



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“ESTUDIO DEL EFECTO DE UN CONOCIMIENTO IMPRECISO DE LA POSICIÓN DE UN USUARIO EN LA ILUMINACIÓN RF USANDO UN ENLACE LÍNEA DE VISTA (LOS) EN LA BANDA DE 28 GHz”

INFORME DE MATERIA INTEGRADORA

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y TELECOMUNICACIONES

SHEYLA PRISCILLA MENDIETA GÓMEZ

ROLANDO JAVIER SORIANO BARZOLA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2016

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, quienes me brindaron su apoyo incondicional, inspirándome a jamás rendirme y seguir con mis metas y a ser la mejor en todo lo que me proponga en el transcurso de mi vida.

Agradezco también a mi novio y compañero de proyecto, quien siempre estuvo tanto en las buenas y en las malas a lo largo de mi carrera universitaria, brindándome su paciencia y comprensión diariamente durante todo este trayecto.

Finalmente agradezco a cada uno de los maestros presentes a lo largo de mi vida colegial y universitaria por todos sus conocimientos impartidos, gracias a ellos pude culminar esta hermosa etapa de mi vida.

Sheyla Prisilla Mendieta Gómez.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a mis padres, quienes con esfuerzo supieron educarme para lograr cualquier objetivo, quienes con gran dedicación cuidaron de mí en todo momento, en toda adversidad estuvieron conmigo a lo largo de mi trayecto como persona y como estudiante.

Aquellos profesores que hicieron de la cátedra algo diferente, poniendo más de sí mismos en las aulas, impartiendo conocimiento con pasión, que me enseñaron más de lo que otros enseñaban y que inspiraron a todos sus alumnos a ser mejores profesionales, mi eterno agradecimiento.

A mi novia, que me ha acompañado todos estos años ayudándome a ser mejor en lo que hago, mil gracias por todo su esfuerzo y paciencia conmigo.

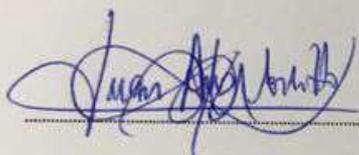
Rolando Javier Soriano Barzola

DEDICATORIA

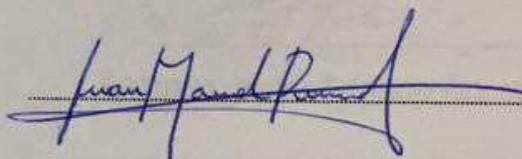
El presente proyecto lo dedico a mi madre, por hacerme la persona quien soy ahora, por inculcar en mí las bases de la responsabilidad, orden y superación personal, por sus consejos, sus valores y sobre todo, por su amor.

Sheyla Priscilla Mendieta Gómez.

TRIBUNAL DE EVALUACIÓN



Msc. Juan Carlos Avilés
PROFESOR EVALUADOR



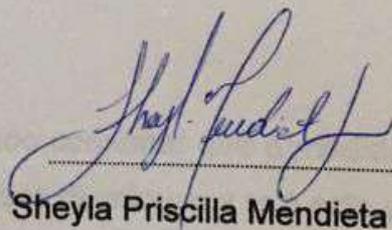
Msc. Juan Manuel Romero
PROFESOR EVALUADOR

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Rolando Javier Soriano Barzola



Sheyla Priscilla Mendieta Gómez

RESUMEN

Con base en la aplicación de un arreglo de antenas para la iluminación RF en la banda de 28 GHz, se dispone al estudio y análisis del impacto que genera el conocimiento tanto periódico como impreciso de la estación base sobre la posición del usuario. Dicha falta de conocimiento se puede traducir en una disminución considerable en la potencia promedio de recepción. En vista de esto, se estudian los modelamientos que se pueden considerar como soluciones para mitigar la necesidad de que el móvil comunique su posición continuamente.

Teniendo en cuenta este problema se propone un algoritmo en donde el usuario comunica su posición en intervalos de tiempo T . Por lo tanto, la BS obtiene información adecuada para realizar la predicción de las posibles futuras posiciones y direcciones del usuario en base a sus dos ubicaciones anteriores; con esto la base puede iluminar con su lóbulo principal al usuario sin necesidad de que el móvil comunique su posición a cada instante, tratando así que se incremente la potencia promedio recibida. Adicionalmente, se estudia el efecto de manipular el ancho de haz del patrón de irradiación y la velocidad del móvil.

Con los resultados del algoritmo propuesto, se pudo constatar que a medida que se incrementa la velocidad del móvil, la potencia recibida disminuye y que este efecto se acentúa a medida que la velocidad aumenta. Además, al agregar antenas en el arreglo (de 10 a 20 elementos), y como consecuencia reducir el ancho de haz del patrón del mismo, se observó que a pesar que existe una mayor potencia de recepción cuando la ULA ilumina al móvil, al momento en que éste deja de enviar su posición, la SNR sufre una afectación significativa en comparación a los escenarios evaluados anteriormente. Estas pérdidas aumentan cuando el usuario se mueve a velocidades superiores a 25Km/h.

ÍNDICE GENERAL

AGRADECIMIENTOS.....	ii
DEDICATORIA.....	iv
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	v
DECLARACIÓN EXPRESA.....	vi
RESUMEN.....	vii
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
CAPÍTULO 1.....	1
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del problema.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo General.....	2
1.2.2 Objetivos Específicos.....	2
1.3 Justificación del proyecto.....	3
1.4 Resultados esperados.....	3
CAPÍTULO 2.....	4
2. ASPECTOS TÉCNICOS.....	4
2.1 Definición de Antenas.....	4
2.2 Definición de arreglo de antenas.....	5
2.3 Parámetros de un arreglo de antenas.....	5
2.4 Clasificación de un arreglo de antenas.....	7
2.4.1 Arreglo Lineales.....	8
2.5 Beamforming.....	11
2.5.1 Definición.....	11
2.5.2 Funcionamiento.....	12
2.5.3 Principios de operación.....	13

2.6 Cómo afrontar la pérdida de trayectoria con más antenas.....	15
CAPÍTULO 3	16
3. EFECTO DEL BEAMFORMING DE UNA ULA HACIA UN USUARIO EN MOVIMIENTO	16
3.1 Configuración del escenario	16
3.2 Parámetros de simulación	17
3.2.1 Determinación del número de antenas.....	17
3.3 Planteamiento de escenarios	18
3.3.1 Primer Escenario	18
3.3.2 Segundo Escenario.....	24
3.3.3 Tiempo eficiente de actualización de posición	41
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
BIBLIOGRAFÍA.....	45
ANEXOS	48

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Patrón de radiación: (a) en coordenadas polares (b) en coordenadas rectangulares.....	6
Figura 2.2 FNBW y HPBW junto con red de lóbulos.....	7
Figura 2.3 Clasificación de arreglo de antenas.....	8
Figura 2.4 Arreglo lineal de antenas con separación uniforme	9
Figura 2.5 Arreglo lineal de antenas (a) con separación no uniforme asimétrico. (b) con separación no uniforme simétrico	9
Figura 2.6 Diagrama de agrupación uniforme de 4 antenas con espaciados variados.	10
Figura 2.7 Antenas para el beamforming. (a) Antena parabólica. (b) Arreglo de antenas.....	12
Figura 2.8 Principio del Beamforming en un arreglo lineal uniforme.....	14
Figura 3.1 SNR vs distancia para valores pares de antenas.....	18
Figura 3.2 Patrón de radiación para diferentes posiciones de un móvil.....	19
Figura 3.3 Recorrido uniforme de un móvil en una dirección aleatoria (a) a 45.71° (b) a 328.81°	20
Figura 3.4 Patrón de radiación del seguimiento de la antena hacia el móvil (a) Dirección a 45.71° (b) Dirección a 328.81°	21
Figura 3.5 Primera simulación de un recorrido semejante a un usuario en movimiento	22
Figura 3.6 Segunda simulación de un recorrido semejante a un usuario en movimiento	22

Figura 3.7 Curvas SNR vs Distancia entre la Base y el móvil (a) Primer recorrido (b) Segundo recorrido.....	23
Figura 3.8 Curvas CDF vs SNR (a) Primer recorrido (b) Segundo recorrido	24
Figura 3.9 Comportamiento de la SNR a través del tiempo mientras el móvil tiene iluminación continua e iluminación cada 1 segundo	25
Figura 3.10 Comparación del SNR vs CDF con respecto a la iluminación continua de la antena hacia el móvil y la iluminación cada 1 segundos.	26
Figura 3.11 Algoritmo de predicción	27
Figura 3.12 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.	28
Figura 3.13 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.	28
Figura 3.14 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 25Km/h.	29
Figura 3.15 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.	30
Figura 3.16 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 75Km/h.	31
Figura 3.17 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.	32
Figura 3.18 Contraste de la SNR a través del tiempo del algoritmo de predicción para un móvil con diferentes velocidades.....	32
Figura 3.19 Contraste de la SNR a través del tiempo del algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades (acercamiento).	33
Figura 3.20 Contraste de las curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades.	34
Figura 3.21 Patrón de radiación del ULA con 20 elementos.	35

Figura 3.22 Comportamiento de la SNR a través del tiempo de un móvil que se mueve a una velocidad de 50Km/h	36
Figura 3.23 Comparación de CDF vs SNR para una ULA con 10 y 20 elementos hacia un móvil con una velocidad de 50Km/h.....	37
Figura 3.24 Eficacia del Algoritmo Predictivo para 10 y 20 elementos en la ULA. ...	38
Figura 3.25 CDF vs SNR del Algoritmo Predictivo para 10 y 20 elementos en la ULA.	39
Figura 3.26 Contraste de las curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades usando un arreglo de 20 elementos.....	40
Figura 3.27 Curvas de CDF vs SNR para diferentes tiempos de notificación del móvil hacia la BS.	41
Figura 3.28 CDF vs SNR de Algoritmo Predictivo para $T= 30$ s y $T= 15$ s.	42

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Parámetros del escenario.....	17
Tabla 2	Parámetros iniciales de simulación del primer escenario.....	20
Tabla 3	Porcentaje de reducción de potencia promedio en la aplicación del algoritmo	40

CAPÍTULO 1

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Actualmente, las comunicaciones inalámbricas están enfrentando varios desafíos para satisfacer las necesidades de capacidad como consecuencia del exponencial aumento de usuarios que se han producido en los últimos años. Para ello se han comenzado a realizar estudios usando la banda de frecuencia de 28GHz, donde se requiere el uso de arreglos de antenas con formación de haces direccionales en la estación de base (beamforming). El uso de esta técnica se facilita cuando se conoce la posición del usuario y éste se encuentra ubicado en línea de vista, es decir, existe una conexión directa entre el móvil y la estación de base sin reflexiones de las ondas en las paredes de los edificios. Se asume que el equipo de usuario (UE) está equipado con un GPS cuya información de posición comunica a la estación de base usando el sistema celular actual operando en bandas de microondas. Basado en la posición del terminal dentro del área de cobertura, la estación de base ilumina al equipo de usuario con su máxima potencia. Sin embargo, al no conocer con exactitud la posición del móvil, existirá una disminución considerable en la potencia [10].

1.1 Descripción del problema.

De acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, con las nuevas tecnologías en desarrollo se prefiere hacer el uso de arreglos de antenas, debido a que éstas puedan adaptar la radiación de su lóbulo central y direccionarlo hacia un usuario conociendo su ubicación. La desventaja radica en las constantes notificaciones del móvil hacia la BS que provocan un consumo excesivo de batería por el continuo uso del GPS. En base a esto, se opta a que el móvil envíe señales cada cierto intervalo de tiempo. Sin embargo, ésta estrategia tiene como inconveniente

en que el móvil dejará de estar enganchado a la estación de base durante ese lapso de tiempo y por lo tanto recibe una menor potencia promedio de recepción.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo General

Estudiar los efectos en la potencia de recepción de un usuario en movimiento que se obtienen del conocimiento impreciso de su posición a través del área de cobertura y de la aplicación de un conjunto de antenas que trabajan a una frecuencia de 28GHz.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Analizar los efectos que conlleva que un conjunto de antenas ilumine continuamente a un móvil que se encuentra en constante movimiento dentro de un área de cobertura usando para esto la herramienta de software MATLAB.
- Determinar la reducción de potencia de recepción del móvil que se generan cuando este se mueve a velocidad constante dentro del área de cobertura de un conjunto de antenas cuando este no es iluminado continuamente.
- Analizar qué efectos se dan sobre la potencia de recepción del móvil a aumentar la velocidad con la que se moviliza dentro del área de cobertura cuando el arreglo lineal de antenas no lo ilumina continuamente.
- Determinar cómo mejora la recepción promedio de potencia cuando se utiliza un algoritmo de iluminación basado en la predicción de la futura posición de un usuario en movimiento.

1.3 Justificación del proyecto

Dado que el uso de la banda de 28 GHz aún está en fase de investigación, se propone realizar las simulaciones necesarias para investigar los tiempos adecuados de tiempo de reporte de posición del equipo de usuario teniendo como variables la velocidad y ancho del haz de irradiación en un escenario de enlaces con línea de vista. Se contará con la herramienta de trabajo MATLAB para la realización de estos análisis y sus respectivos resultados.

1.4 Resultados esperados

A partir del análisis a realizar en este proyecto, se espera tener una noción general de cómo se verá afectada la recepción de información que tendrá el usuario al no ser iluminado constantemente por el arreglo de antena en base a su relación señal a ruido (SNR), junto con las pérdidas de trayectoria simulando así una situación casi real en un ambiente sin obstáculos.

Adicionalmente, se espera corroborar si hay o no alguna mejora en la recepción de la señal en caso de variar el ancho de haz del conjunto de antenas y de ser así el caso, dar a conocer cuál sería el escenario más factible para el móvil con respecto al algoritmo desarrollado.

CAPÍTULO 2

2. ASPECTOS TÉCNICOS

La presente sección describirá las propiedades que posee un arreglo lineal de antenas (ULA) y sus beneficios por sobre las antenas omnidireccionales. Además se estudiará el comportamiento y características del beamforming generado bajo las diferentes circunstancias en que se encuentra diseñado el ULA, ya sea por la distancia entre los elementos o la cantidad de antenas usada en dicho arreglo, junto con el tiempo adecuado en que deberá iluminar a un usuario con el fin de reducir el consumo de la batería en el terminal debido al uso frecuente del GPS instalado en el móvil.

2.1 Definición de Antenas

Una antena es un circuito espacial, realizado con el fin de que irradie al espacio o reciba del espacio energía electromagnética. Por lo tanto se dice que es un dispositivo encargado de convertir ondas electromagnéticas "conducidas" por una línea de transmisión o guía de ondas, en ondas que pueden propagarse libremente en el espacio. Una antena es entonces una interface entre el espacio libre y la línea de transmisión. Según la aplicación de la antena, el tamaño de la misma estará relacionado con la banda de frecuencias que se quiere captar o transmitir. Cuando la antena es utilizada para emitir ondas electromagnéticas al espacio, cumple el papel de antena emisora o transmisora y cuando se emplea para interceptar o capturar ondas que se propagan en el espacio y convertirlas en energía útil, aprovechable por un receptor, cumple la función de antena receptora [1].

2.2 Definición de arreglo de antenas

Un arreglo de antena es un conjunto de antenas simples unidas bajo ciertas condiciones, generalmente iguales y orientadas en la misma dirección, las cuales son acomodadas en una disposición física determinada, relativamente cercanas unas con respecto a otras. Además cada antena es manejada por un mismo sistema de separación de señal y son capaces de concentrar la radiación en direcciones deseadas [2].

2.3 Parámetros de un arreglo de antenas

Para su buen funcionamiento, las antenas poseen ciertos parámetros importantes y susceptibles a ser medidos. La mayoría de estos parámetros se definen en transmisión, pero son válidos también en recepción [1]. Los principales parámetros en un arreglo de antenas son:

- Patrón de radiación
- Directividad
- Factor de Arreglo
- Ancho de Haz
- Red de Lóbulos.

Patrón de radiación.- Como se muestra en la Figura 2.1, es la representación de la radiación o recepción de la antena de los campos eléctricos en el espacio [2]. Se divide en “lóbulos”, regiones cerradas donde la radiación es continua. Los lóbulos están separados por puntos donde no hay radiación llamados “nulos” del patrón de radiación. El lóbulo con mayor parte de radiación se le conoce como “lóbulo principal” y aquellos que ocupan menor campo de radiación se llaman “lóbulos secundarios”.

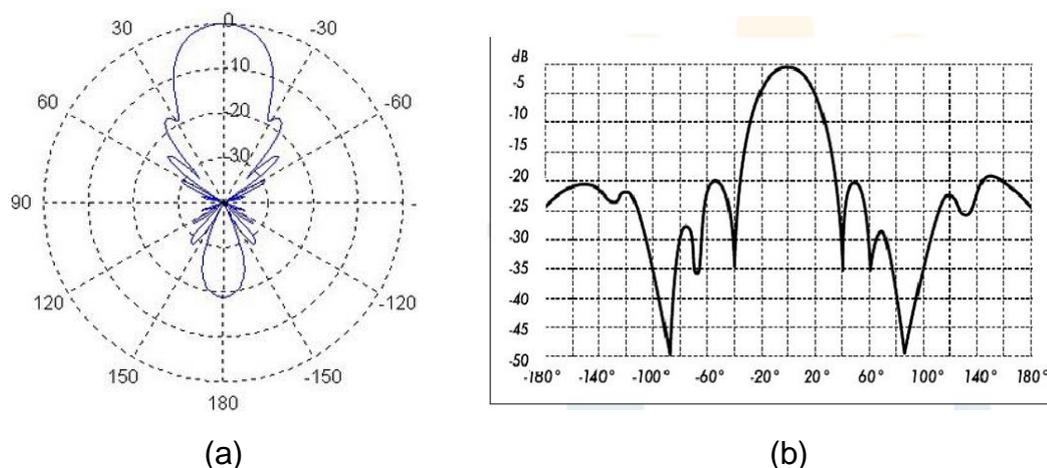


Figura 2.1 Patrón de radiación: (a) en coordenadas polares (b) en coordenadas rectangulares

Directividad.- Es la propiedad que tiene una antena de transmitir o recibir la energía irradiada en una dirección particular. Para un enlace inalámbrico que utiliza antenas fijas en ambos extremos, se puede utilizar esta directividad para concentrar la radiación en la dirección deseada. En cambio, para una estación móvil y otra fija o ambas móviles, donde no se puede predecir donde va a estar una de ellas, la antena deberá radiar en todas las direcciones del plano horizontal y para ello se utiliza una antena omnidireccional [1].

Factor de Arreglo.- El factor de arreglo, es el diagrama de radiación de una agrupación de elementos isotrópicos. Cuando los diagramas de radiación de cada elemento del arreglo son iguales y los elementos están orientados en la misma dirección del espacio, el diagrama de radiación de la agrupación se puede obtener como el producto del factor del arreglo por el diagrama de radiación del elemento [3].

Ancho de Haz.- Es la apertura angular del lóbulo principal medido en un determinado nivel de potencia constante. Un ejemplo del mismo se muestra en la Figura 2.2.

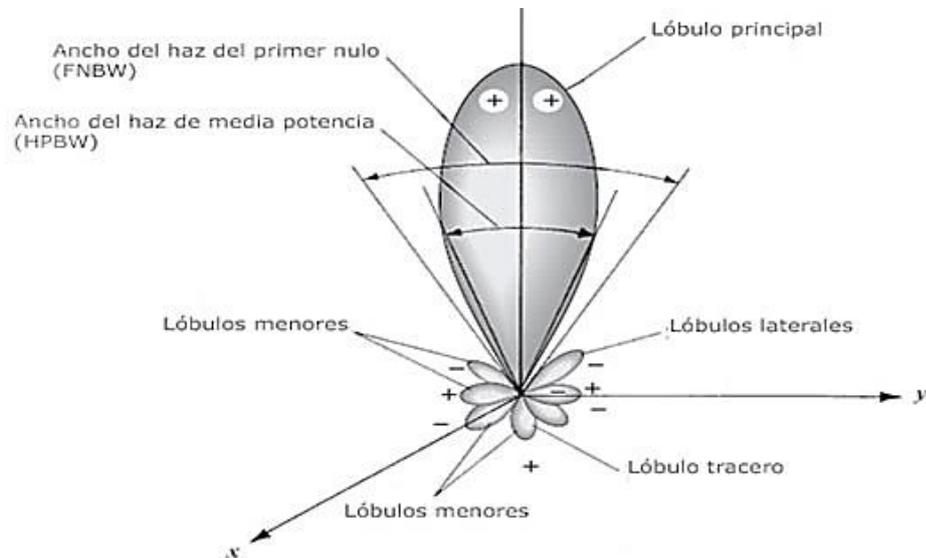


Figura 2.2 FNBW y HPBW junto con red de lóbulos [17].

Red de Lóbulos.- Son aquellos lóbulos laterales que tienen una intensidad igual a la del lóbulo principal.

2.4 Clasificación de un arreglo de antenas

Los arreglos de antenas se pueden clasificar de dos formas posibles, tal como se aprecia en la Figura 2.3. La primera es según la distribución geométrica que ocupen los elementos del arreglo, en segundo lugar, según el tipo de excitación que se les dé a cada uno de los elementos.

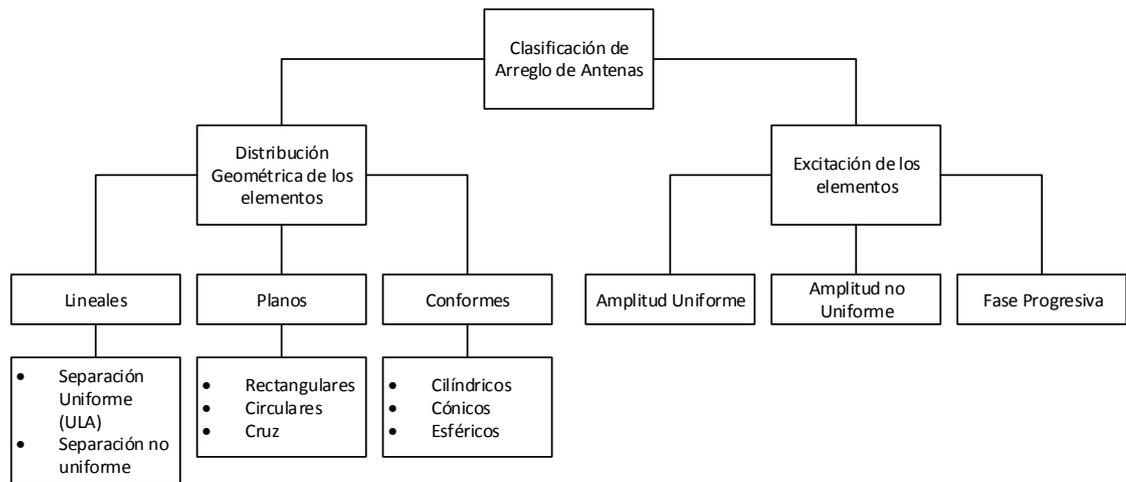


Figura 2.3 Clasificación de arreglo de antenas

Para la simplificación de esta segunda sección y enfatizar lo más relevante con respecto al desarrollo del tema del proyecto, se hará un enfoque en el tipo de antena de acuerdo a su distribución geométrica, para ser específicos, en el arreglo lineal uniforme de antenas (ULA).

2.4.1 Arreglo Lineales

En los arreglos lineales, las antenas están situadas sobre una misma línea. Se considera un arreglo lineal de elementos N donde las señales de cada elemento se multiplican por los pesos complejos W y se suman para formar la salida del arreglos, el cual se le llama factor de arreglo [3].

2.4.1.1 Separación uniforme y no uniforme de un arreglo lineal de antenas con n -elementos

Los arreglos lineales de antenas poseen dos técnicas de separación, tanto para la separación igual como para la separación desigual de los elementos:

- Separación igual de un Arreglo Lineal de N-elementos

Para la separación igual de elementos, la distancia entre cada elemento es igual a λ . La Figura 2.4 muestra un arreglo lineal de igual separación. Este arreglo también es llamado como arreglo lineal uniforme (Uniform Linear Array ULA) [5].

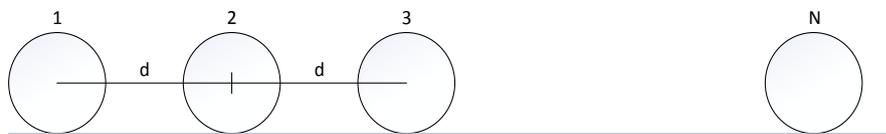
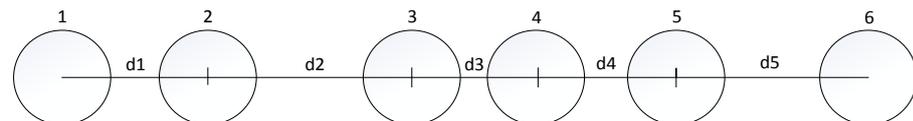


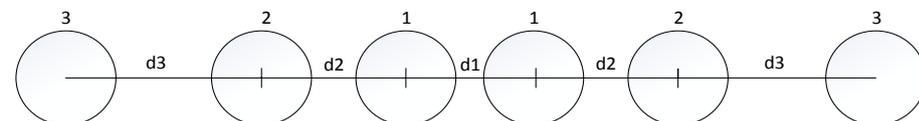
Figura 2.4 Arreglo lineal de antenas con separación uniforme [5]

- Separación desigual de un Arreglo Lineal de N-elementos

La distancia para un arreglo lineal de separación desigual con N elementos no es uniforme en el arreglo del eje z. Su configuración puede ser reordenada ya sea en un arreglo simétrico (Figura 2.5 b) o asimétrico (Figura 2.5 a) [5].



(a)



(b)

Figura 2.5 Arreglo lineal de antenas (a) con separación no uniforme asimétrico. (b) con separación no uniforme simétrico [5]

El número de máximos de radiación en el espacio real depende de la separación entre las antenas. Como se muestra en la Figura 2.6, si dicha separación es menor que $\lambda/2$, tan solo aparece un máximo principal; si el espacio entre las antenas es mayor a λ el diagrama de radiación tendrá más de un máximo principal. Estos máximos adicionales se los denomina lóbulos de rejilla o grating lobes [3].

En el caso intermedio, la aparición de lóbulos de difracción depende del desfase progresivo. El espaciado máximo será

$$d \leq \frac{\lambda}{1 + \cos\theta m} \quad (2.1)$$

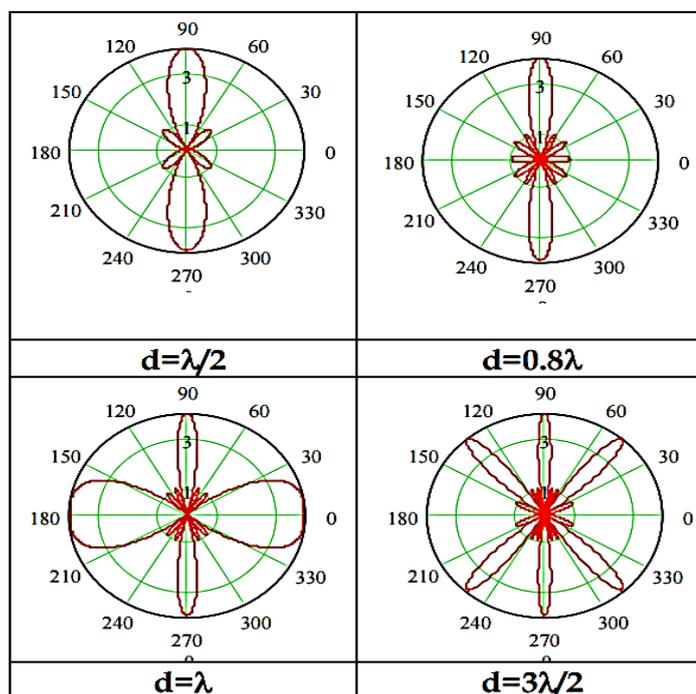


Figura 2.6 Diagrama de agrupación uniforme de 4 antenas con espaciados variados.

2.4.1.2 Número de elementos en un arreglo lineal de antenas

La ganancia aumenta de acuerdo al número de elementos. La forma de la radiación del factor del arreglo cambia a medida que el espacio entre las antenas aumenta. Para un espaciado constante, el aumento del número de elementos del arreglo supone unas mayores dimensiones, y por lo tanto un aumento de la directividad o disminución de los respectivos anchos de haz [5].

2.5 Beamforming

En muchas ocasiones, conseguir la máxima capacidad de una red inalámbrica es complicado, ya que la señal en su camino hacia el dispositivo que quiere acceder a la red encuentra multitud de obstáculos, que provocan una señal más débil. Adicionalmente, esto significa retardos en la transmisión de información. Para superar este inconveniente se ha aprovechado las ventajas de la tecnología beamforming, que con las técnicas de “Senso Direccional” y “Multi-Trayectoria” perfeccionan la direccionalidad de la transmisión y la recepción y evitan las señales de radio interferencias [6].

2.5.1 Definición

Beamforming es un proceso en el que un arreglo de antenas se utiliza en conjunto para filtrar espacialmente un frente de onda incidente con el fin de mejorar su amplitud en relación con el ruido de fondo y la interferencia direccional. El arreglo está formado por una combinación de antenas no direccionales o direccionales. Para cada elemento, el tiempo de llegada de la señal depende del DOA (Direction of Arrival) y del espaciado entre los elementos. A menos que la DOA sea ortogonal a la matriz lineal, los tiempos de llegada de la señal difieren. Cuando las señales de todos los elementos se suman coherentemente, el arreglo presenta una ganancia. Este arreglo de

antenas, conocida como una antena inteligente o adaptable, puede ser considerado como una antena final que captura toda la información separando la información de interés a través del procesamiento de la señal [7]. En la Figura 2.7 se da un ejemplo de tipos de antenas para el beamforming.

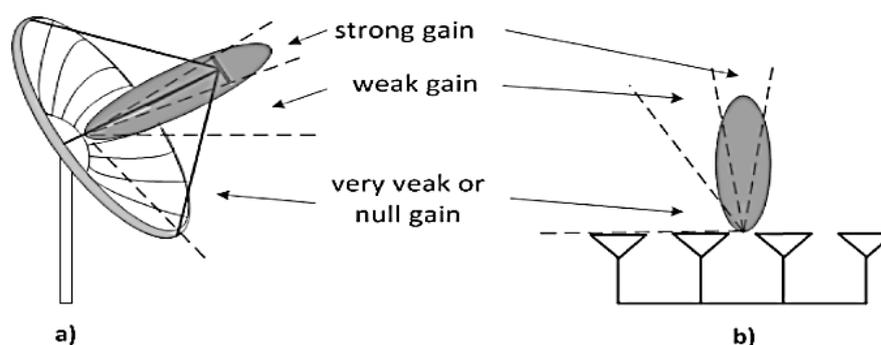


Figura 2.7 Antenas para el beamforming. (a) Antena parabólica. (b) Arreglo de antenas.

2.5.2 Funcionamiento

El Beamforming es una manera de manejar la señal de radiofrecuencia utilizando múltiples antenas para transmitir la misma señal en una cierta dirección. Un sistema que aplica beamforming normalmente envía múltiples señales y analiza el feedback (señales de vuelta) de los dispositivos de los clientes. Así, la infraestructura de la red inalámbrica puede ajustar la dirección y determinar cuál es el mejor camino que deberían tomar para alcanzar al dispositivo del cliente. Para concretar este proceso de ajuste, se utiliza un algoritmo que coordina la señal transmitida a través de la red por más de una antena a la vez, con lo cual los clientes ven mejorada notablemente la intensidad de la señal [8].

Beamforming aplica una técnica llamada Direction Sensing, mediante la cual los radios sensan la dirección de entrada de la señal para luego enfocar la transmisión en esa dirección, incrementando la fuerza de la señal inalámbrica. Esta técnica se aplica para enfocar las emisiones en múltiples caminos, que aprovecha el hecho de que las señales inalámbricas alcanzan su destino por rebote, creando múltiples caminos hacia el dispositivo final. La solución es la utilización de buffers especiales que permitan reagrupar estos paquetes [8].

2.5.3 Principios de operación

Las señales electromagnéticas son generadas por el movimiento de partículas cargadas. Como el nombre lo infiere, consiste en dos partes: una componente eléctrica y otra componente magnética. Estas componentes oscilan perpendicularmente entre sí y en dirección a la propagación. Una señal se propaga como onda electromagnética a través de medios como el aire, agua o el vacío. En el vacío, las ondas viajan a la velocidad de la luz. La radiación electromagnética induce un voltaje a la antena receptora. Una antena transmisora opera en sentido inverso al causar una radiación electromagnética como resultado de la tensión aplicada [7].

El beamforming se basa en el comportamiento de las ondas electromagnéticas. Las ondas interactúan entre sí a través de interferencias que pueden ser constructivas o destructivas. En el beamforming las ondas se combinan constructivamente en ciertos ángulos, mientras que para otros ángulos se combinan destructivamente [7].

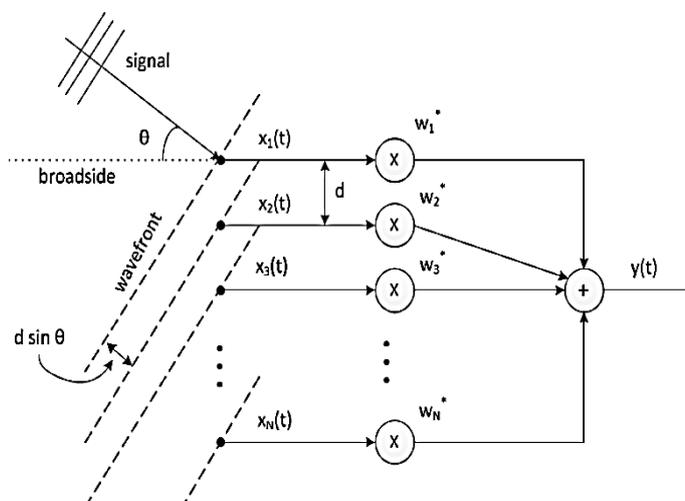


Figura 2.8 Principio del Beamforming en un arreglo lineal uniforme

La señal afecta al arreglo desde un ángulo con respecto a la dirección perpendicular del arreglo (broadside). La señal es una onda EM que llega como un frente de onda, asumiendo que el arreglo está en un campo lejano de la fuente de radiación. El arreglo posee N elementos los cuales están separados a una distancia d . Cada uno de los elementos muestrea la onda EM incidente, que es una señal espaciotemporal, y la convierte en una señal temporal. Ya que el DOA (dirección de llegada) de la señal es diferente a la del broadside, la señal llega a diferentes tiempos a los diferentes elementos de la antena. La señal alcanza primero el elemento superior con índice 1. La distancia que la onda tiene para desplazarse al siguiente elemento es una función de la separación de elementos d y del ángulo incidente y es igual a $d \sin \theta$ [7]. Una ilustración que explica el funcionamiento del beamforming se muestra en la Figura 2.8.

Mediante el peso de las señales de cada antena, es posible enfocar las señales que llegan desde una dirección particular. La salida del haz está dado por:

$$y(t) = \sum_{m=1}^N w_m^* x_m(t), \quad (2.2)$$

donde $y(t)$ es la salida de la formación de haz, $x_m(t)$ es la salida del elemento m de la antena, w_m^* es el peso complejo de la antena m , $m=1,2,3,\dots,N$ y $(^*)$ denota la conjugada compleja [7].

2.6 Cómo afrontar la pérdida de trayectoria con más antenas

Se toma como referencia un enlace de comunicación entre una estación base y un terminal (UE), operando con frecuencias de ondas en escala milimétrica, en el cual el UE tiene una antena isotrópica, es decir, que irradia y recibe igualmente en todas las direcciones. La pérdida de trayectoria entre las antenas de transmisión y recepción se calculan de la siguiente forma:

$$\frac{P_{Rx}}{P_{Tx}} = G_{Rx} G_{Tx} \frac{\lambda^2}{4\pi} \frac{1}{4\pi R^2} \quad (2.3)$$

Donde P_{Rx} y P_{Tx} son las potencias recibidas y transmitidas, y G_{Rx} y G_{Tx} son las ganancias de antena de recepción y de transmisión, respectivamente. La pérdida de trayectoria se debe en parte a la atenuación causada por la energía de la señal que se extiende en un volumen creciente a medida que crece la distancia R entre el transmisor y el receptor y se define por $1 / 4\pi R^2$. El otro factor clave en la pérdida de trayectoria es la cantidad de energía que la antena receptora puede capturar, la cual es controlada por su apertura efectiva (definida por el término $\lambda^2/4\pi$) y que disminuye con el cuadrado de la longitud de onda [9].

Esto significa que al cambiar la frecuencia de señal de 3GHz a 30GHz aumenta la pérdida de trayectoria en 20dB. Para compensar, se puede aumentar el número de antenas de recepción, pero se necesitan alrededor de 100 elementos de antena para lograr la misma apertura y, por lo tanto, la potencia recibida como la antena original a 3GHz [9].

CAPÍTULO 3

3. EFECTO DEL BEAMFORMING DE UNA ULA HACIA UN USUARIO EN MOVIMIENTO

Una vez que se tiene presente como referencia los conceptos de las ULAs y el beamforming se procedió al desarrollo de la simulación de un entorno de espacio libre donde está presente un solo usuario, el cual se va moviendo a velocidad constante a lo largo del área de cobertura. Sabiendo esto se ha considerado dos factores de análisis; en el primero el usuario se moverá en línea recta en cierta dirección dada por el programa, mientras que en el segundo escenario, se moverá en direcciones aleatorias las cuales se determinarán mediante un algoritmo que se ha realizado.

Se va a usar esta sección para definir los parámetros de simulación, y además se analizará los resultados obtenidos en el planteamiento del escenario para un móvil ubicado dentro de un área de cobertura de 200 metros en la banda de 28 GHz.

3.1 Configuración del escenario

Dado que se está trabajando en un enlace con línea de vista, las características de nuestro escenario, se lo plantea con un arreglo de antenas situado en la estación de base con un ángulo de barrido de 60 grados, tomando para el análisis un valor angular entre +30 y -30 grados. El área de cobertura corresponde a una área total de 20943 m² aproximadamente. El arreglo tiene 10 antenas isotrópicas separadas una distancia igual a $\lambda/2$.

3.2 Parámetros de simulación

A fin de obtener un mejor rendimiento en el arreglo lineal de antenas que se va a simular, fue necesario parametrizar el número de antenas que más se acoja a obtener una buena relación señal vs ruido (SNR). En este proceso se tomó en consideración 10 valores distintos.

3.2.1 Determinación del número de antenas

Teniendo como premisa una potencia de transmisión de 30dBm y la ganancia de recepción del móvil de 0dB, se toma en consideración un ancho de banda de 1GHz para el enlace que se está trabajando. Con estos datos detallados en la Tabla 1 se puede observar que una manera óptima de mejorar el enlace es variando el número de antenas hasta hallar un valor que se ajuste a los requerimientos de la simulación.

Potencia de transmisión (Pt)	30 dBm
Ganancia de recepción (Gr)	0 dB
Banda de frecuencia	28 GHz
Ancho de Banda (BW)	1GHz
Noise Figure	7
Densidad Espectral de Potencia de Ruido Térmico	-174dBm/Hz

Tabla 1: Parámetros del escenario

Como se muestra en la Figura 3.1 la relación entre la SNR y el radio del móvil dentro del escenario, se observa que a medida que va aumentando el número de antenas pares, la SNR incrementa en cualquier punto donde se encuentre

ubicado el móvil, además entre mayor sea dicho radio, la diferencia que existe entre las curvas es más notable.

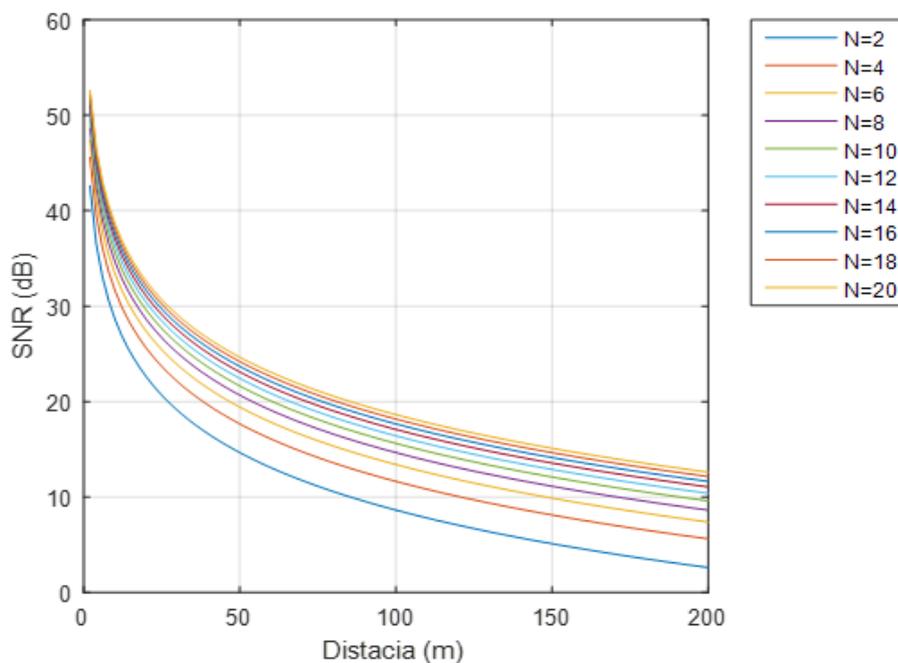


Figura 3.1 SNR vs distancia para valores pares de antenas

3.3 Planteamiento de escenarios

En esta sección se analiza el rendimiento de la potencia recibida por el móvil dentro de los tres escenarios descritos para el área de cobertura del arreglo lineal de antenas (ULA).

3.3.1 Primer Escenario

Se observará el rendimiento de la potencia recibida por un móvil dentro del área definida, simulando por medio de la herramienta MATLAB una trayectoria en línea recta, dado de que esto se trata de un escenario referencial, el algoritmo descrito no se aplica esta sección del capítulo.

A partir de esto se analiza el beamforming generado por el ULA asumiendo que la estación base conoce la trayectoria del móvil en cada instante en el que este se mueve dentro del área que se definió con anterioridad y que además no existe obstáculos intermedios que haga que la potencia recibida del móvil se vea de alguna manera deteriorada por los efectos de rebote de la señal. Teniendo en consideración que el lóbulo central tiene de cobertura un intervalo angular de entre +30 a -30 grados, se puede observar en la Figura 3.2 como se han generado patrones de radiación para diferentes posiciones del móvil.

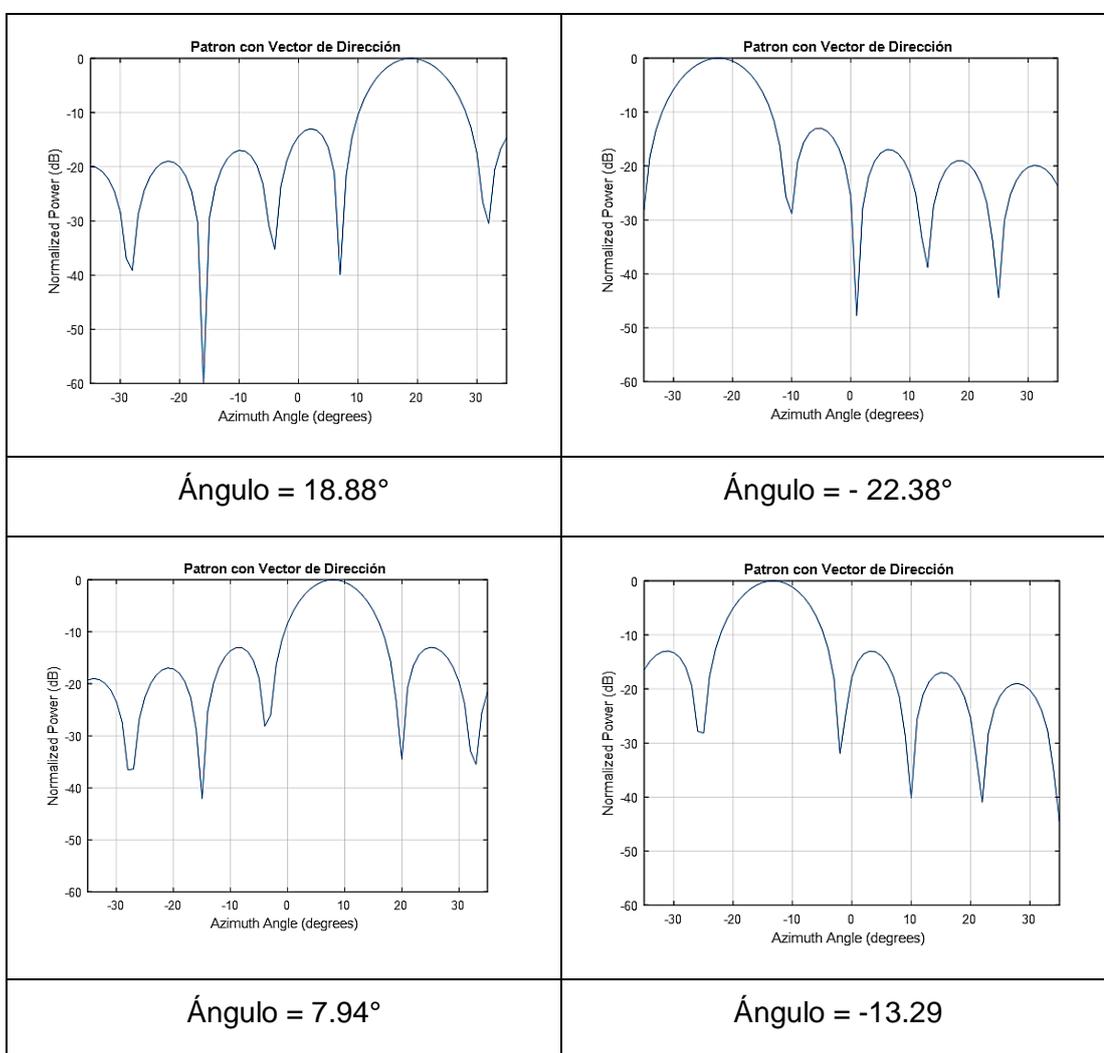


Figura 3.2: Patrón de radiación para diferentes posiciones de un móvil.

Con estos datos se procedió a darle una dirección aleatoria al móvil para que comience una trayectoria en línea recta. Se hicieron dos simulaciones con diferentes direcciones partiendo desde el mismo punto. Los resultados de dicha simulación se muestran a continuación en la Tabla 2.

Radio	181.15 m
Ángulo	18.88°
Posición X	171.40 m
Posición Y	58.63 m
Dirección A	45.71°
Dirección B	328.81°

Tabla 2: Parámetros iniciales de simulación del primer escenario

Seguidamente en la Figura 3.3 se muestra el recorrido del móvil para ambos casos, una vez teniendo presente los datos se procedió a contrastar sus resultados.

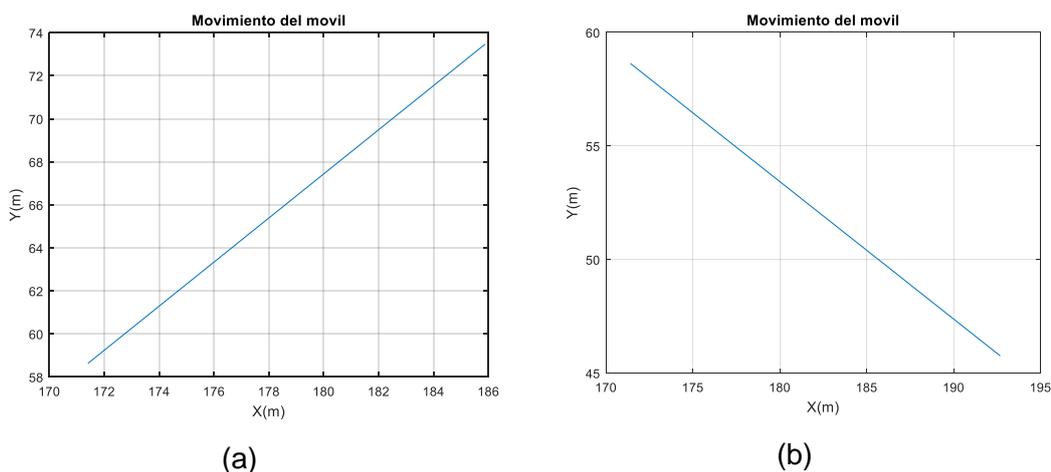
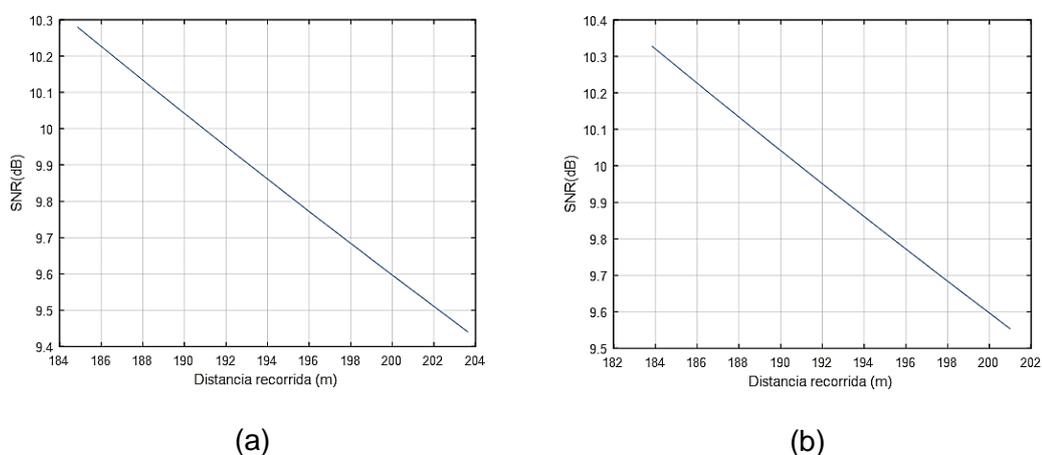


Figura 3.3 Recorrido uniforme de un móvil en una dirección aleatoria (a) a 45.71° (b) a 328.81°

Mientras el móvil se mueva en las trayectorias anteriormente descritas, su radio, con respecto a la antena, cambia dependiendo de la dirección que tome, variando así su relación Señal a Ruido (SNR). Sin embargo como la base conoce la posición exacta del móvil su potencia será máxima, por lo tanto la SNR se describe de manera lineal, independientemente de la dirección que tome, tal como se muestra en la Figura 3.4.



**Figura 3.4 Valores de SNR con respecto a la distancia recorrida por el móvil
(a) Dirección a 45.71° (b) Dirección a 328.81°**

Por lo tanto, entre más alejado esté el móvil de nuestro arreglo de antenas la SNR se verá disminuida y mientras más cerca, el efecto será el contrario.

Luego de observar los efectos del beamforming para un usuario que mantiene un recorrido sin cambios, se propuso una situación más realista, en la cual el móvil tome direcciones aleatorias de movimiento, como si éste efectuara un recorrido semejante al de una persona dentro de la ciudad. Para esto se simula dicho movimiento sin salirse del área de cobertura de la antena antes mencionados, el resultado de estas simulaciones se muestran en las Figuras 3.5 y 3.6. Con estas trayectorias se busca analizar el seguimiento exacto del beamforming del ULA para cada posición en la que se encuentra el usuario, el

cual se reportará continuamente a la BS mientras mantiene una velocidad constante de 50Km/h.

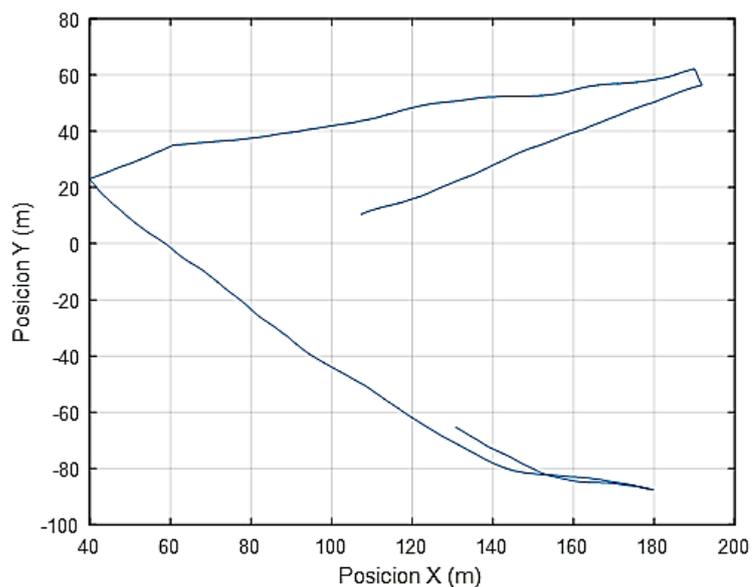


Figura 3.5 Primera simulación de un recorrido semejante a un usuario en movimiento

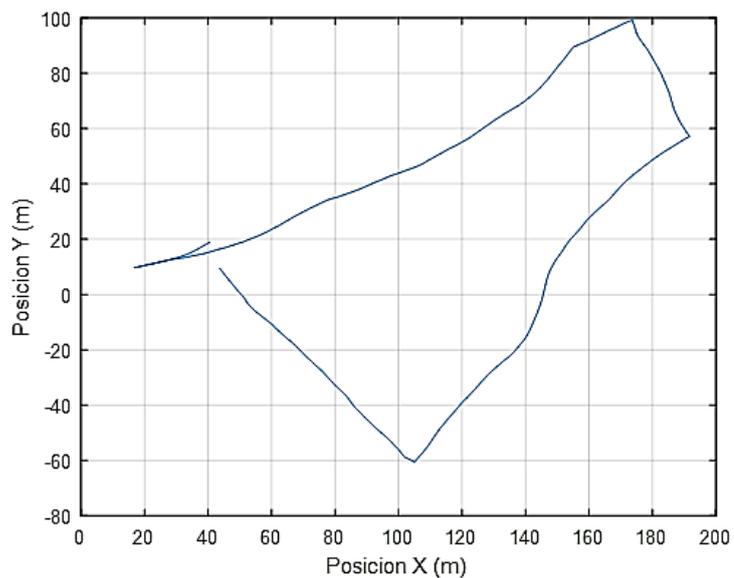


Figura 3.6 Segunda simulación de un recorrido semejante a un usuario en movimiento

Como se puede observar en la Figura 3.7 al igual que en nuestro primer planteamiento, la curva SNR para ambos casos mantienen una similitud en su curva, dado que no existe un tiempo de retardo entre el conocimiento de la estación base sobre la posición del usuario en cada instante de tiempo. Así se comprueba el planteamiento teórico de las ULA's dando al móvil su potencia máxima mientras esta tenga presente la ubicación del usuario durante el transcurso que permanece en movimiento.

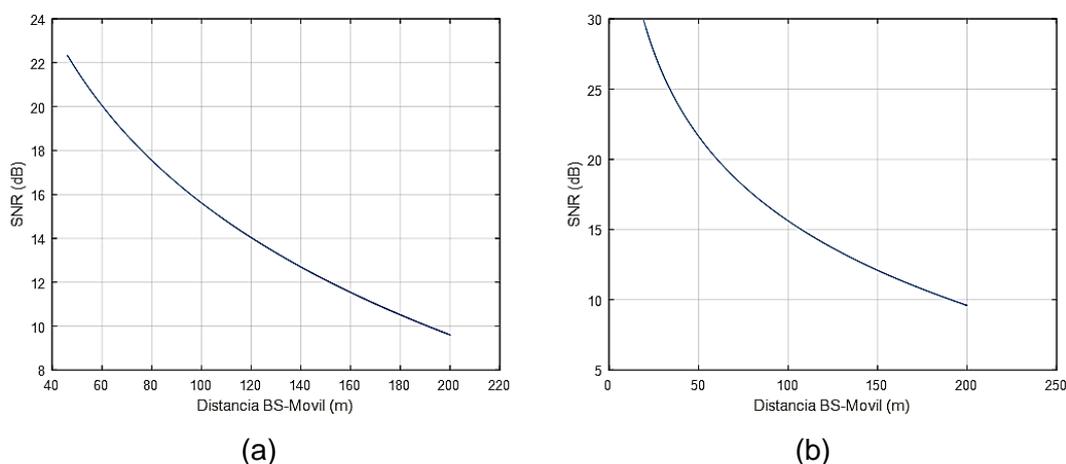


Figura 3.7 Curvas SNR vs Distancia entre la Base y el móvil (a) Primer recorrido (b) Segundo recorrido

Durante el trayecto del móvil el factor que toma valores no contiguos es la distancia que existe entre este y el arreglo de antenas, debido a esto se recurre a tomar en consideración la distribución acumulativa para conocer qué tan viable es el enlace durante todo el camino del usuario, para esto se utilizó un algoritmo que permite obtener la curva de CDF vs SNR, tal como se muestra en la Figura 3.8.

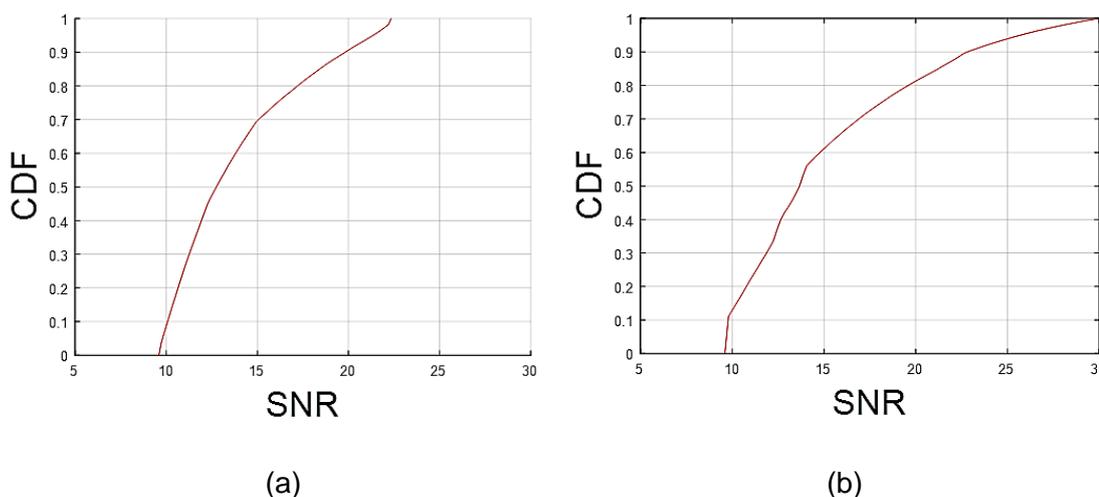


Figura 3.8 Curvas CDF vs SNR (a) Primer recorrido (b) Segundo recorrido

Éstas curvas se las toma como puntos referenciales para los siguientes análisis.

3.3.2 Segundo Escenario

Puesto que no es eficiente que el móvil envíe señales de manera constante hacia la estación de base para que ésta lo ilumine continuamente (ya que esto implica un enorme consumo de la batería del móvil) se realizan los siguientes análisis que se propusieron para mitigar este problema.

Se planea analizar la potencia recibida cuando el móvil se mueve por la ruta descrita en la Figura 3.6, con la diferencia que para este caso el conjunto de antenas iluminará al usuario cada cierto tiempo T , ya que éste por medio del GPS le informará a la estación base su posición en dicho tiempo, el cual re-direccionará el lóbulo principal de la ULA hacia la ubicación que le informó el móvil. Para este caso, se ha tomado en consideración un tiempo de reporte de posición de 1 segundo.

Teniendo presente lo descrito anteriormente, se puede observar en la Figura 3.9 la diferencia de curvas entre un móvil que está enviando señales de GPS de manera continua, contra ese mismo móvil enviando la misma señal cada 1 segundo. Debido a que la ULA permanecerá apuntando en la última posición del móvil hasta que este vuelva a informar sobre su posición, existirán pérdidas ya que el móvil continuará con su recorrido, causando que la potencia de recepción durante este corto intervalo de tiempo se vea afectada.

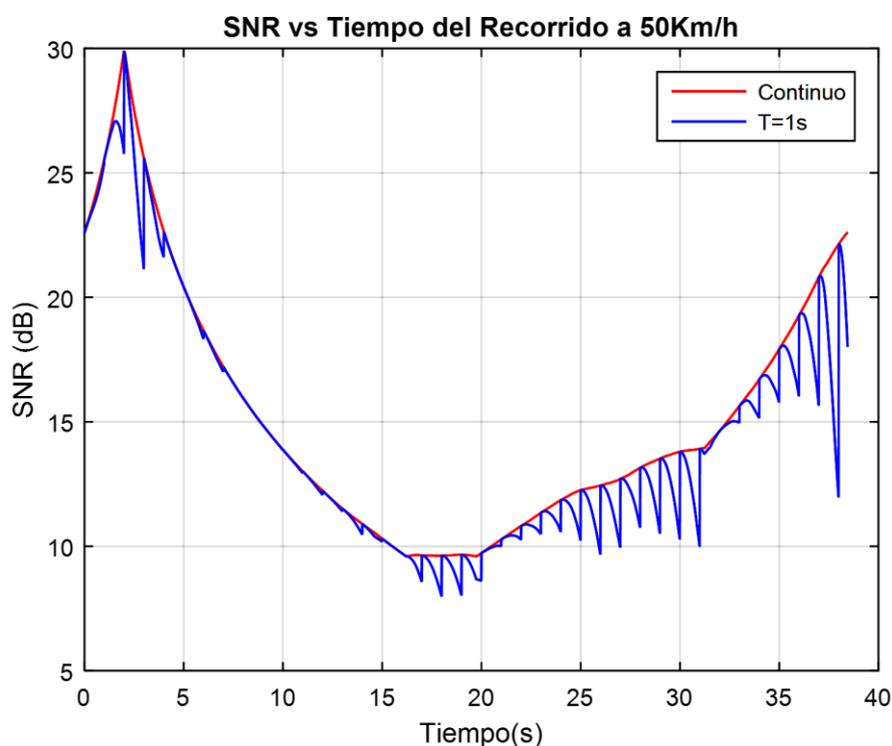


Figura 3.9 Comportamiento de la SNR a través del tiempo mientras el móvil tiene iluminación continua e iluminación cada 1 segundo

Se procedió a realizar la CDF del enlace, tal como se muestra en la Figura 3.10 de manera que reafirma lo ya antes mencionado.

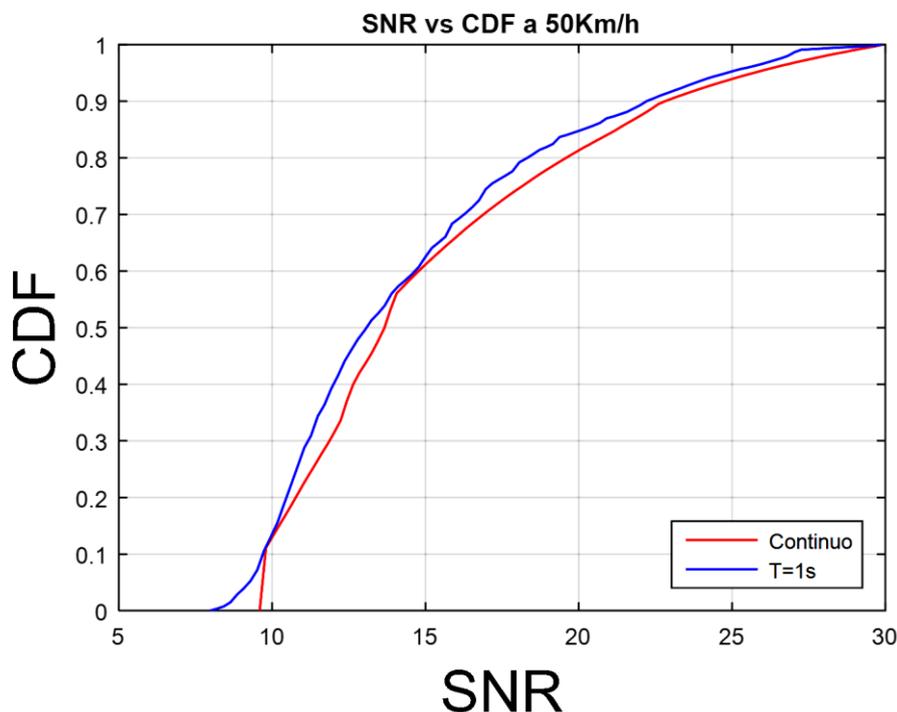


Figura 3.10 Comparación del SNR vs CDF con respecto a la iluminación continua de la antena hacia el móvil y la iluminación cada 1 segundos.

Al observar que el móvil no recibe la potencia adecuada durante todo su recorrido, se tratará de mejorar dicho factor de tal manera que, mediante un algoritmo, se pueda predecir la posición del móvil usando el conocimiento previo de las posiciones anteriores que obtiene la base a través GPS, de tal manera que haya alguna mejora en la curva que nos muestra la CDF.

Criterio del Algoritmo de Predicción

Tomando en consideración N reportes previos de posición que envía un móvil a la BS, el algoritmo propuesto se basa bajo el siguiente criterio matemático:

$$\theta_{i+2} = \frac{\theta_{i+1} - \theta_i}{2} + \theta_{i+1} \quad (3.1)$$

Donde θ es la posición angular del móvil y $i = 1, 2, \dots, N-2$

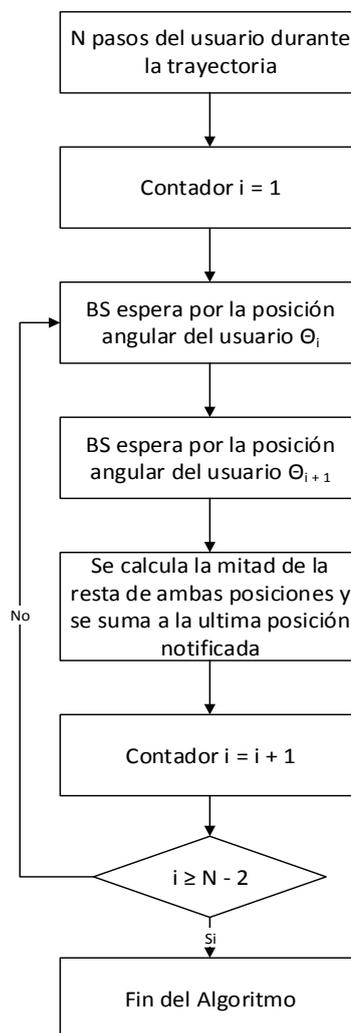


Figura 3.11 Algoritmo de Predicción

De esta manera, al tomar como referencia la Figura 3.10, se puede observar en las Figuras 3.12 y 3.13 se ha mejorado significativamente la potencia recibida por el usuario, por lo tanto se puede dar por asentado que el algoritmo predictivo resulta efectivo, teniendo como punto referencial la curva representativa de la iluminación continua nuestro algoritmo logra predecir en su mayoría la posición próxima del usuario en un tiempo intermedio de lo que ocurría para el primer escenario, por lo que el móvil no estará tan alejado del lóbulo central de la ULA, teniendo así siempre un valor regular de su potencia recibida.

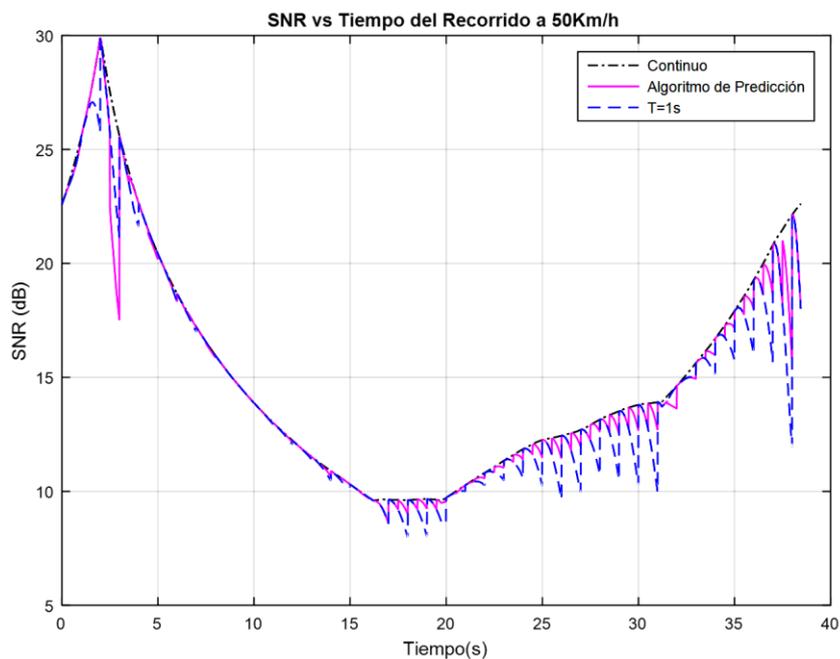


Figura 3.12 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.

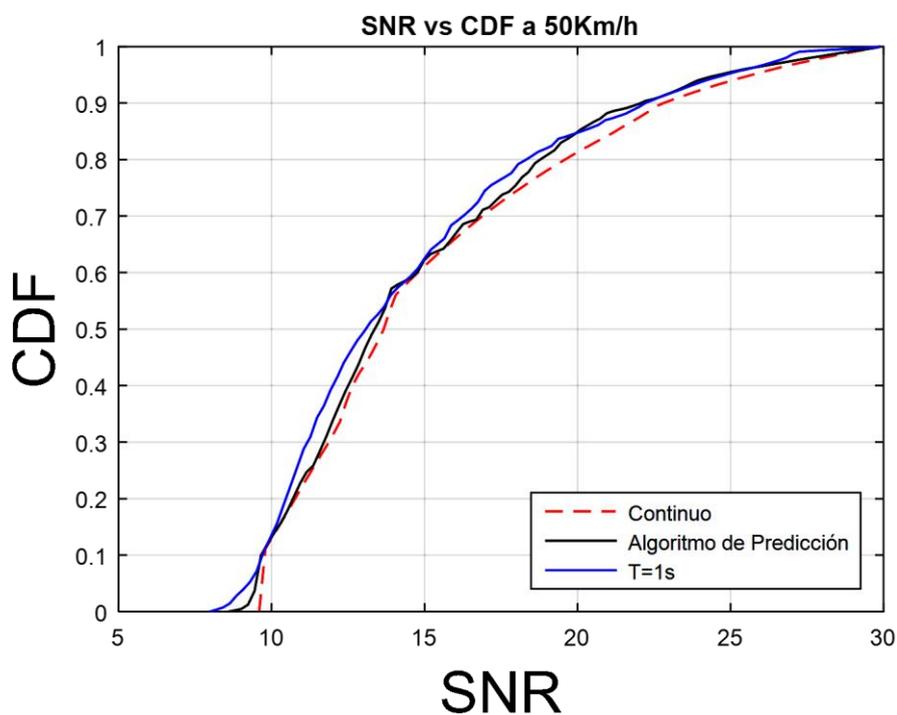


Figura 3.13 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.

Una vez constatada la validez del algoritmo, se dio paso a hacer algunas variaciones al escenario simulado.

Se optó por modificar la velocidad con la que se mueve el usuario a 25Km/h, la cual es una velocidad menor a la anterior y de esta manera observar si repercute de alguna forma en las gráficas mostradas previamente.

Como se puede observar en la Figura 3.14, se muestra como la eficiencia del enlace mejora tanto en la iluminación de la antena al usuario cada 1 segundo y en nuestro algoritmo de predicción siendo la velocidad del móvil menor.

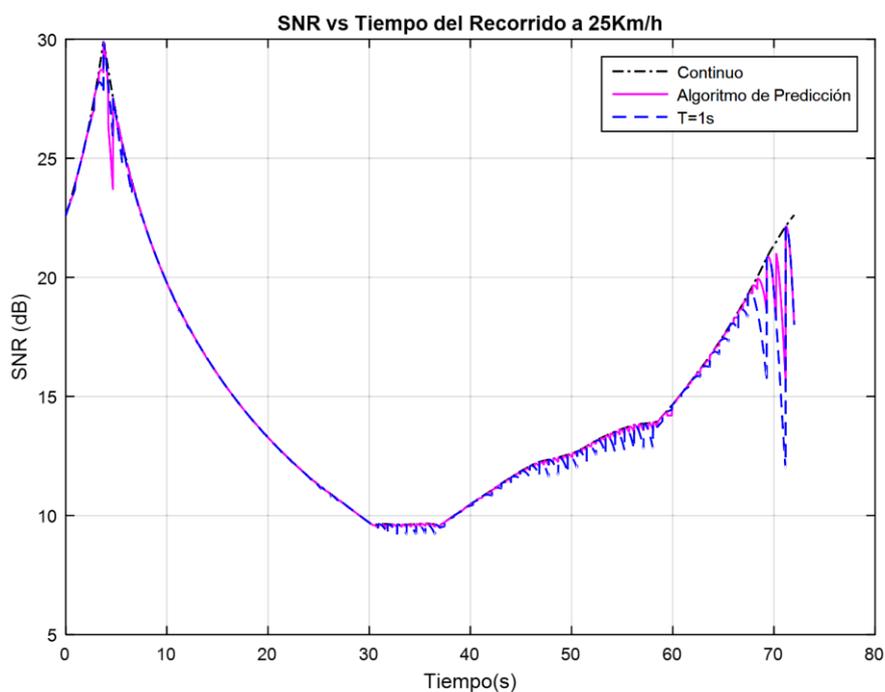


Figura 3.14 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 25Km/h.

En la Figura 3.15 se puede confirmar lo previamente dicho con las gráficas de CDF expuestas, las cuales muestran cómo la curva realizada por el algoritmo de predicción se va acercando a la referencia siendo la velocidad del móvil

menor que en el caso anterior, lo cual indica que mientras la velocidad vaya disminuyendo se puede incluso aumentar el tiempo en que el móvil notifique a la BS su posición y por ende darle mejor uso al algoritmo realizado.

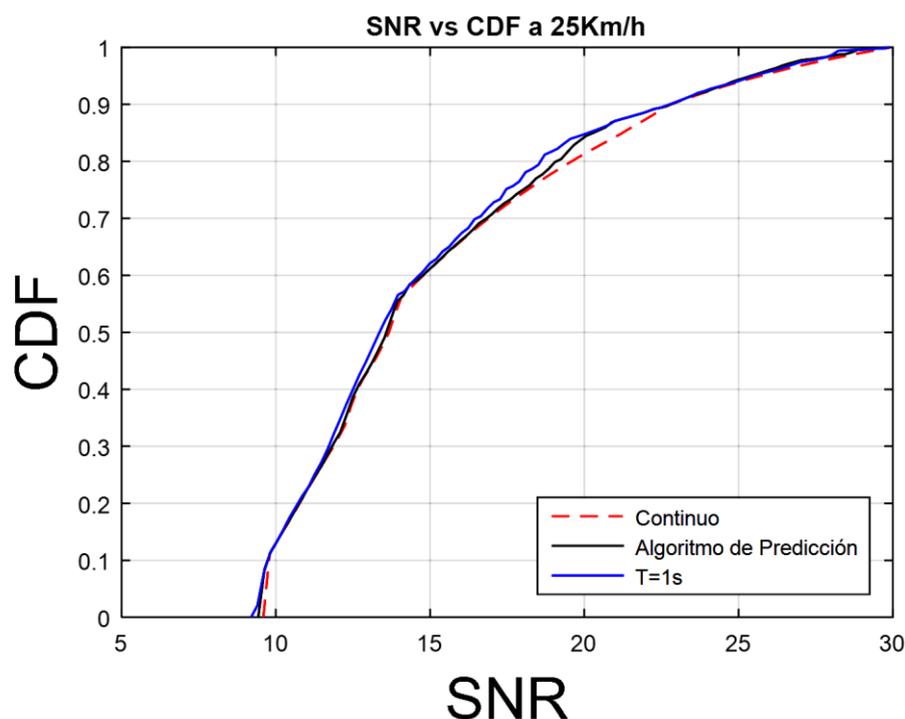


Figura 3.15 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.

Una vez conocido el efecto que hay en el enlace BS-móvil al disminuir la velocidad del usuario, se propuso cambiarla por una mayor igual a 75Km/h; a pesar de que en situaciones reales dicha velocidad es inadmisibles para zonas urbanas, se quiso averiguar el efecto en el peor de los casos.

Una vez realizada las respectivas simulaciones se obtuvo la gráfica resultante que se muestra en la Figura 3.16.

Tal como se puede observar y como era de esperarse, hay una mayor cantidad de pérdidas de recepción en el enlace debido al aumento de velocidad del móvil. Incluso se puede notar que hubo un considerable error en nuestro algoritmo de predicción al tiempo de 20 segundos.

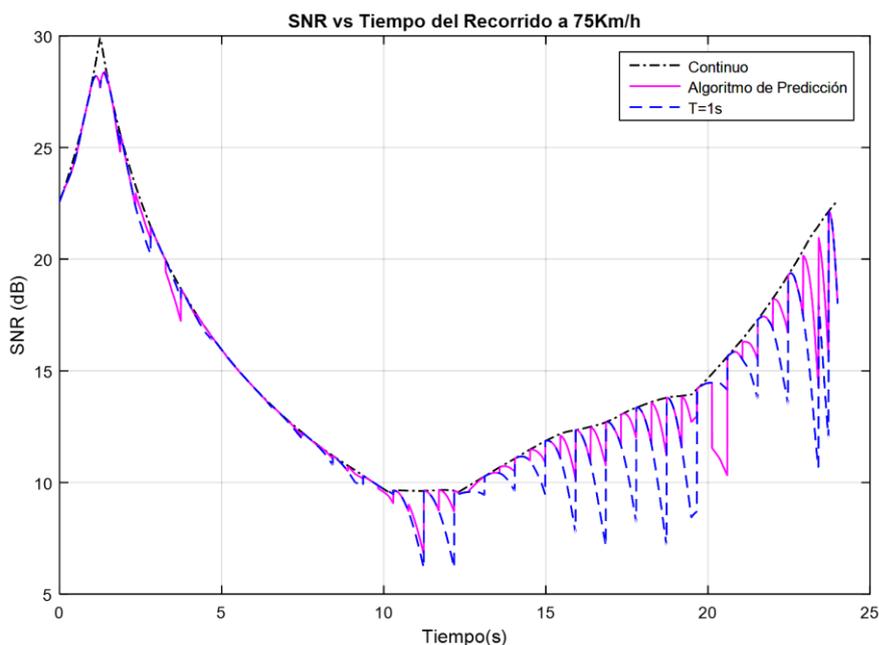


Figura 3.16 Comportamiento de la SNR a través del tiempo con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 75Km/h.

En la Figura 3.17 se pudo reafirmar lo descrito anteriormente con las gráficas del CDF expuestas, las cuales muestran cómo la curva descrita por el algoritmo de predicción se aleja de la referencial siendo la velocidad del móvil mayor al caso anterior.

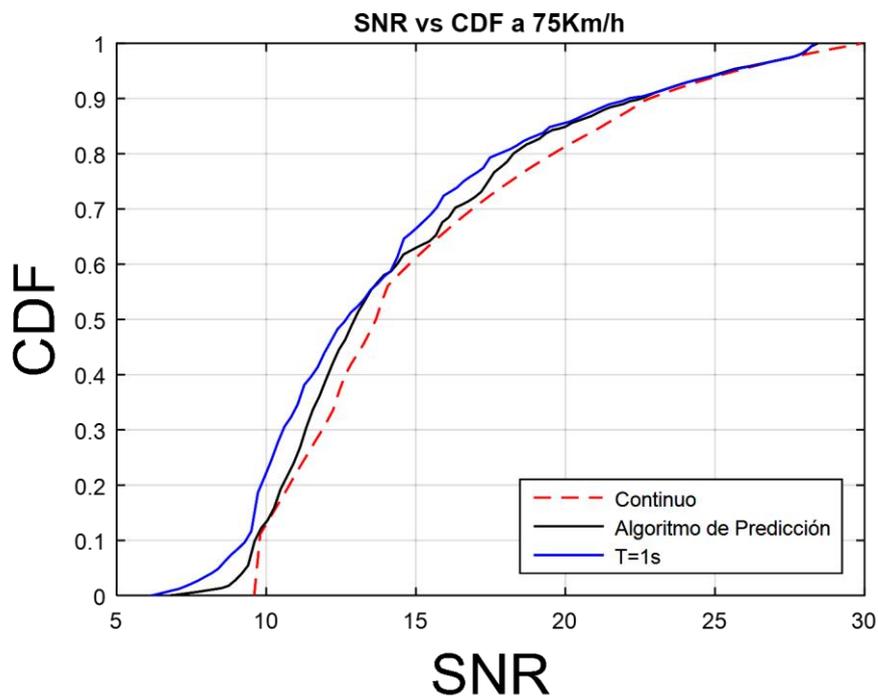


Figura 3.17 Curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento a una velocidad constante del móvil de 50Km/h.

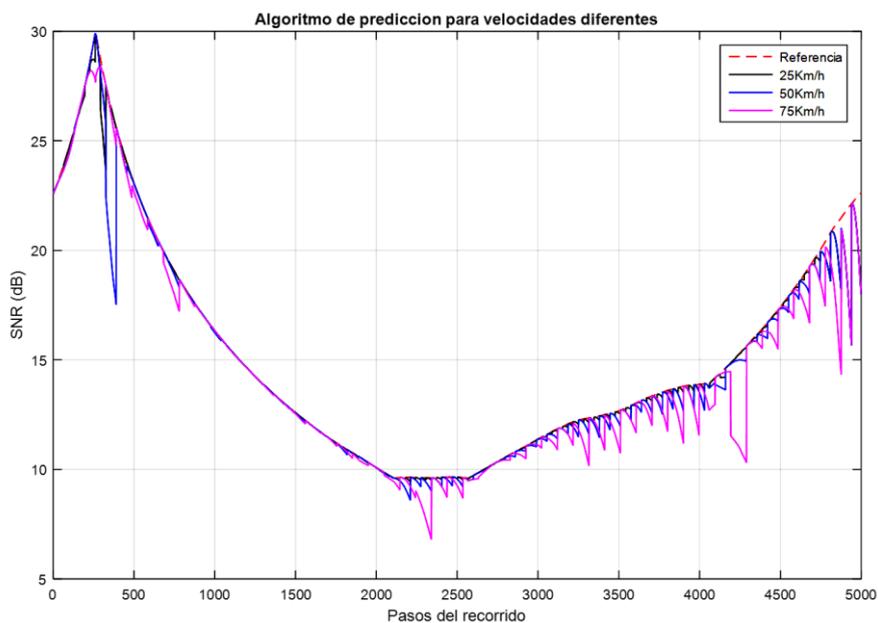


Figura 3.18 Contraste de la SNR a través del tiempo del algoritmo de predicción para un móvil con diferentes velocidades.

Finalmente se contrastó la efectividad del algoritmo de predicción de movimiento a las diferentes velocidades antes mencionadas en un solo gráfico, el cual se muestra en la Figura 3.18.

Se puede observar que para la velocidad de 75Km/h existe un error en la predicción de movimiento al momento en que el móvil tuvo un cambio de dirección brusca (obsérvese la Figura 3.6 que describe la trayectoria del móvil), dicho error se puede apreciar mejor en la Figura 3.19 la cual es un acercamiento a la gráfica anterior mostrada, dicho error por lo tanto representa mayor pérdida de potencia para el enlace.

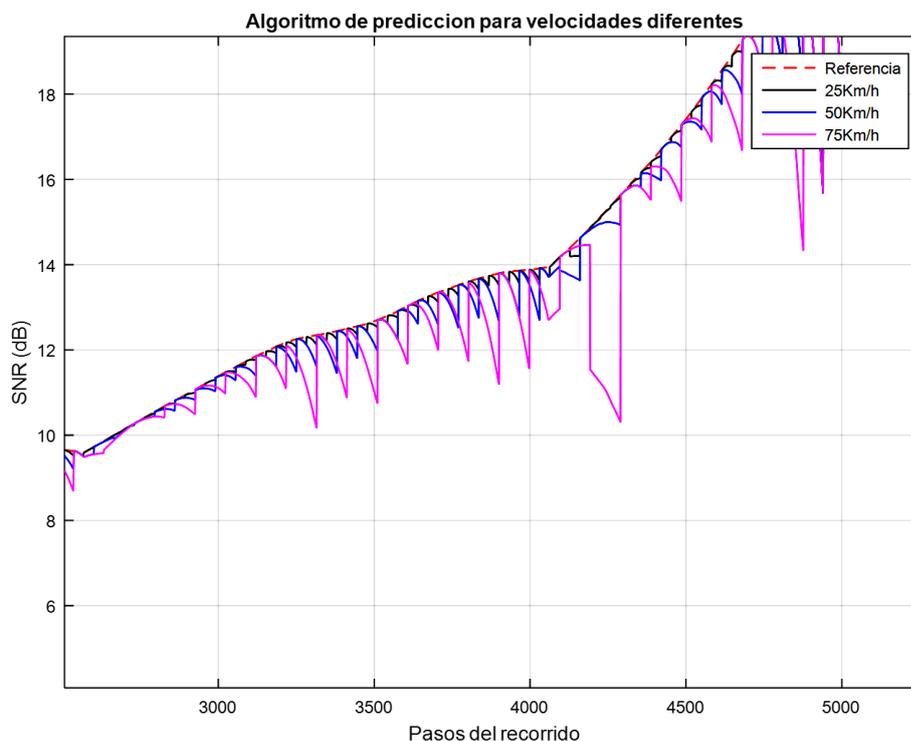


Figura 3.19 Contraste de la SNR a través del tiempo del algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades (acercamiento).

Con lo anterior mencionado, se optó también a comparar las curvas de CDF del algoritmo con las distintas velocidades expuestas. Como se puede apreciar en

la Figura 3.20 la curva que indica el movimiento del usuario a 25Km/h de velocidad es la que más se acerca a nuestra curva de referencia con el algoritmo de predicción, incluso se puede observar que la que refleja la velocidad de 75Km/h no se aleja demasiado a la referencial, por lo que se puede dar por satisfactorio el algoritmo realizado.

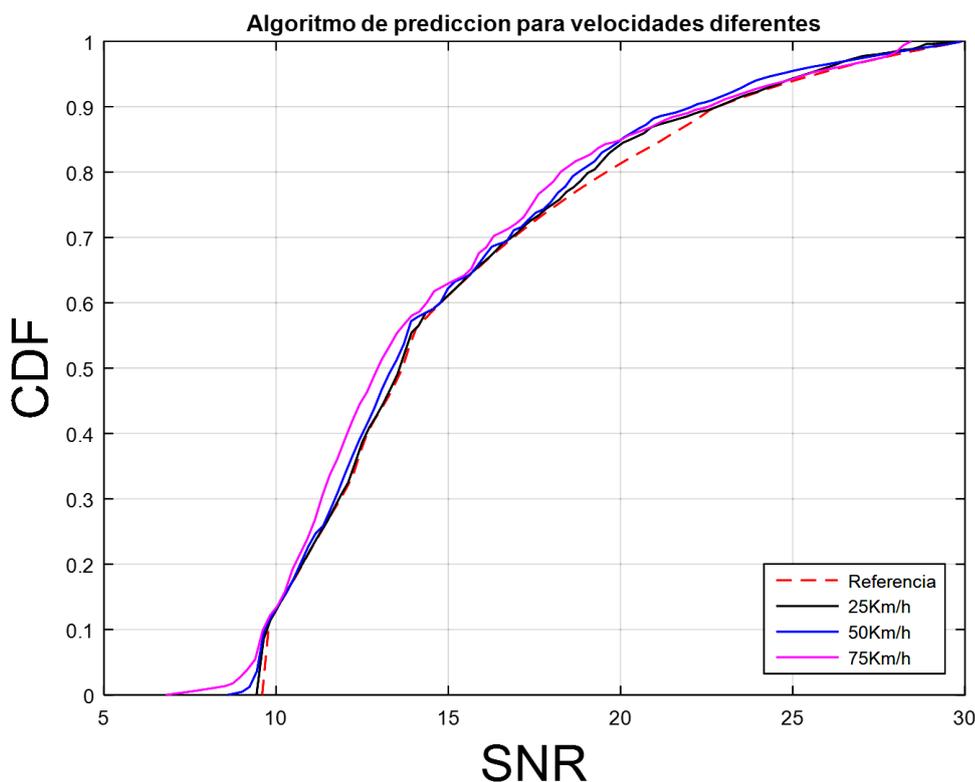


Figura 3.20 Contraste de las curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades.

Con los resultados obtenidos, se propone también evaluar la efectividad del algoritmo de predicción al cambiar el ancho de haz de la ULA haciéndolo más angosto que el caso anterior. Para lograr este efecto se opta por aumentar el número de antenas a 20 elementos en el arreglo, lo que se tuvo como efecto un aumento en la ganancia del mismo y por ende un aumento en la SNR. El patrón

de irradiación resultante para el nuevo esquema a evaluar se muestra en la Figura 3.21.

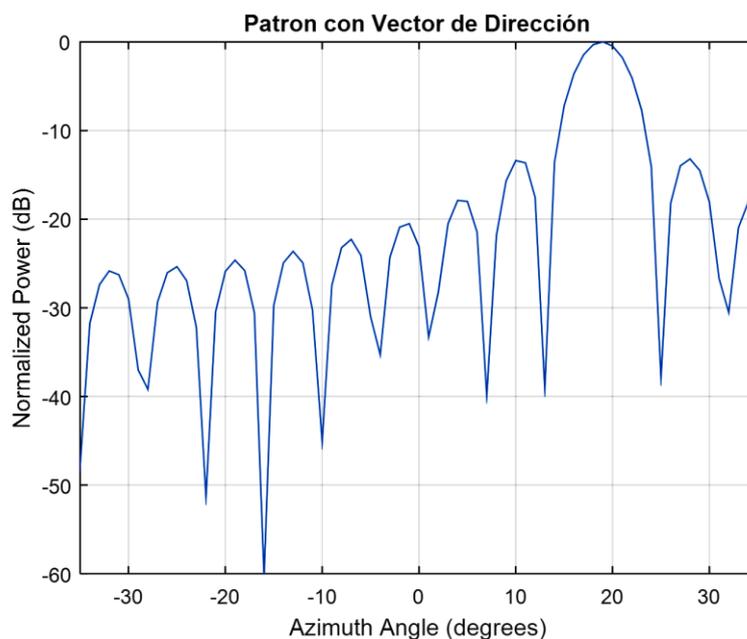


Figura 3.21 Patrón de radiación del ULA con 20 elementos.

Una vez hecha la modificación del patrón de radiación se realizó las simulaciones respectivas para las velocidades de 50, 25 y 75 Km/h, para de esta manera observar sus diferencias con el caso anterior en donde el ancho de haz era mayor.

En la Figura 3.22 se muestra inicialmente la diferencia de la potencia recibida por el móvil desde una antena que tiene 10 elementos en comparación con otra que tiene 20 elementos; se toma en consideración que el GPS del móvil envía señales a la base cada 1 segundo, aun no se aplica el algoritmo predictivo.

Se puede apreciar que con una antena con mayor número de elementos y por ende más angosto es su ancho de haz, a pesar de que tiene mayor potencia de recepción cuando el ULA lo ilumina directamente, una vez que el conjunto de antenas deja de recibir la posición del móvil, esta potencia desciende

drásticamente, incluso a valores mucho menores que al tener un enlace con una antena con 10 elementos en su arreglo.

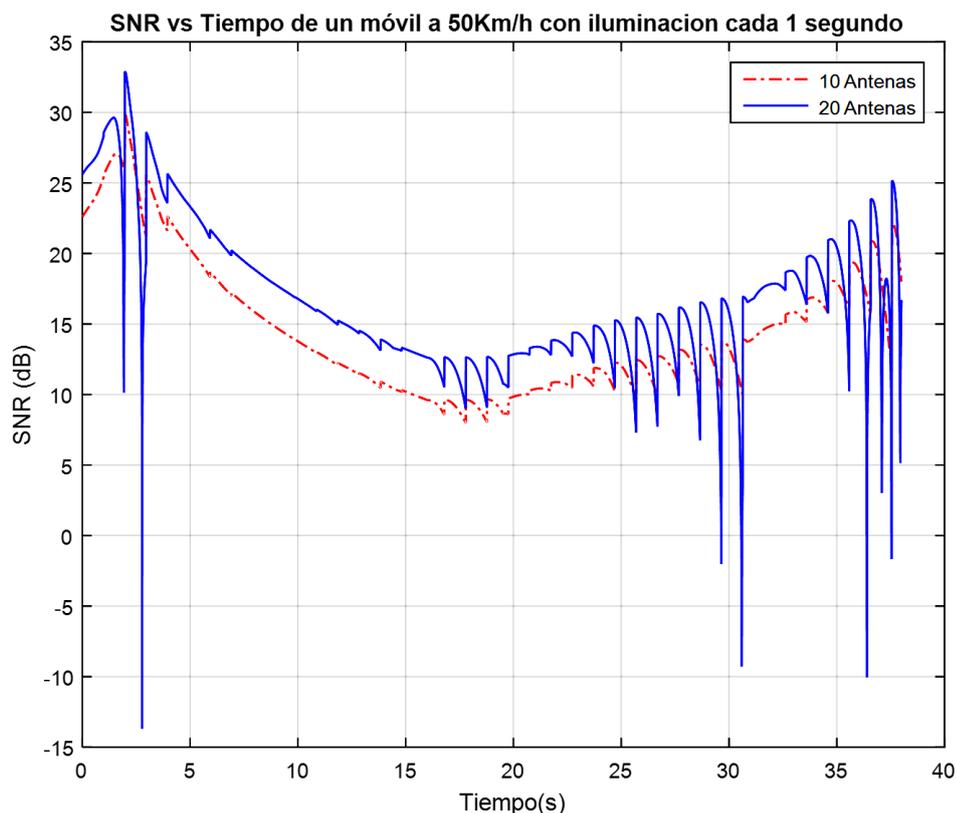


Figura 3.22 Comportamiento de la SNR a través del tiempo de un móvil que se mueve a una velocidad de 50Km/h

También se realizó un cuadro comparativo de las curvas CDF vs SNR las cuales se observan en la Figura 3.23, en esta se puede observar la manera en que cambia la separación de las curvas cuando el usuario está siendo iluminado de manera constante y cuando está enviando señales de GPS a la antena cada 1 segundo hacia un ULA con 10 elementos y a otra con 20 elementos.

Tal como se muestra en la imagen antes mencionada, la separación de estas curvas es mayor para el arreglo de antenas que tiene mayor número de

elementos, lo que significa que posee mayores pérdidas a pesar de que haya una mayor potencia de referencia.

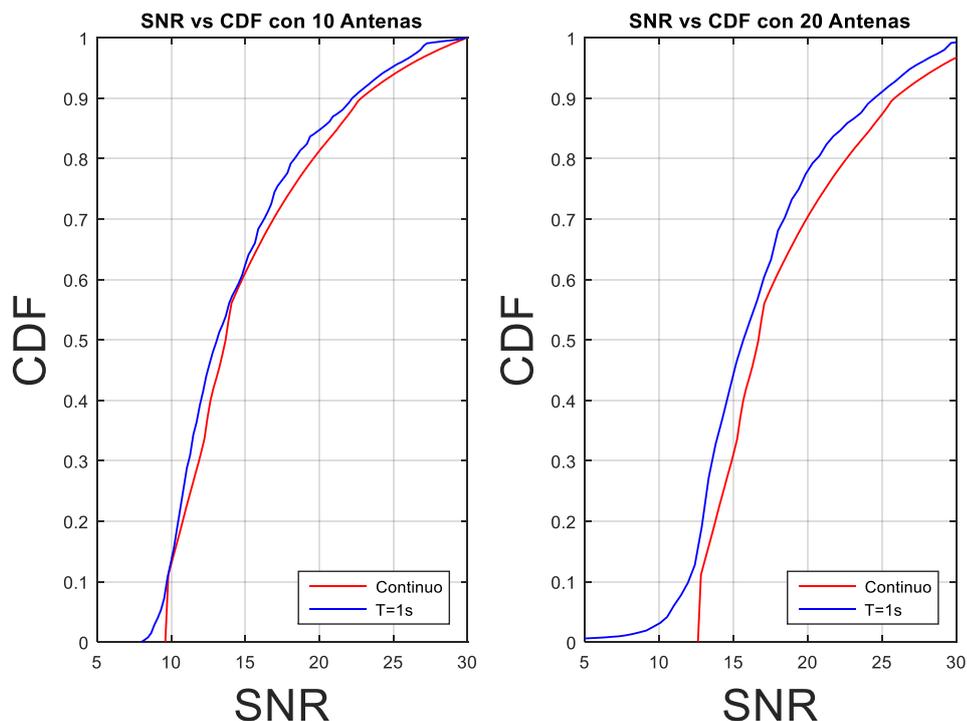


Figura 3.23 Comparación de CDF vs SNR para una ULA con 10 y 20 elementos hacia un móvil con una velocidad de 50Km/h

Teniendo presente los efectos causados frente a un valor mayor de antenas en la ULA, se procede a verificar la viabilidad del algoritmo de predicción realizado y conocer si puede mitigar cierta parte de la potencia perdida que va a tener el móvil.

Como se puede observar en la Figura 3.24 el algoritmo realizado puede mejorar la eficiencia del enlace, sin embargo aún existen zonas que presentan varias pérdidas debido a cambios repentinos de la trayectoria del móvil las cuales a la velocidad de 50km/h ya se hacen notorias.

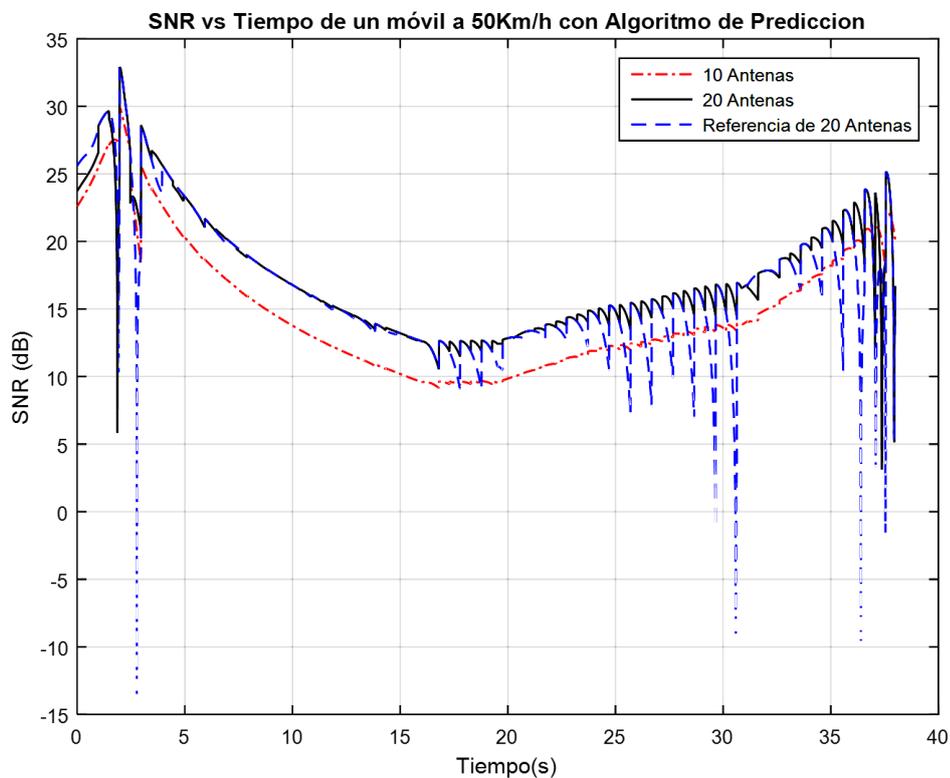


Figura 3.24 Eficacia del Algoritmo Predictivo para 10 y 20 elementos en la ULA.

En la Figura 3.25 se muestra las diferentes curvas de CDF obtenidas con el algoritmo planteado para ambos casos, y como era de esperarse se obtiene un mejor resultado del enlace para un arreglo con 10 antenas debido a que ésta es la que más se acerca a la curva referencial.

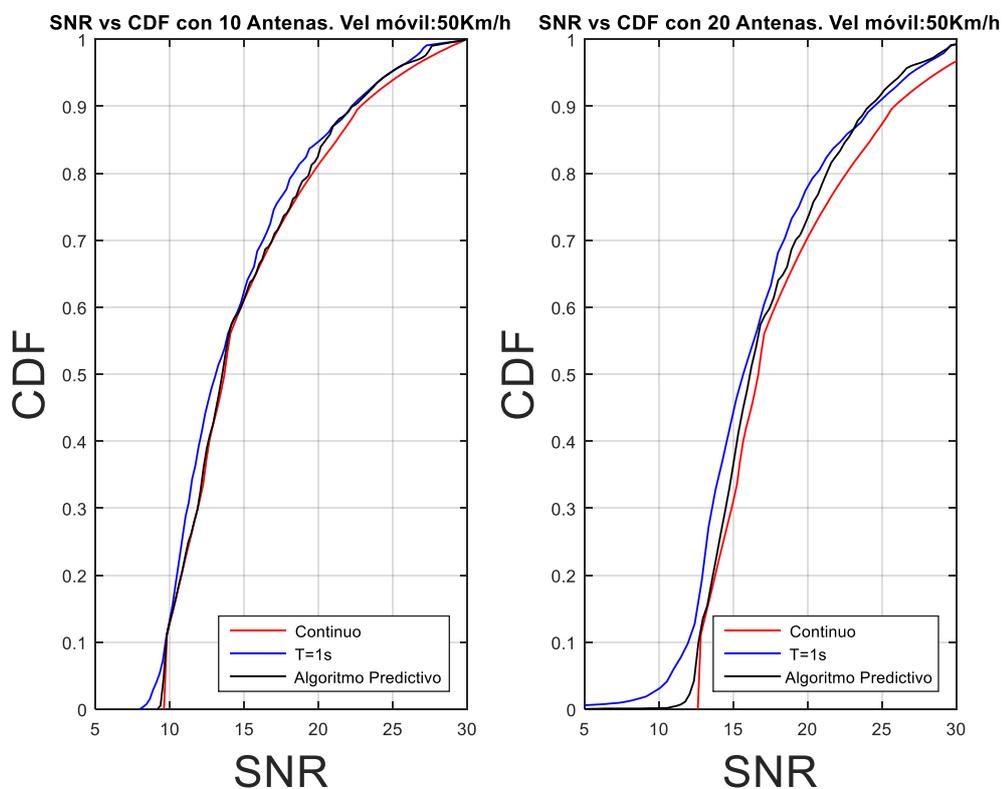


Figura 3.25 CDF vs SNR del Algoritmo Predictivo para 10 y 20 elementos en la ULA.

Finalmente se realizó una síntesis de las curvas de la CDF para cada velocidad evaluada en esta sección, tomando en cuenta la Figura 3.26 se observa que nuestro algoritmo se acerca en gran proporción al ideal, a excepción de aquellos puntos en donde representan la mayor cantidad de cambios de dirección del móvil en el área de cobertura, y que además a medida que el móvil se mueve con una velocidad por encima de las antes expuestas, nuestro algoritmo tiende a alejarse de la curva representativa.

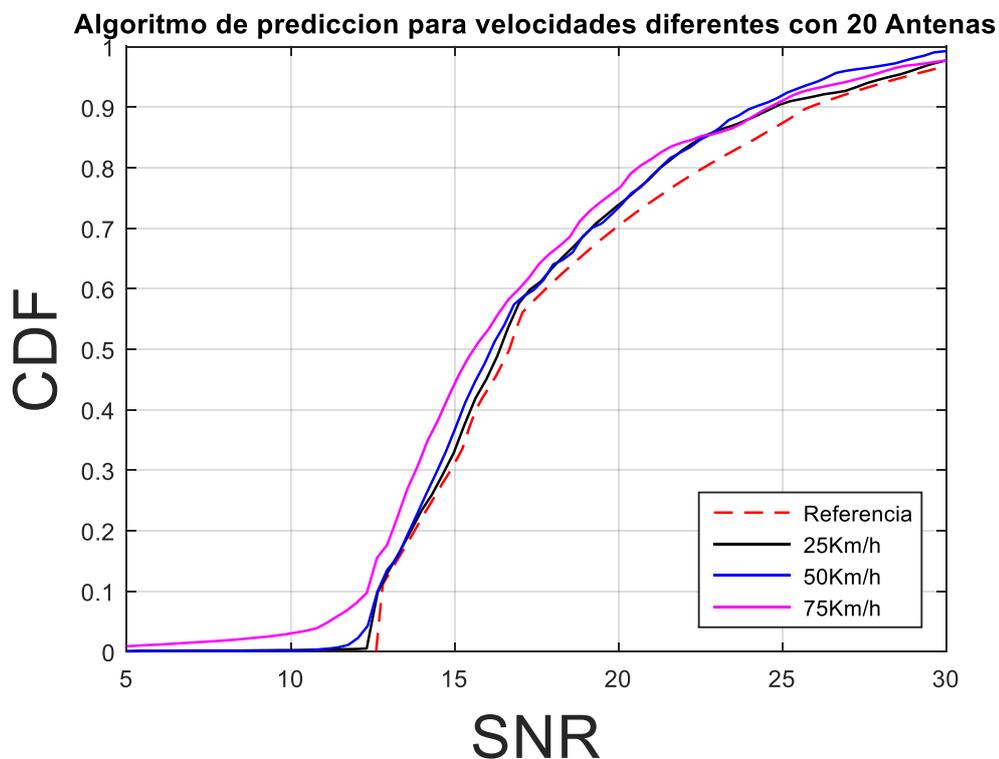


Figura 3.26 Contraste de las curvas de CDF vs SNR con el algoritmo de predicción de movimiento para un móvil a diferentes velocidades usando un arreglo de 20 elementos.

Luego de haber realizado las distintas simulaciones expuestas, en la Tabla 3 se muestra el error de nuestro algoritmo de predicción ante las diferentes velocidades evaluadas, dando como resultado que para la velocidad de 50Km/h es donde se muestra un mayor error en ambos casos de la simulación.

Porcentaje de pérdida de potencia		
Velocidad(Km/h)	10 Antenas	20 Antenas
25	6,78%	7,96%
50	11,02%	14,22%
75	9,06%	13,98%

Tabla 3 Porcentaje de reducción de potencia promedio en la aplicación del algoritmo

3.3.3 Tiempo eficiente de actualización de posición

Dado que se pretende enfocar este sistema para usuarios nomádicos, las velocidades descritas anteriormente son demasiado elevadas, ya que un usuario típico tiene como velocidad promedio de entre 3.5 a 5Km/h, lo cual indica que puede incluso haber una mayor brecha de separación en el tiempo en que el móvil envía su posición al conjunto de antenas en vez de realizarlo cada 1 segundo como se lo ha estado haciendo hasta el momento, y por lo tanto disminuir el consumo de batería que esto conlleva. En la Figura 3.27 se pretende dar a conocer un tiempo aproximado en el cual no haya demasiadas pérdidas para el enlace.

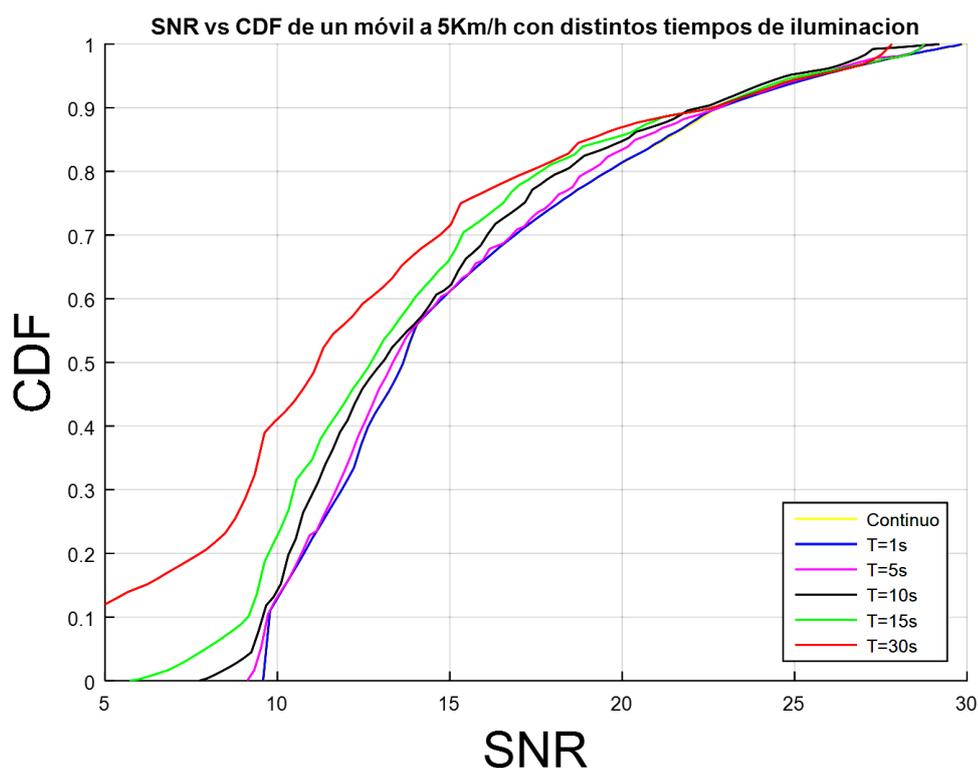


Figura 3.27 Curvas de CDF vs SNR para diferentes tiempos de notificación del móvil hacia la BS.

Se puede notar que efectivamente, en el tiempo de 1 segundo el usuario no presenta pérdida alguna pero no es un tiempo eficiente ya que equivaldría a

un consumo exagerado de batería. Sin embargo se puede notar que un tiempo aceptable para que el móvil envíe señales de GPS a la antena sin presentar mayores cantidades de pérdidas es de entre 15 a 20 segundos ya que como se puede notar en la imagen a valores mayores la SNR disminuye. Para mejorar de cierta manera este efecto y poder hacer que el tiempo de iluminación sea mayor, se propuso aplicar el algoritmo de predicción para el caso de 30 segundos como se parecía en la Figura 3.28, la cual muestra que hay una mejora en la potencia recibida y podría hacerse uso del mismo para aplicarlo en dicho tiempo.

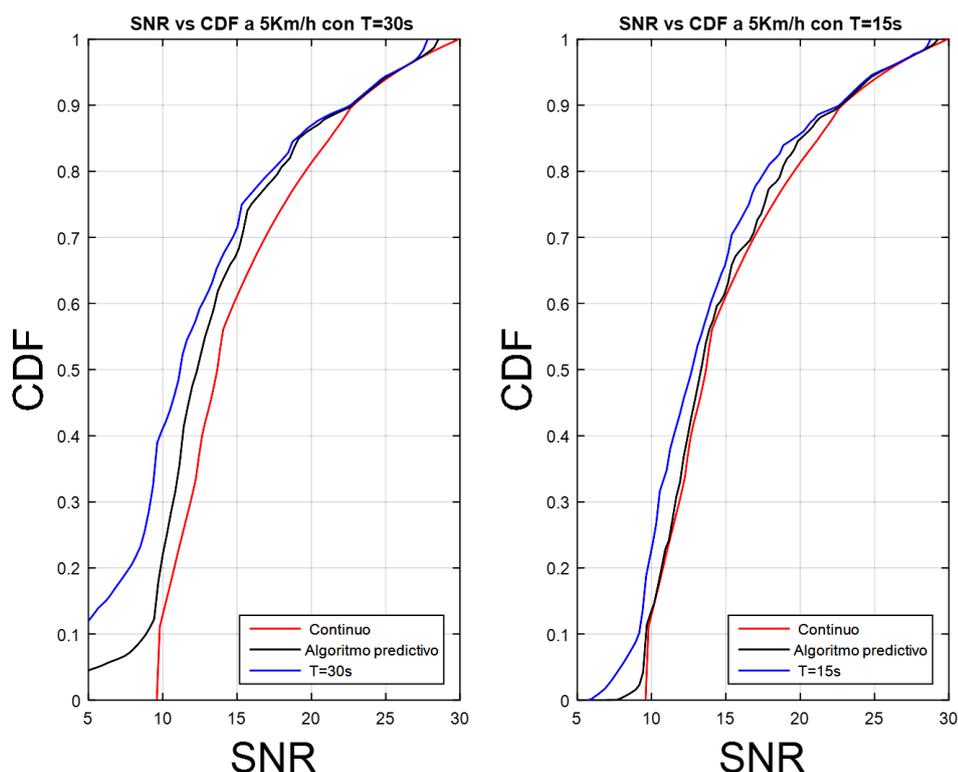


Figura 3.28 CDF vs SNR del Algoritmo Predictivo para T= 30 s y T= 15 s

La extensión del tiempo de notificaciones de hasta 30 o 35 segundos es posible ya que el usuario, por tener menor velocidad en el área de cobertura, el lóbulo principal de la ULA cubre en gran parte su recorrido hasta que la BS

efectúa el algoritmo planteado, logrando así predecir con mayor exactitud la posición del móvil en el tiempo propuesto. De esta manera, si el usuario cambiara bruscamente de dirección, se pueden mitigar estas pérdidas en un porcentaje considerable.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Contrastando la curva CDF vs SNR entre tiempos de reporte de posición constante y por intervalos de un usuario en movimiento, se observa que entre mayor es la brecha entre cada notificación en el que el móvil envía señales al arreglo de antenas para que ésta lo ilumine en su nueva posición, mayor es la pérdida debido a que la SNR se verá disminuida.

Para los escenarios planteados se tiene un mejor promedio de recepción con el 10 elementos en el ULA, debido a que el haz de iluminación es menos angosto y esto repercute significativamente en la potencia que recibe el móvil en el tiempo en que no hay información exacta de su posición que no es iluminado.

Para un arreglo de 20 elementos se observa que la eficiencia de nuestro algoritmo disminuye con la velocidad que del usuario, sin embargo para la velocidad de 75km/h la curva CDF del algoritmo predictivo presenta una pequeña mejora para aquellos puntos donde el móvil toma cambios bruscos en su recorrido.

A velocidades pequeñas de 5 Km/h en las cuales un usuario se traslada por el área de cobertura, el intervalo de tiempo entre cada notificación del GPS hacia la estación base se puede extender a 15 o 20 segundos, sin mayor afectación en el rendimiento del algoritmo.

Es posible extender el tiempo de reporte del móvil hasta 30 o 35 segundos usando el algoritmo propuesto para velocidades menores cuando se trata de un usuario nomádico.

BIBLIOGRAFÍA

[1] Emilio M., Ana Maria F., Guillermo C., C. Agustín y Francisco A. Gómez L. "Conceptos generales de Antenas" en Efecto de la Foresta en las Transmisiones electromagnéticas dentro de una WLAN (LAN inalámbrica), Tucuman: EdUTecNe, 2011, PID25, P031

[2] Anónimo, "Arreglo de Antenas" [Online]. Disponible en: <http://www3.fi.mdp.edu.ar/electrónica/cátedras/mediosdetransmision/files/informacion%20adicional/arregos%20antenas.pdf>

[3] Mohamad Dosaranian-Moghadam and Hamidreza Bakhshi "Tracking mobile user through adaptive beamforming for wireless cellular networks in a 2D urban environment" Indian Journal of Science and Technology, Vol. 5 No. 4, 2569 - 2577, Indian, Apr 2012

[4] Cristian Guital M. y Eduardo Muñoz B. "Arquitectura de un Modelo de Redes Wireless aplicando Antenas Smart." Tesis de Grado, Facultad de Ciencias de la Ingeniería, Univ. Austral de Chile, Valdivia, 2006

[5] S. F. Maharimi, M. F. Abdul Malek, M. F. Jamlos, S. C. Neoh, and M. Jusoh, "Impact of Spacing and Number of Elements on Array Factor", PIERS Proceedings, 1550 - 1553, Kuala Lumpur, MALAYSIA, March 27-30, 2012

[6] TP Link, "Beamforming: un paso más allá en rendimiento wireless" (2010)[Online]. Disponible en: <http://blog.tp-link.es/noticias/beamforming-un-paso-mas-alla-en-rendimiento-wireless/>

[7] Juha Okkonen, "Uniform linear adaptive antenna array beamforming implementation with a wireless open-access research platform", Tesis de Maestría, Dept. de Ciencias Computacionales e Ingeniería, Univ. de Oulu, Finlandia, 2013

[8] Canal IT, "Beamforming, qué es y cómo funciona" (2013, Mayo 23) [Online]. Disponible en: <http://distribucion.itsitio.com/ec/beam-forming-que-es-y-como-funciona/>

[9] Rik Jos, "Beamforming for 5G communication systems" (2016, Marzo 7)[Online]. Disponible en: <http://www.radio-electronics.com/articles/antennas-propagation/beam-forming-for-5g-communication-systems-179>

[10] Enrique del Río, "La localización de los teléfonos móviles: Un problema más difícil de lo que parece", (2013, Mayo 20) [Online] Disponible en: <http://telefonía.blog.tartanga.eus/2013/05/20/la-localizacion-de-los-telefonos-moviles-un-problema-mas-dificil-de-lo-que-parece/>

[11] P.T. Karttunen, T. I. Laakso and J. Lilleberg, "Tracking of Mobile Users in a Mobile Communications System Using Adaptive Convergence Parameter", PIMRC'97, Helsinki, Finland, Sep 1-4, 1997, pp. 989-993.

[12] Mohamad Dosararian-Moghadam and Hamidreza Bakhshi, "Tracking mobile user through adaptive beamforming for wireless cellular networks in a 2D urban environment", Indian Journal of Science and Technology, Vol. 5 No. 4, ISSN: 0974-6846, Abril 2012

[13] Harry L. Van Tree, "Array and Spatial Filters" in *Optimum Array Processing, Part IV of Detection, Estimation and Modulation Processing*, New York: John Wiley & Sons, Inc., 2002, ch. 2, pp. 17-77.

[14] Ruth Zuñiga, "Estudio de Redes Inalámbricas (Wireless) y sistemas UMTS, con el uso de Antenas Inteligentes", Tesis de Grado, Fac. de Ciencia y Tecnología, Universidad del Azuay, Cuenca, 2011

[15] Roy Maiberger, Doron Ezri and Michael Erlihson, "Location Based Beamforming", in Conv. of Electrical and Electronics Engineers, Israel, 2010, pp. 184-187

[16] Tong Liu, Paramvir Bahl, and Imrich Chlamtac, "Mobility Modeling, Location Tracking, and Trajectory Prediction in Wireless ATM Networks", Selected Areas in Communications, Vol. 16, No. 6, pp. 922-936, Aug. 1998.

[17] Serguei Guerra F., Yasser Lomaña P., Omar A. Guzmán, Yudel Pérez A., Tong Liu, Paramvir Bahl, and Imrich Chlamtac, "Optimization of the DOA Estimation in Smart Antenna Systems using Neural Networks approaches", [Online]. Disponible en: http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1815-59282013000100006

ANEXOS

ABREVIATURAS

SDMA	Space Division Multiple Access
DOA	Direction Of Arrival
GPS	Global Positioning System
ULA	Uniform Linear Array
AP	Access Point
BS	Base Station
CDF	Cumulative Distribution Function
SNR	Signal to Noise Ratio
FNBW	First Null Beam Width
HPBW	Half Power Beam Width