inferior a un MRC, el cual necesita de múltiples cadenas de RF. Finalmente, se observa que los resultados empíricos obtenidos pueden ser modelados de manera simple y dependiendo de un número limitado de parámetros. De este modo, basta con obtener parámetros empíricos como el factor K de la distribución Rice observada en el canal

correspondiente, además de la correlación de antena, para predecir con suficiente exactitud las estadísticas de los distintos sistemas de diversidad analizados.

Bibliografía

- [1] A. F. Molisch, *Wireless Communications*, 2nd ed. Chichester, U.K.: Wiley, 2011.
- [2] C. A. Balanis, *Modern Antenna Handbook*, United Kingdom: John Wiley & Sons, 2008.
- [3] R. Feick, M. Rodríguez, L. Ahumada, R. A. Valenzuela, M. Derpich and O. Bahamonde, “*Achievable Gains of Directional Antennas in Outdoor-Indoor Propagation Environments*”, IEEE Trans. Wireless Commun., vol. 14, no. 3, pp. 1446-1456, Marzo 2015.
- [4] R. Feick, M. Rodríguez, R. A. Valenzuela, “*Achieving Near Maximum Ratio Combining Diversity Gains with Directive Antennas*”, IEEE Trans. Wireless Commun.(En revisión).
- [5] J. R. Guerci, T. Driscoll, R. Hannigan, S. Ebadi, C. Tegreene and D. E. Smith, “*Next Generation Affordable Smart Antennas*”, Microwave Journal, vol. 57, pp. 24-41, Enero 2014.
- [6] C. Ding, Y. J. Guo, P.-Y. Qiu, T. S. Bird and Y. Yang, “*A Defected Microstrip Structure (DMS)-Based Phase Shifter and Its Applications to Beamforming Antennas*”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 62, no. 2, pp. 641,651, Feb. 2014.
- [7] T. Guo, W. Leng, A. Wang, J. Li and Q. Zhang, “*A Novel Planar Parasitic Array Antenna with Frequency - and Pattern - Reconfigurable Characteristics*”, Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.13, no., pp.1569-1572, 2014.

- [8] H. Wang, et. al., “*Ultra-Compac Three-Port MIMO Antenna with High Isolation and Directional Radiation Paterns*”, Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.13, no., pp.1545-1548, 2014.
- [9] Hai-Tao Liu; Gao, S.; Tian-Hong Loh, “*Electrically Small and Low Cost Smart Antenna for Wireless Communication*”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 60, no.3, pp. 1540-1549, Marzo 2012.
- [10] Huan Li; Dexin Ye; Fazhong Shen; Bin Zhang; Yongzhi Sun; Weiqiang Zhu; Chanzhi Li; Lixin Ran, “*Reconfigurable Diffractive Antenna Based on Switchable Electrically Induced Transparency*”, Microwave Theory and Techniques, IEE Transactions on, vol. 63, no.3, pp.925-936, Marzo 2015.
- [11] Yue Li; M. F.; Zhijun Zhang; Zhenghe Feng, “*A New Low Cost Leaky Wave Coplanar Waveguide Continuous Transverse Stub Antenna Array Using Metamaterial-Based Phase Shifters for Beam Steering*”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 61, no.7, pp. 3511-3518, Julio 2013.
- [12] A. Ourir and A. de Lustrac, “*Metamaterial-based phased array for directional beam steering*”, Microwave and Optical technology Letters, vol.51, no.11, pp.2563-2656, Noviembre 2011.
- [13] L. J. Greenstein, and V. Erceg, “*Gain reductions due to scatter on wireless paths with directional antennas*”, Communications Letters. IEEE. vol. 3, no. 6, pp. 169-171, 1999.
- [14] P. Perini and C. Halloway, “*Angle and Space Diversity Comparisons in Different Mobile Radio Environments*”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol. 46, no. 6, pp. 764-775, Jun. 1998.
- [15] M.S. Stoychev nd D.C. Wittwer, “*Simulations of diversity gains of multiple omni and directive antennas in Rician channel with varying K-factor*”, Wireless Commu-

- nications and Applied Computational Electromagnetics, 2005. IEEE/ACES International Conference on, vol., no., pp.454,457, 3-7 Abril 2005.
- [16] M.S. Stoychev and D.C. Wittwer, “*Simulations of diversity gains of multiple omni and directive antennas in Rician channel with varying K-factor*”, Wireless Communications and Applied Computational Electromagnetics, 2005. IEEE/ACES International Conference on, vol., no., pp.454,457, 3-7 Abril 2005.
- [17] Ahumada, L.; Feick, R.; Valenzuela, R.A.; Hermosilla, C., “*Measured Improvement of Indoor Coverage for Fixed Wireless Loops With Multiple Antenna Receivers*”, Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, vol.7, no., pp.485-488, 2008.
- [18] Dietrich, C.B.; Dietze, K.; Nealy, J.R.; Stutzman, W.L., “*Spatial, polarization, and pattern diversity for wireless handheld terminals*”, IEEE Trans. Antennas and Propagation, vol.49, no.9, pp.1271-1281, Sep. 2001.
- [19] Datasheet ZFL-500, 11 de Diciembre de 2016, Mini-Circuits, Sitio Web: <https://www.minicircuits.com/pdfs/ZFL-500.pdf>
- [20] Datasheet ZFL-500HLN, 11 de Diciembre de 2016, Mini-Circuits, Sitio Web: <https://www.minicircuits.com/pdfs/ZFL-500HLN.pdf>
- [21] Datasheet ZFL-500HLN+, 11 de Diciembre de 2016, Mini-Circuits, Sitio Web: <https://www.minicircuits.com/pdfs/ZFL-500HLN+.pdf>
- [22] Datasheet ZJL-4HG+, 11 de Diciembre de 2016, Mini-Circuits, Sitio Web: <https://www.minicircuits.com/pdfs/ZJL-4HG+.pdf>
- [23] Datasheet ZFSC-2-2500, 11 de Diciembre de 2016, Mini-Circuits, Sitio Web: <http://www.minicircuits.com/pdfs/ZFSC-2-2500.pdf>

Apéndice A

Puesta en Marcha del Proyecto

En este capítulo se describen las alternativas de solución para llevar a cabo el proyecto y luego se discute la alternativa seleccionada.

A.1. Alternativas de Solución

Para llevar a cabo este proyecto es necesario definir aquellos equipos y sistemas necesarios para adquirir y procesar los datos empíricos. La figura A.1 muestra las distintas etapas relevantes para la campaña de mediciones que se deberá realizar y que requieren de la toma de decisiones

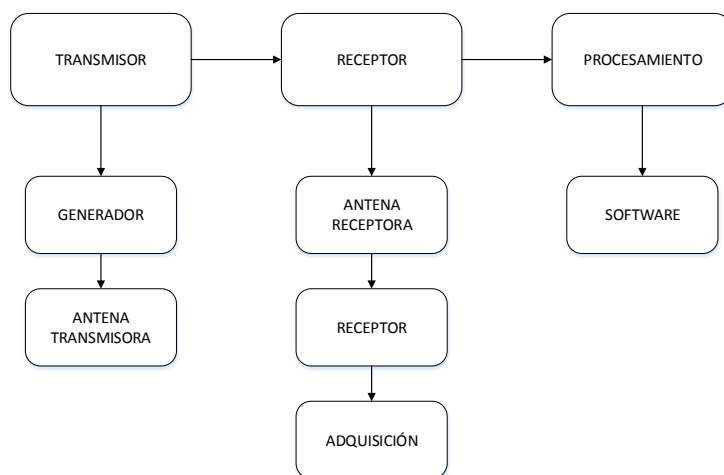


Figura A.1: Etapas necesarias para llevar a cabo el proyecto.

Se pueden diferenciar tres etapas principales: transmisor, receptor y procesamiento. Estas tres etapas definen el proceso de medición y adquisición de datos y su procesamiento. A continuación se presentan las alternativas disponibles para cada una de estas etapas.

A.1.1. Bloque Transmisor

Para el bloque transmisor, tanto el generador como la antena transmisora se encuentran definidos, ya que son parte del equipamiento utilizado en distintos proyectos del grupo de comunicaciones inalámbricas. El generador corresponde a un generador sinusoidal de potencia en la banda de los 3.5 [GHz], transmitiendo en banda angosta y conectado por un cable coaxial a una antena directiva con un ancho de haz de 60° . La antena del transmisor se encuentra 5 metros de altura y separada por 30 centímetros de la muralla más cercana, apuntando a 30° respecto a esta modo que ilumine el cañón de calle correspondiente.

A.1.2. Bloque Receptor

Para el diseño del bloque receptor se consideran dos alternativas: fabricar un nuevo receptor que cumpla con las necesidades del proyecto o reutilizar alguno de un proyecto anterior. A continuación se analizarán los pasos a seguir, cualidades y complicaciones de las dos opciones para luego optar por una en base a un análisis de desempeño.

A.1.3. Bloque Receptor: Diseño de un Nuevo Sistema Receptor

Para el sistema receptor es necesario considerar que se necesitan antenas receptoras, una base giratoria que permita obtener muestras espaciales y angulares con las distintas antenas que se utilizarán, un receptor de señales RF de banda angosta y un sistema adquisidor de datos que permita el procesamiento digital de estos.

Antenas

Para las antenas es necesario disponer de una antena omnidireccional y tres directivas, de modo que sea posible evaluar características del canal sobre antenas directivas en contraste de antenas omnidireccionales. Para este procedimiento es necesario llevar a cabo:

- Diseño de los cuatro tipos de antenas.
- Calibración en cámara anecoica para verificar un correcto diseño.
- Obtención de las características de todas las antenas, tales como ganancias y patrones de radiación.

Base Giratoria

Debido a que es necesario obtener datos que permitan caracterizar espacial o angularmente el comportamiento de distintos tipos de antenas es necesario que estas antenas se encuentren sobre un mecanismo móvil. Este mecanismo debe permitir registrar el canal de forma angular o espacial para las cuatro antenas. No se considera como opción

válida que el mecanismo sea manual, por lo tanto los giros deberán ser realizados de manera automática mediante sistemas de control y software. Para este procedimiento es necesario llevar a cabo:

- Diseño del mecanismo. Debe ser una base que permita variar altura de las antenas receptoras y que además permita que estas puedan girar alrededor de un eje variable entre 0 y 40 centímetros. Diseño de los cuatro tipos de antenas.
- Implementar un sistema automático de movimiento para el giro de las antenas, con el fin de acelerar el proceso de adquisición de datos. Esto puede realizarse con el uso de un motor paso a paso controlado por un puente H. Las órdenes al puente H deben ser enviadas desde un computador mediante algún software de control.
- El sistema de giro debe de ser compatible con el sistema de medición, de modo que el proceso de giro-medición se encuentre sincronizado.

Recepción y Adquisición de Datos

En esta etapa debe garantizarse que la potencia recibida por las antenas sea medida mediante un medidor de potencia y luego estos datos adquiridos y digitalizados para luego ser procesados mediante software. Para esta etapa será necesario:

- Diseñar un sistema receptor que pueda operar en banda angosta y a la frecuencia de interés. Este receptor debe contar con atenuadores que permitan aumentar el rango de mediciones posibles.
- Obtener la calibración del equipo, mediante una comparación entre entrada y salida de este, con el fin de verificar sus rangos lineales y de operación.
- Sincronizar el sistema receptor con un equipo de adquisición de datos. Esto debe realizarse de manera automática mediante software y en sincronismo con el sistema de giro de las antenas.

Ventajas y Desventajas

Debido a que se diseña un nuevo sistema es posible moldear los elementos que lo componen con el fin de que trabajen de la manera más efectiva posible y de este modo reducir los tiempos de adquisición de datos. Sin embargo, este trabajo requiere emplear bastante tiempo y no permite centrarse en el foco del proyecto que consiste en el procesamiento y análisis de datos empíricos

A.1.4. Bloque Receptor: Puesta en Marcha de Receptor Antiguo

Esta alternativa considera la opción de utilizar un equipo que haya sido diseñado y utilizado anteriormente en otro proyecto del grupo de comunicaciones inalámbricas y ponerlo en marcha y adaptarlo para los fines del proyecto actual. Se considera como opción principal utilizar el equipo usado en [RefOscar], para el cual tanto receptor, como antenas y base de giro de antenas cumplen con gran parte de las características deseadas. A continuación se presentan procedimientos necesarios para llevar a cabo esta alternativa.

Antenas y Base Giratoria

Para esta alternativa se encuentran disponibles las antenas necesarias y la base giratoria. Sólo es necesario realizar una mantención de los equipos.

Recepción y Adquisición de Datos

Es necesario poner en marcha el equipo receptor disponible. Para ello se deben seguir los pasos indicados en [refOscar], partiendo por la instalación de software:

- Instalar el software LabView versión 2011 aceptando las opciones por defecto.
- Instalar el programa PMS_1080 aceptando las opciones por defecto.
- Copiar la librería PMS_1080.llb en el directorio:
C:\Archivos de programa\National Instruments\Labview X.X\instr.lib\
(Donde X.X corresponde a la versión de LabView que haya sido instalada).
- Copie el archivo serpdrr en la carpeta:
C:\Archivos de programa\National Instruments\Labview X.X\
Si la versión instalada es diferente a la 2011, descargue el archivo serpdrr desde la página web de soporte de National Instruments (www.ni.com/support).

Luego, para comprobar el funcionamiento del medidor de potencia se debe:

- Conectar el cable adaptador Serial/USB al PC.
- Abrir el programa PMS1080.exe.
- Seleccionar el puerto COM al cual está conectado el cable (ver en Administrador de Dispositivos).
- Seleccionar Address 1.

Una vez verificado el funcionamiento de los controladores del medidor de potencia, es posible adquirir y guardar los datos medidos por el Frankonia Power Meter con el instrumento virtual del software LabView:

- Abrir el instrumento virtual modificado3.vi. Se verá una imagen como la mostrada en la figura A.2.
- En Motor seleccionar el puerto COM al cual está conectado el motor paso a paso.
- En Muestras por angulo ingresar el número de muestras por cada paso del motor.
- En Puerto Serial 1 seleccionar el puerto COM al cual está conectado el Frankonia Power Meter.
- En Antena ingresar el tipo de antena que será utilizada.
- En Directorio Raíz seleccionar la carpeta en la carpeta donde se guardarán los datos.
- Comenzar la medición con la opción play del instrumento virtual.

Una vez finalizada la medición, los datos quedarán guardados en la carpeta elegida con los nombres 0.txt, 6.txt, 12.txt y así sucesivamente, los cuales contienen el número de muestra y su correspondiente valor de potencia en dBm.

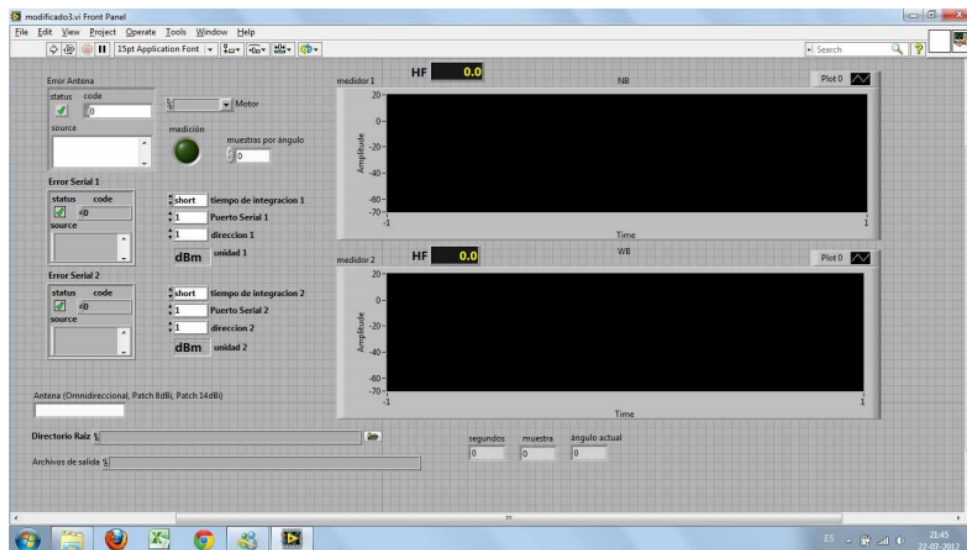


Figura A.2: Instrumento virtual del receptor.

Ventajas y Desventajas

Esta alternativa permite disponer del equipo de medición de forma inmediata, siempre y cuando se encuentre operativo. Ahorra tiempo de trabajo que puede ser dedicado en realizar la campaña de mediciones y el procesamiento de los datos adquiridos. Sin embargo, el hecho de ser un equipo rescatado de proyectos anteriores puede provocar

que algunas de sus características no sean deseables, como por ejemplo tasa de adquisición de datos o velocidad de giro de la plataforma giratoria.

A.1.5. Bloque Procesamiento

Para los software y lenguajes de programación disponibles para el procesamiento de datos se pueden destacar:

- Matlab
- R
- C/C++
- Python

En cuanto al software de procesamiento se considera que en Matlab se poseen los conocimientos suficientes y la familiaridad necesaria como para llevar a cabo sin problemas el procesamiento de los datos y de este modo avanzar de manera más eficaz que con otro software y lenguaje de programación con menos dominio.

A.2. Selección de Alternativa

En esta sección se presentan los distintos criterios de evaluación que permitirán elegir una de las alternativas ya mencionadas para llevar a cabo el proyecto.

A.2.1. Criterios de Selección

En lo expuesto en Alternativas de solución se proponen dos opciones que permiten la adquisición de datos empíricos y el procesamiento de estos. En cuanto al sistema de mediación y adquisición de datos se consideran como relevantes los siguientes puntos:

- Simplicidad de la solución: Se considera como un factor relevante que la solución del problema de mediciones sea lo más sencillo posible debido a que no es el foco principal del trabajo.
- Tiempo de desarrollo: Debido a que las soluciones pueden diferir bastante el tiempo de puesta en marcha de la campaña de medición se considera esto como un factor relevante.
- Tiempo efectivo de trabajo en proyecto: Las dos soluciones pueden presentar distintas complicaciones. Se evalúa cualitativamente cuanto tiempo se ocupará efectivamente en el procesamiento de los datos y no en el desarrollo o puesta en marcha del sistema de medición.

- Características del equipo utilizado: Dependiendo de la alternativa escogida se tendrá un conjunto de características para el equipo de medición. Estas características influirán en la decisión debido a que pueden facilitar o no la campaña de medición.
- Costo: El costo es un factor de gran importancia que puede motivar a elegir una opción más barata. La ponderación relativa que tienen cada uno de los criterios en la decisión final de la alternativa escogida, de acuerdo a las condiciones, recursos y tiempo del que se dispone son las siguientes:

La ponderación relativa que tienen cada uno de los criterios en la decisión final de la alternativa escogida, de acuerdo a las condiciones, recursos y tiempo del que se dispone son las presentadas en la tabla A.1.

Criterio de Selección	Porcentaje de Relevancia
Simplicidad de la solución	10 %
Tiempo de desarrollo	20 %
Tiempo efectivo de trabajo en proyecto	30 %
Características del equipo utilizado	20 %
Costo	20 %
Porcentaje Total	100 %

Cuadro A.1: Ponderación de los criterios de evaluación.

Se ha dado un mayor porcentaje de relevancia al tiempo efectivo de trabajo en proyecto debido a que este determina cuál de las opciones permite enfocarse lo antes posible al procesamiento de los datos empíricos. Luego los costos son de gran relevancia debido a que estos pueden ser muy elevados para equipos de radiofrecuencia y adquisición de datos. El tiempo de desarrollo influye en tiempo que es dedicado a tareas secundarias para el proyecto y las características del equipo utilizados influyen en que tan apto es el equipo usado para la campaña de mediciones. Por otro lado la simplicidad de la solución influye con poca fuerza debido a que se considera que una opción fácil no es necesariamente la más adecuada.

A.2.2. Evaluación de Alternativas

Para evaluar cada una de las alternativas se utilizará el siguiente sistema de puntuación:

Muy Deficiente	Deficiente	Aceptable	Bueno	Óptimo
0.1 - 0.2	0.3 - 0.4	0.5 - 0.6	0.7 - 0.8	0.9 - 1.0

Cuadro A.2: Sistema de puntuación de alternativas.

Evaluación: Diseño de un Nuevo Sistema Receptor

- Simplicidad de la solución: Puntuación = 0,5 (Existen precedentes de diseño de equipos similares y por lo tanto no debiera ser una tarea tan compleja).
- Tiempo de desarrollo = 0,3 (El tiempo de desarrollo puede llegar a ser excesivo si se presentan fallas inesperadas).
- Tiempo efectivo de trabajo en proyecto: Puntuación = 0,5 (Se sospecha que la mitad del tiempo se dedicaría al diseño y puesta en marcha del sistema).
- Características del equipo utilizado = 0,9 (Salvo complicaciones, un equipo diseñado para el proyecto en cuestión estaría actualizado y contaría con características bastante precisas para el fin del proyecto).
- Costo = 0,1 (Diseñar un nuevo sistema puede llegar a presentar un gran costo, aun cuando se disponga de algunos componentes básicos en los paños).

Evaluación: Puesta en Marcha de Receptor Antiguo

- Simplicidad de la solución: Puntuación = 1 (Es la solución más simple disponible).
- Tiempo de desarrollo = 0,9 (No hay mucho que desarrollar, salvo pequeñas variaciones que permitan al equipo trabajar de manera apropiada en el proyecto actual).
- Tiempo efectivo de trabajo en proyecto: Puntuación = 0,8 (La puesta en marcha del equipo no debiera ser un problema ya que hay disponible guías que lo permiten).
- Características del equipo utilizado = 0,4 (Si bien el equipo es bastante similar a lo deseado presenta algunas características poco deseables en términos de tasa de medición de datos).
- Costo = 0,9 (El costo de esta opción es prácticamente nulo).

A.2.3. Selección

En la tabla A.3 se evalúa cada una de las alternativas de acuerdo a la ponderación que tiene cada criterio. Ella muestra, que con una puntuación total del 78 %, la opción más conveniente es la Opción 1, correspondiente a la de poner en marcha un sistema antiguo con características similares a las deseadas. Luego, la opción 2 con un 46 % demuestra que si bien es una opción atractiva, presenta una serie de deficiencias en cuanto a su eficacia en proyectos de corto plazo.

Criterio de Selección	Puntuación	
	Opción 1	Opción 2
Simplicidad de la solución	0.5	1.0
Tiempo de desarrollo	0.3	0.9
Tiempo efectivo de trabajo en proyecto	0.5	0.8
Características del equipo utilizado	0.9	0.4
Costo	0.1	0.9
Puntuación Total	46 %	78 %

Cuadro A.3: Sistema de puntuación de alternativas.

Apéndice B

Planos de Escenarios de Medición



Diagrama de medición Outdoor-Outdoor
Street Canyon (USM)

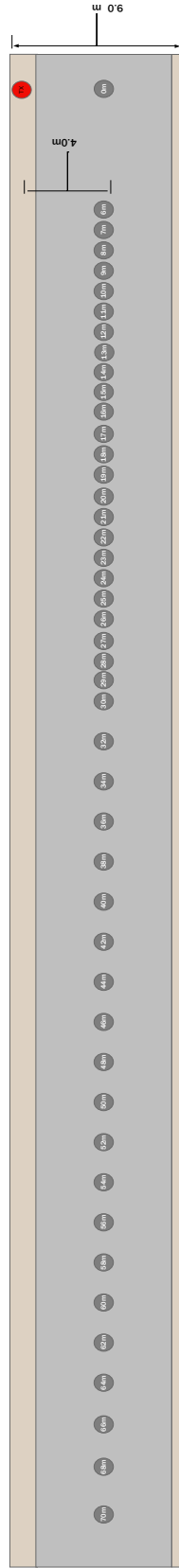




Diagrama de la calle Ejercito
Libertador UDP

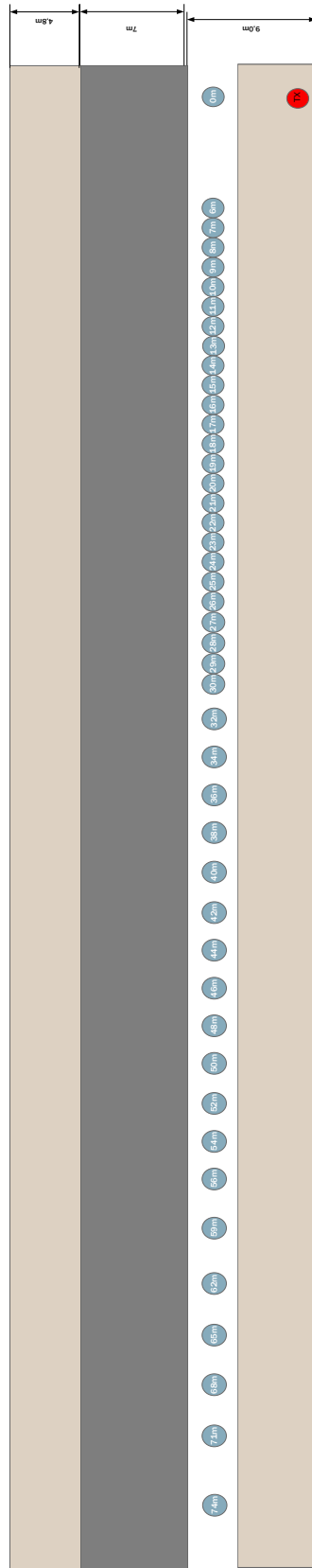


Diagrama de medición Outdoor-Outdoor
 Street Canyon (Quilpue)

