

Estimación de la tasa de error de bits de un lector RFID con arreglo de antenas a nivel de enlace usando Matlab

García Benítez Andrés Santiago

Villota Fuertes Javier Alejandro

Universidad CESMAG
Facultad de Ingeniería
Programa de Ingeniería Electrónica
San Juan de Pasto

2021

Estimación de la tasa de error de bits de un lector RFID con arreglo de antenas a nivel de enlace usando Matlab

García Benítez Andrés Santiago

Villota Fuertes Javier Alejandro

Informe final de trabajo de grado presentado ante el comité curricular para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Asesor:

Mario Fernando Henao Rosero

Universidad CESMAG

Facultad de Ingeniería

Programa de Ingeniería Electrónica

San Juan de Pasto

2021

Nota de Aceptación

Aprobado por el Comité Curricular del Programa de Ingeniería Electrónica en Cumplimiento de los requisitos exigidos por la Universidad CESMAG para optar por el título de Ingeniero Electrónico

Página de Nota de Exclusión de Responsabilidad Intelectual

“El pensamiento que se expresa en esta obra es
exclusivamente responsabilidad de sus autores y no
compromete la ideología de la Universidad
CESMAG”

Dedicatoria

Queremos dedicar este trabajo de grado primeramente a Dios por darnos la fuerza y salud de salir adelante en este proceso para desarrollar nuestras metas y objetivos.

A todas las personas que nos apoyaron incondicionalmente en especial a nuestros familiares que hicieron posible la realización de este trabajo, por el apoyo y aliento constante.

A todos los profesores que nos guiaron en este camino de aprendizaje y enseñanza, que constantemente investigan e innovan soluciones a diversas dificultades en su labor pedagógico.

Agradecimiento

Los autores presentes expresan su agradecimiento al Dr. Mario Henao, Mg. Francisco Erazo, por su compromiso, comprensión y por el tiempo dado aportando diversos conocimientos para que esta investigación finalice de la mejor manera.

Agradecemos mucho por la ayuda de nuestros familiares especialmente a Patricia Fuertes, Oscar Fuertes, Luis Sanz, Guillermo García y Aida Benítez por hacer este logro posible.

Agradecemos a nuestros compañeros, maestros y universidad CESMAG por todos los momentos y conocimientos que nos han otorgado.

Contenido

Lista de tablas.....	11
Lista de figuras.....	12
Introducción	16
1. El Problema de Investigación	18
1.1 Objeto o Tema de investigación	18
1.2 Línea de Investigación	18
1.3 Sub-Línea de Investigación.....	18
1.4 Descripción o Planteamiento del problema	18
1.5 Formulación del problema	19
1.6 Objetivos.....	19
1.6.1 Objetivo general	19
1.6.2 Objetivos Específicos.....	19
1.7 Justificación	20
1.8 Delimitación.....	21
2. Tópicos del marco teórico.....	22
2.1 Antecedentes.....	22
2.1.1 Diseño de una matriz de antenas en fase para aplicaciones UHF RFID	22
2.1.2 Estudio de arreglos de antenas Microstrip en el alcance de etiquetas pasivas de RFID	22
2.1.3 Diseño e implementación de un dispositivo, que permita mejorar la cobertura para tarjetas RFID activo.	23
2.1.4 Diseño de una Antena Plana Multibanda para Dispositivos Móviles usando los estándares GSM/UMTS/LTE/Zigbee/RFID	23

2.1.5	Revisiting RFID Link Budgets for Technology Scaling: Range Maximization of RFID Tags	24
2.1.6	Link-Level Simulation for Far Field UHF RFID with Off-Line Channel Coding	25
2.1.7	Métricas para el rendimiento y operación de sistemas RFID pasivos en la banda UHF	26
2.1.8	Definición de un interfaz de simulación enlace-sistema para antenas adaptativas	27
2.2	Enunciados de los supuestos teóricos	28
2.2.1	Sistemas de identificación por radio frecuencia (RFID)	28
2.2.2	Frecuencia de Operación Ultra Alta (UHF)	31
2.2.3	Protocolo de comunicación estándar ISO 18000-6C	32
2.2.4	Característica de la Antena	35
2.3	Definición de conceptos	38
2.3.1	Definición nominal de conceptos	38
2.3.2	Definición operativa de conceptos	39
2.4	Hipótesis	39
2.4.1	Hipótesis de investigación	39
2.4.2	Hipótesis nula	40
2.4.3	Hipótesis alternativa	40
3.	Metodología	41
3.1	Enfoque	41
3.2	Paradigma	41
3.3	Método	41
3.4	Tipo de investigación	42

3.5	Diseño de investigación	42
3.6	Universo	42
3.7	Muestra	42
3.8	Técnicas de recolección de información.....	43
3.8.1	Validez de la técnica.....	43
3.8.2	Confiabilidad de una técnica	43
3.9	Instrumentos de recolección	43
4.	Resultados	44
4.1	Técnicas de acceso y protocolos en las capas físicas y de identificación que serán implementados en el simulador.	44
4.1.1	Técnica de modulación.....	44
4.1.2	Técnica de codificación por intervalo de pulso (PIE)	45
4.1.3	Mensajes implementados	45
4.2	Modelo de los componentes de simulación del lector RFID.	46
4.2.1	Diagrama de bloques del simulador	46
4.2.2	Diseño del experimento.....	50
4.3	Implementación de los componentes o bloques de software que constituyen el simulador del lector RFID a nivel de enlace usando Matlab.	53
4.3.1	Implementación arreglo de antena Microstrip al escenario de prueba.	53
4.3.2	Implementación de la modulación y demodulación ASK.....	54
4.3.3	Implementación del Ruido.	55
4.3.4	Implementación función comparativa BER.	56
4.4	Obtención de la curva de desempeño en términos de tasa de errores bit vs relación señal ruido de la simulación a nivel de enlace del lector RFID.....	57
4.4.1	Obtención de las amplitudes para determinar la tasa de errores de bit	57

4.4.2	Obtención del umbral de decisión para determinar la tasa de errores de bit .	59
4.4.3	Obtención de la curva de desempeño en términos de la tasa de errores de bit (BER) vs relación señal a ruido (SNR).....	61
4.4.4	Curva BER vs SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica	
ASK		66
5.	Análisis de Resultados	69
6.	Conclusiones	81
7.	Recomendaciones	83
	Referencias	84
	ANEXOS	86

Lista de tablas

Tabla 1. Parametros de diseño de la antena parche Microstrip.....	51
Tabla 2. Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.011V	63
Tabla 3. Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.015V	64
Tabla 4. Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.020V	66
Tabla 5. Resultados de los tags simulados	79
Tabla 6. Resultado de los comportamientos a partir de los tres umbrales respecto a la simulación de la curva teórica ASK.....	79

Lista de figuras

Figura 1: Índice de modulación de impedancia optimo y rango operable máximo	24
Figura 2. Desempeño BER para FM0 y MMS vs. SNR considerando una potencia de transmisión fija igual a 22 dBm y una potencia de ruido de -90 dBm.....	26
Figura 3: Simulación de enlace.....	27
Figura 4. Sistema de tecnología RFID	29
Figura 5. Etiqueta RFID	29
Figura 6. Diagrama de bloques de un lector RFID	30
Figura 7. Propagación de una antena RFID	31
Figura 8. Modulación de lector a etiqueta.....	34
Figura 9. Codificación PIE símbolos.....	35
Figura 10: Estructura de una antena Microstrip.....	36
Figura 11. Patrón de radiación de una antena tipo parche	37
Figura 12. Representación de 1 y 0 según la codificación PIE.....	45
Figura 13. Comandos del interrogador y respuestas de etiquetas	46
Figura 14. Mensaje implementado.....	46
Figura 15. Diagrama de bloques simulador	47
Figura 16. Diagrama de secuencia	49
Figura 17. Escenario de prueba.....	50
Figura 18. Patrón de radiación antena Microstrip.....	51
Figura 19. Geometría arreglo rectangular	52
Figura 20. Geometría de arreglo rectangular optimizada.....	53
Figura 21. Implementación Arreglo de antena al escenario de prueba.....	54

Figura 22.Implementacion Modulación y Demodulación ASK	55
Figura 23.Modulación ASK con ruido gaussiano.....	56
Figura 24.Función comparativa determinando el porcentaje de errores de bit	57
Figura 25.Histograma de las amplitudes de bit 1	60
Figura 26.Histograma de las amplitudes de bit 0.....	60
Figura 27. Histograma de las amplitudes del 0 y 1 en un mismo eje.....	61
Figura 28.Curva BER vs SNR con un umbral de 0.011V.....	62
Figura 29.Curva BER vs SNR con un umbral de 0.015V.....	64
Figura 30.Curva BER vs SNR con un umbral de 0.020V.....	65
Figura 31.Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.011V	66
Figura 32. Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.015V	67
Figura 33.Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.020V	68
Figura 34.Comportamiento primer caso	69
Figura 35.Comportamiento segundo caso.....	70
Figura 36.Comportamiento tercer caso	71
Figura 37.Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas con un umbral de 11mV.....	73
Figura 38. Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 11mV	74
Figura 38.Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas con un umbral de 15mV.....	75

Figura 39. Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 15mV
..... 76

Figura 40. Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas
con un umbral de 20mV..... 77

Figura 41. Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 20mV
..... 78

Lista de anexos

Anexo 1. Escenario de prueba.....	86
Anexo 2. Realizar antena parche Microstrip.....	86
Anexo 3. Realizar arreglo rectangular	87
Anexo 4. Optimizar arreglo de la antena rectangular	87
Anexo 5. Implementación Escenario de prueba junto con el patrón de radiación del arreglo de antena rectangular.	88
Anexo 6. Implementación modulación y demodulación ASK junto con la comparación BER.....	90
Anexo 7. Estimar amplitudes de cada uno de los tags	92
Anexo 8. Obtención de los datos BER vs SNR de cada tag en el escenario de prueba	92
Anexo 9. Cargar y graficar los resultados BER vs SNR.....	95
Anexo 10. Comparación curva ASK frente a la curva BER vs SNR	96
Anexo 11. Comportamiento de las curvas BER vs SNR	97
Anexo 12. Ubicación tags con conexión en el escenario de prueba	99

Introducción

El sistema de identificación por radiofrecuencia (RFID) es una tecnología automática y ayuda a las máquinas a identificar objetos a través de ondas de radio. Un sistema RFID consta de dos partes, el lector que hace de interrogador y la etiqueta (tag) como transpondedor. El lector RFID trabaja con tres tipos de etiquetas denominadas activas, semiactivas y pasivas

El principal objetivo de un lector RFID es transmitir y recibir señales, convirtiendo las ondas de radio de los tags en un formato legible para otros sistemas. La antena del lector es el dispositivo que arregla la comunicación entre lector-etiqueta y puede utilizar una frecuencia en las bandas HF, UHF y VHF. Una de las razones para trabajar en la banda UHF es que las antenas requeridas del lector son de menor tamaño y se trabaja en un rango de frecuencia de RFID en UHF de 868 a 928 MHz.

El trabajo que se presenta analiza el comportamiento de un lector RFID en tasa de errores de bit que contiene un arreglo de antenas Microstrip a nivel de enlace con respecto a nivel físico, esa simulación a nivel físico corresponde a un trabajo de grado anterior (Romero, 2019) cuyo objetivo fue evaluar la mejora en alcance y cobertura que se puede obtener al implementar un lector con un arreglo de antenas. Se desarrollo un simulador en un escenario de prueba en forma de cubo en el que se ubica aleatoriamente unas etiquetas o puntos y se transmite los mensajes de comunicación del estándar ISO18000-6C lo que corresponde a una gran cantidad de bits, cada mensaje es codificado y modulado según las especificaciones del estándar. Las señales que se envían del arreglo de antena en el que entran en un modelo de propagación y se someten a un ruido blanco gaussiano su potencia corresponde a un nivel de SNR. Obteniendo así varios comportamientos de la curva BER vs SNR dependiendo de los factores de simulación, a cada etiqueta se le grafico la curva BER vs SNR del escenario de prueba y se comparó con la curva teórica del esquema de modulación ASK, en la que fue tomada como referencia a la simulación a nivel físico.

Una simulación a nivel de enlace resuelve problemas derivados de la falta de fiabilidad de los circuitos físicos, el principal objetivo es proporcionar una transferencia fiable de bloques de información (tramas - conjunto de bits). Al realizar una simulación a nivel de enlace que

incorpore un arreglo de antenas Microstrip en lector RFID, junto con los protocolos de comunicación ISO 18000-6C, se determina el comportamiento del lector en términos de la tasa de errores de bit.

En el capítulo 1 que corresponde al problema de investigación se indica el objeto de estudio en el que se precisan los objetivos , por qué se hace y hasta donde llega el proyecto, en el capítulo 2 los supuestos teóricos se indica los fundamentos de la investigación y se definen los conceptos a evaluar, en el capítulo 3 se indica la metodología que se desarrolló a lo largo del proyecto y en el capítulo 4 y 5 se indican los resultados y su respectivo análisis.

1. El Problema de Investigación

1.1 Objeto o Tema de investigación

Sistema RFID en la banda UHF con arreglo de antenas Microstrip en el lector

1.2 Línea de Investigación

Comunicaciones electrónicas. “Centra su trabajo investigativo en el estudio de las tecnologías, métodos, técnicas, algoritmos y desarrollos utilizados en los procesos de transmisión, recepción y procesamiento de la información de manera local y remota mediante el uso de circuitos electrónicos. Los trabajos desarrollados en esta área incluyen el diseño, modelado, simulación, análisis de sistemas análogos y digitales para telecomunicaciones, telemetría y redes de datos”(Programa Ingeniería Electrónica, 2015).

1.3 Sub-Línea de Investigación

Telecomunicaciones. “Las telecomunicaciones comprenden el estudio de las tecnologías que permiten la comunicación de información a partir de señales generadas, retransmitidas e interpretadas por dispositivos electrónicos, bajo diversos medios de transmisión”(Programa Ingeniería Electrónica, 2015).

1.4 Descripción o Planteamiento del problema

“RFID es un sistema de almacenamiento y recuperación remota de datos, basado en el empleo de etiquetas en las que reside la información, todo sistema RFID se compone de un lector o interrogador, encargado de transmitir la energía suficiente a la etiqueta y de leer los datos que esta le envíe” (Portillo García et al., 2008). La antena del lector es el elemento que habilita la comunicación entre lector-etiqueta que utiliza una banda de frecuencia UHF,” a pesar de que las etiquetas pueden leerse en todas las orientaciones en general el campo generado por la antena del lector tiene una dirección determinada. Este hecho influye especialmente en UHF, pudiendo reducirse la cobertura al 50%. Por ello, resulta conveniente buscar el acoplamiento óptimo entre ambas antenas, y si la orientación de la etiqueta no puede controlarse se debe buscar una compensación mediante un adecuado diseño de la antena.” (Portillo García et al., 2008)

En el programa de Ingeniería Electrónica se cuenta con un diseño de arreglo de antenas para el lector RFID, ese diseño corresponde a un trabajo de grado anterior que se realizó a nivel físico, que consiste en el desarrollo de una simulación de la potencia transmitida y recibida de una señal entre el lector y la etiqueta, pero no tiene en cuenta ningún mensaje, únicamente se considera que hay una lectura exitosa cuando la potencia que recibe la etiqueta es mayor que una potencia mínima para dicha lectura, estimando así unas potencias típicas transmitidas por etiquetas pasivas lo que hace que el lector no envíe ningún mensaje (Romero, 2019).

Pero se desconoce el comportamiento del lector al implementar la pila de protocolos o mensajes del estándar ISO 18000 6C (Swapna et al., 2007). Se determinó si una lectura es exitosa o no, con el uso de un umbral de 10^{-3} (Chakraborty et al., 2011) para la tasa de errores de bit. Este indicador permite determinar la potencia requerida para alcanzar ese umbral.

De no desarrollarse este trabajo no se sabe cómo responderá ese arreglo de antenas cuando se simule la pila de protocolos del lector RFID.

1.5 Formulación del problema

¿Cuál es el comportamiento a nivel de tasa de errores de bit para un lector RFID en la banda UHF que usa un arreglo de antenas Microstrip?

1.6 Objetivos

1.6.1 Objetivo general.

Determinar el comportamiento a nivel de la tasa de errores bit que se obtiene en una simulación a nivel de enlace para un lector RFID en la banda UHF que incorpora un arreglo de antenas Microstrip.

1.6.2 Objetivos Específicos.

- Establecer las técnicas de acceso y protocolos en las capas físicas y de identificación que serán implementados en el simulador.
- Modelar los componentes o bloques que constituyen la simulación del lector RFID a nivel de enlace usando Matlab.

- Implementar los componentes o bloques de software que constituyen el simulador del lector RFID a nivel de enlace usando Matlab.
- Obtener la curva de desempeño en términos de tasa de errores bit vs relación señal ruido que se obtiene en una simulación a nivel de enlace del lector RFID.

1.7 Justificación

La presente investigación se enfoca en estudiar el comportamiento de la tasa de errores de bit de un lector RFID en la banda UHF que usa un arreglo de antenas Microstrip mediante una simulación a nivel de enlace. Es necesario diseñar un nuevo software en el que se simulará el arreglo de antenas Microstrip y los protocolos del lector. El resultado de este proyecto va a permitir validar el desempeño de una geometría de arreglo de antenas, el cual es uno de los primeros pasos en el análisis de factibilidad técnica para la implementación de un prototipo de estas características.

Los sistemas RFID que contienen tags pasivos adolecen de un problema de alcance, una forma para aumentar el alcance de la lectura de esas etiquetas es a través de un arreglo de antenas. El análisis del proyecto anterior o inicial es a nivel de la capa física y en ese análisis se observó que sí aumenta el alcance y cobertura, pero no se ha probado a nivel de enlace, el trabajo es desarrollar un simulador como un paso previo a la implementación de un prototipo, que se usa para confirmar si es viable invertir el esfuerzo y dinero en la implementación de dicho prototipo del lector RFID de esas características.

Al realizar este trabajo se facilita a otros investigadores en la parte del análisis inicial de la viabilidad de sus geometrías de arreglo de antenas Microstrip. Verificando el desempeño de ese arreglo de antenas en el lector dentro de un análisis de factibilidad técnica. Al no realizarse el trabajo de grado se tiene una información incompleta respecto a la viabilidad de la implementación de un prototipo, entonces no es tan seguro que en la realidad el prototipo se desempeñe como se espera. Generalmente en la cadena de implementación se hace un diseño, se simula ese diseño y luego se lo implementa.

1.8 Delimitación

En el actual proyecto se implementó una simulación a nivel de enlace de un lector RFID que usa un arreglo de antenas Microstrip, para ello se implementó la modulación DSB-ASK, codificación PIE y se tomó del protocolo el mensaje de “ACKNOWLEDGED-OPEN”, todo de acuerdo con el estándar ISO18000-6C que define las comunicaciones entre lector y etiquetas para los sistemas RFID que funcionan en la banda UHF. Este software de simulación se realizó bajo la supervisión del asesor.

2. Tópicos del marco teórico

2.1 Antecedentes

2.1.1 Diseño de una matriz de antenas en fase para aplicaciones UHF RFID

El documento presenta el diseño de una matriz de antenas de bajo costo para la identificación RFID en el rango de frecuencia de 865 a 868 MHz. La antena diseñada tiene una cobertura mejorada y capacidades de dirección de haz, en el que se demuestra un diseño mejorado del lector RFID, con el empleo de una matriz de antenas de barrido en fase lo que mejora las características del lector. El conjunto de antenas que se propone tiene muchas ventajas sobre la tecnología RFID como lo es en simplicidad, rentabilidad y capacidad de dirección del haz (Nachev & Petkov, 2019).

Este documento aportó en conceptos de conjuntos de antenas RFID para la integración en un sistema de lectores RFID en la banda UHF, dando a entender que las matrices de antenas tienen muchas ventajas sobre las antenas típicas desarrollando lectores RFID más sofisticados con mayor capacidad de búsqueda de dirección y una distancia de mejora de lectura de etiquetas.

2.1.2 Estudio de arreglos de antenas Microstrip en el alcance de etiquetas pasivas de RFID

El trabajo presenta la evaluación de las antenas tipo Microstrip para el lector. También analiza las diferentes geometrías de arreglos de este tipo en los siguientes parámetros: ganancia, potencia y distancia. Se demostró que las geometrías de arreglos de antenas Microstrip mejoran el rendimiento en el alcance en un 18.22 %, directividad en un 385.72% y de volumen en un 4.76%. Entre más alta sea la eficacia mayor será el alcance de lectura de las etiquetas pasivas y volumen gracias a que la potencia recibida es igual que la potencia transmitida. La antena Microstrip no supera los 10 cm² debido a la frecuencia de operación que es igual a 915 MHz (Romero, 2019).

El trabajo aportó conceptos importantes en cuanto a la geometría de arreglo de antenas Microstrip, ilustrando el montaje de un escenario de simulación de este tipo de antenas. También da a conocer que sí es posible aumentar el alcance de un lector RFID si se incorpora el arreglo de antenas, pero el volumen de lectura exitosa se reduce debido a que el arreglo de antenas que son

de mayor alcance tiene un ángulo de ancho de haz pequeño, lo que significa que disminuye la cobertura.

2.1.3 Diseño e implementación de un dispositivo, que permita mejorar la cobertura para tarjetas RFID activo.

El trabajo presenta un diseño y la implementación de un prototipo que mejore el sistema radiante y permita obtener un mayor alcance de un lector RFID activo, utilizando un arreglo de antenas Microstrip para así tener un rango de cobertura mayor. El lector RFID en este trabajo utiliza un protocolo de comunicación RS232. Al implementar un sistema radiante con el lector RFID este ofrece una cobertura mayor y con la simulación que realizaron se comprobó que la implementación de este tipo de antenas es más eficiente para la mejora del sistema radiante a un bajo costo ya que en la actualidad es más exigente el monitoreo y control debido al crecimiento de las industrias. (Quishpi, 2017).

Este trabajo aportó en la información de las antenas Microstrip en aspectos como: su diseño, su eficiencia y directividad para la mejora de cobertura y potencial de la señal, y es una guía de cómo se puede implementar un sistema a nivel de protocolo para determinar su cobertura.

2.1.4 Diseño de una Antena Plana Multibanda para Dispositivos Móviles usando los estándares GSM/UMTS/LTE/Zigbee/RFID

Este trabajo habla sobre la construcción de una antena plana multibanda para dispositivos móviles que usa la tecnología de comunicaciones RFID que trabaja en bandas de baja y alta frecuencia. En la mayoría de los diseños en UHF y microondas (Alta frecuencia), se usa acoplamiento capacitivo y las antenas son de tipo dipolo. UHF trabaja para este tipo de antenas en un rango de 860-960 MHz y las Microondas alcanzan el rango de 2.5 GHz o más.

Las antenas dipolo, operan a través de señales de punto radiante del transmisor al receptor. Esto, en adición a las longitudes de onda cortas de las frecuencias UHF y microondas, da un incremento a las ondas pequeñas en la zona de lectura del interrogador, lo que significa que el peso de las señales no será uniforme y es probable que en algunos puntos disminuya a cero, creando nulos o puntos invisibles. Las etiquetas RFID posicionadas en estos nulos son

prácticamente invisibles para un interrogador, lo cual puede causar problemas en los sistemas UHF y microondas (Zaragoza, 2015).

Este trabajo ilustra los conceptos relacionados con puntos en el volumen de trabajo del lector, que no reciben potencia al encontrarse en nulos del patrón de radiación. Este fenómeno se presentó durante las simulaciones ejecutadas.

2.1.5 Revisiting RFID Link Budgets for Technology Scaling: Range Maximization of RFID Tags

Este artículo examina el problema de optimizar el índice de modulación para un esquema ASK en el enlace ascendente, y se demuestra la necesidad de la elección y uso de una impedancia para maximizar simultáneamente los rangos de lectura y escritura de etiquetas, ya que la sensibilidad típica de la etiqueta es considerablemente menor que la sensibilidad del lector debido a las limitaciones de potencia.

En la figura 1 se indica el índice de modulación del diseño de un circuito equivalente para la etiqueta RFID y la antena, que describe el rango máximo operable en metros y el índice de modulación de impedancia óptimo en dBm para la mejora de la sensibilidad de las etiquetas, entre más sensibilidad tenga la etiqueta mayor será el rango de lectura. (Chakraborty et al., 2011).

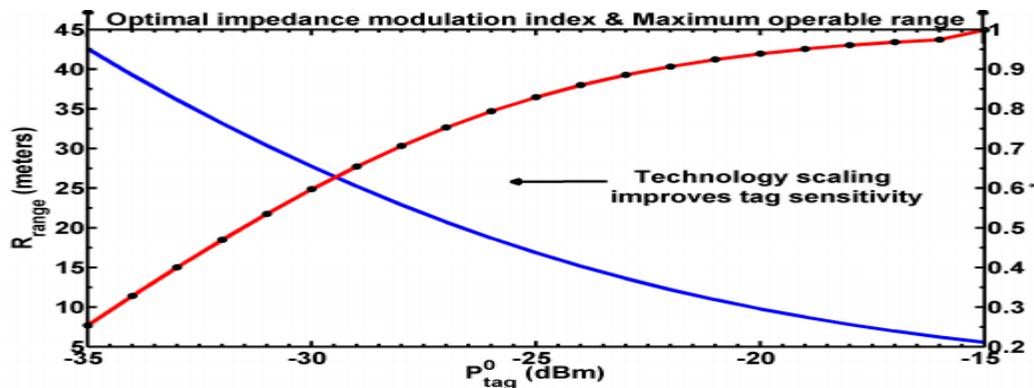


Figura 1: Índice de modulación de impedancia óptimo y rango operable máximo

Fuente:(Chakraborty et al., 2011)

Este trabajo aportó la necesidad de considerar el impacto de los índices de modulación de impedancia en el rango de lectura y escritura para etiquetas RFID pasivas, dando a conocer la elección de índices de modulación que maximizan el rango operativo en la sensibilidad de la etiqueta y la tasa de error de bits.

2.1.6 Link-Level Simulation for Far Field UHF RFID with Off-Line Channel Coding

En este documento se desarrolla una simulación a nivel de enlace para un sistema RFID que funciona a una distancia de 18m donde se simula dos técnicas de codificación de líneas muy utilizadas en RFID: FM0 y Miller (MMS). Estos códigos se implementan para codificar los mensajes transmitidos por la etiqueta utilizando un codificador convolucional con diferentes tasas.

En la simulación se considera una potencia de ruido igual a -90 dBm y una potencia transmitida de 22 dBm, donde los resultados de la SNR de la potencia transmitida y ruido son fijos pero la distancia de separación cambia. En la figura 2 se realiza la comparación entre los códigos de línea FM0 ($M=1$) y MMS ($M=2,4,8$). Al usar el codificador convolucional con tasa $\frac{1}{2}$ y $\frac{1}{3}$ se mejora la detección a una distancia de 18m y PT (potencia de transmisión) de 20 dBm. Por otro lado, la codificación de línea de MMS con $M=4$ tiene una tasa de error de trama de 2×10^{-1} (Younes et al., 2013).

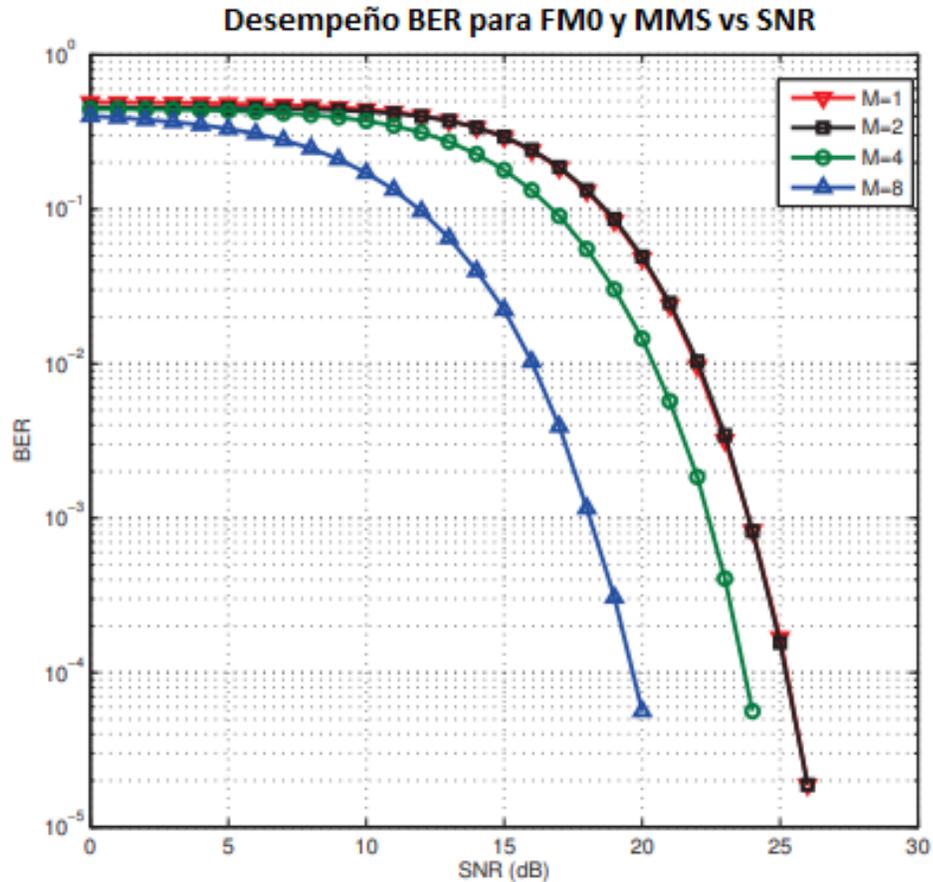


Figura 2. Desempeño BER para FM0 y MMS vs. SNR considerando una potencia de transmisión fija igual a 22 dBm y una potencia de ruido de -90 dBm

Fuente: (Younes et al., 2013)

Este trabajo aportó en el uso de curvas BER vs SNR para evaluar, mediante simulaciones a nivel de enlace, diferentes métodos de codificación de un sistema RFID. Esta técnica es precisamente la que se propuso en este trabajo para determinar el alcance del sistema a nivel de simulación.

2.1.7 Métricas para el rendimiento y operación de sistemas RFID pasivos en la banda UHF

En este trabajo se realiza una simulación a nivel de enlace para diferentes configuraciones de antenas con esquemas MRC (Máximo Ratio Combining – Tasa Máxima de Combinación) en un lector RFID para mejorar la cobertura y el rendimiento del BER (Bit Error Rate – Tasa de Errores de Bit). La simulación fue desarrollada a una frecuencia de 915 MHz y un PIRE

(Potencia Isotrópica Radiada Equivalente) de 36 dBm, la ganancia de la antena del tag fue de 2dB, la sensibilidad del tag de -17 dB. Por su parte, el lector asume una sensibilidad de -80 dBm, incluyendo ganancias de los esquemas con diversidad de 13 dB en el tag y en el lector, y una ganancia de 26 dB para el enlace completo lector-tag-lector. De esta forma se compara la mejora en el radio de operación con respecto a un sistema sin diversidad, tal como se indica en la figura 3.

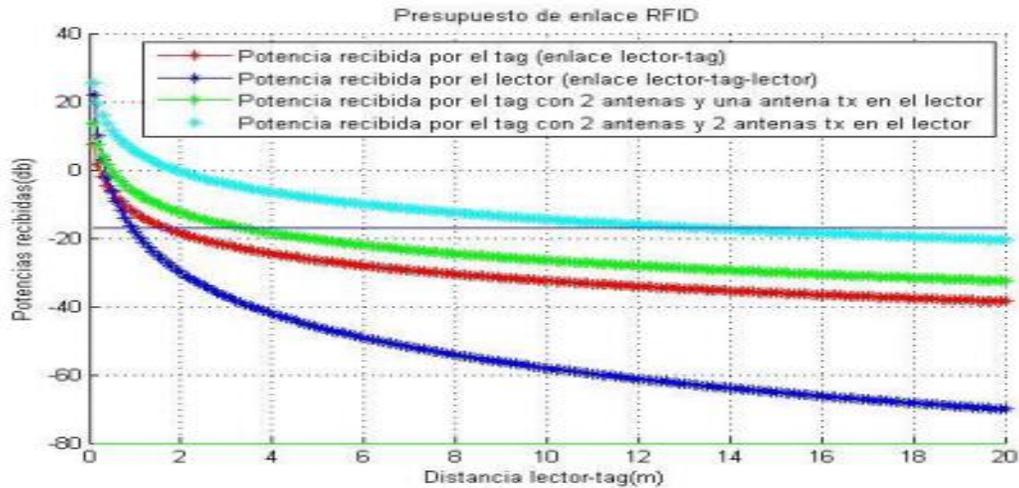


Figura 3: Simulación de enlace.

Fuente: (Obregón et al., 2009)

Al incluirse pérdidas de pequeña escala se obtiene un radio de operación de dos para un umbral de -17dBm en el tag, pero al utilizar dos antenas transmisoras en el lector RFID y en el tag se obtiene un incremento de hasta el 600% en el radio de operación quiere decir que obtienen de más de 12 m de cobertura (Obregón et al., 2009).

Este antecedente aportó una simulación a nivel de enlace, lo cual es el objetivo de este trabajo. Además, se verifica que con un diseño de lector y etiqueta con diversidad en transmisión y recepción, se puede incrementar el radio de cobertura del sistema.

2.1.8 Definición de un interfaz de simulación enlace-sistema para antenas adaptativas

Este trabajo presenta una técnica para introducir esquemas de antenas adaptativas inteligentes diseñadas con base en estadísticas de ganancia de rendimiento, calculada en simulaciones a nivel de enlace.

Las simulaciones de Monte Carlo a nivel de enlace se ha realizado para un único sector de 120° con 60 usuarios urbanos desplazándose a 3 km/h. Las distribuciones de usuarios de cada servicio son 50, 30 y 20 % para voz (12.2 kbit/s), LBR (Low Bit Rate – Baja Tasa de Bits) (64 kbit/s) y HBR (High Bit Rate – Alta Tasa de Bits) (144 kbit/s), respectivamente, con ganancias de procesamiento de 64, 16 y 8. Cada usuario transmite una trama de 10 ms, con una tasa de chip de 3.84 Mchip/s.

Este trabajo presenta una simulación a nivel de enlace de la cual se puede extraer su diseño Montecarlo para determinar los puntos para el escenario de pruebas del enlace en el lector RFID.

2.2 Enunciados de los supuestos teóricos

2.2.1 Sistemas de identificación por radio frecuencia (RFID)

Los sistemas RFID (Radio Frequency Identification), tienen un funcionamiento bastante simple, es una forma de comunicación inalámbrica entre un lector y un emisor, utilizada para la identificación de objetos, por medio de RF (radio frecuencia). Consta de un lector o interrogador que envía las señales de interrogación a una etiqueta RFID las cuales debe identificar, una etiqueta RFID que contiene el código de identificación y por ultimo consta del software de middleware que mantiene la interfaz y contiene un protocolo de software que codifica y decodifica los datos de identificación de un lector en una computadora (Karmakar, 2010).

En la figura 4 se puede observar la interacción entre el lector y etiqueta del sistema RFID que se transmite ondas por medio de la antena del lector y la antena de la etiqueta, los datos son procesados por la aplicación que reconoce la información e identifica el objeto.

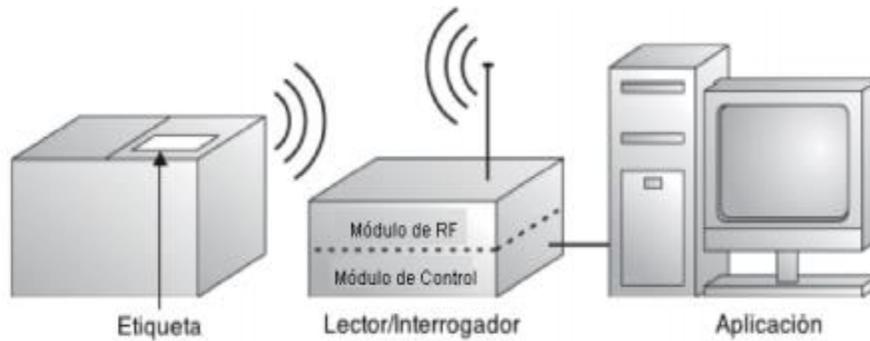


Figura 4. Sistema de tecnología RFID

Fuente:(Zavala, 2011).

2.2.1.1 Etiqueta RFID

Las etiquetas o tags se fijan a los objetos. Consta de dos elementos como se indica en la figura 5, la antena que permite la comunicación entre esta y el lector y el circuito integrador que es un circuito analógico-digital, donde la parte analógica se encarga de controlar la alimentación y la comunicación por radiofrecuencia y la parte digital maneja la información de la etiqueta.

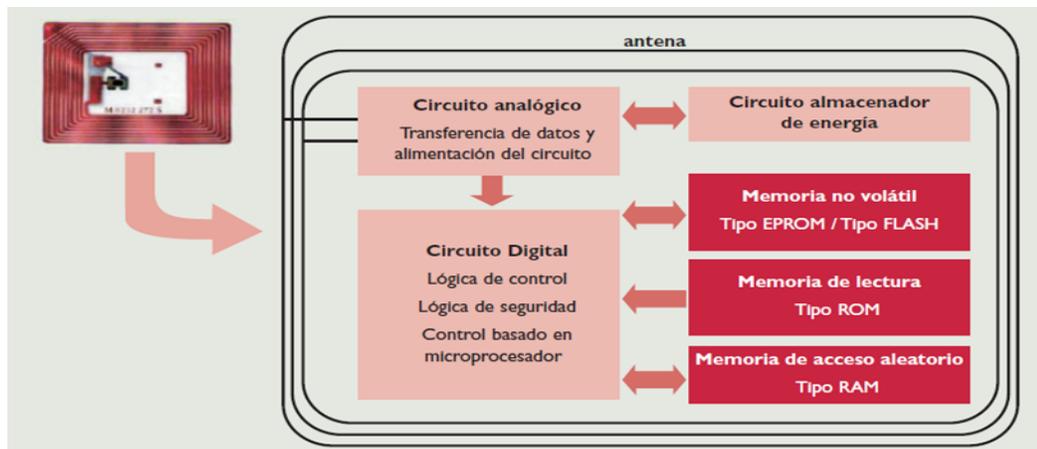


Figura 5. Etiqueta RFID

Fuente:(Fernández et al., 2006)

Existen dos tipos de etiquetas las activas y pasivas. Las activas están compuestas por un circuito integrado, una antena, una batería y un transmisor. El transmisor envía energía al lector lo que hace que incremente el rango de lectura al poder emitirse la información con mayor potencia. Por su parte en las etiquetas pasivas el almacenador de energía es un condensador lo

que hace que cargue la energía emitida por el lector y luego utilice esa misma energía para responder, por eso la potencia emitida es limitada esto quiere decir que la distancia entre el lector y la etiqueta no es muy elevada (Fernández et al., 2006).

2.2.1.2 Lector RFID

Los lectores envían una señal de radiofrecuencia que captan las etiquetas, en un rango de acción determinado teniendo en cuenta dos tipos de lectores.

Lectores con sistema de bobina simple, sirven para transmitir energía, datos y son de poco alcance. Lectores con sistemas interrogadores, detectan y corrigen errores y trabajan a mayor frecuencia.

Los lectores RFID son eficientes, flexibles y exactos, con un bajo ruido de radiación. Para obtener un buen lector de RFID se deben cumplir con algunos factores que funcione en un lugar deseado como: buena sensibilidad para que detecte señales de -60dBm de baja potencia, buena selectividad que quiere decir que es capaz de seleccionar la señal de la etiqueta RFID dentro de un espectro de señales que son recibidas, un alcance dinámico que detecte señales procedentes de varias etiquetas RFID que estén a diferentes distancias y por ultimo una normativa de operación para entornos compactos de lectura RFID (Ruiz, 2009).

En la figura 6 se indica el diagrama de bloques de un lector RFID, los lectores están diseñados para trabajar con distintos tipos de lenguaje de programación para así poder manipular los datos de lectura y escritura.

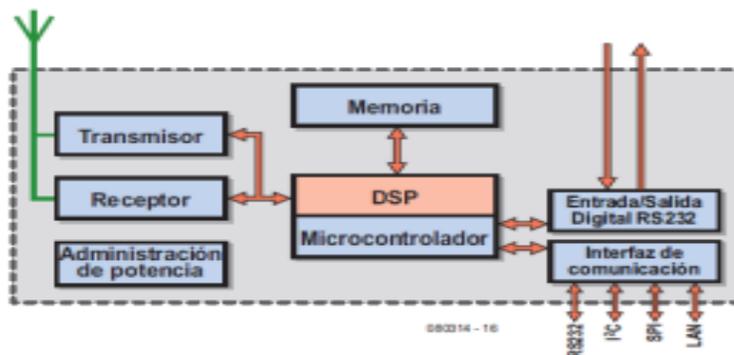


Figura 6. Diagrama de bloques de un lector RFID

Fuente: (Ruiz, 2009)

2.2.1.3 Antenas RFID

La antena se encarga de la comunicación entre la etiqueta RFID y el lector, la antena es la que transforma las corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas y transforma las ondas en corrientes oscilantes lo que hace que se forme un campo de acción tridimensional. La importancia de la antena es mejorar al máximo el radio de acción y aumentar la densidad del campo electromagnético al máximo, es decir entre mayor sea el alcance y más compacto sea el campo electromagnético mejor será la lectura (Ruiz, 2009), como se observa en la figura 7.

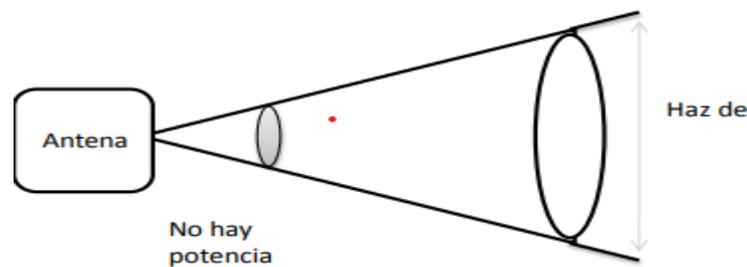


Figura 7. Propagación de una antena RFID

Fuente:(Ruiz, 2009, p. 52).

Las antenas utilizadas comúnmente son de tipo planas específicamente antenas Microstrip, aunque dependiendo del uso pueden ser de otros tipos como por ejemplo tipo dipolo, corneta, bucle, etc.

2.2.2 Frecuencia de Operación Ultra Alta (UHF)

El sistema RFID como su nombre lo indica se encuentra en los sistemas de radiofrecuencia por este motivo las bandas de frecuencia están delimitadas para evitar la interferencia con otros sistemas por ejemplo los teléfonos móviles.

Según el rango en que operan estas tarjetas de clasificación son las siguientes: Low frequency(LW) rango 30-300KHz, High frequency(HF) rango 3-30MHz, Ultra high frequency(UHF) 300MHz-3GHz (Pérez, 2019).

Esta frecuencia operativa ultra alta frecuencia (UHF) comprende las frecuencias de funcionamiento en las bandas de 433 MHz, 860 MHz, 928 MHz. Ofrece una larga distancia de

alcance, más capacidad de almacenamiento de datos y mayor velocidad de lectura en el que se requiere una línea de vista entre la etiqueta y el lector para tener un buen funcionamiento (Karmakar, 2010).

En la actualidad las frecuencias de tipo LW y HF han sido superados por todos los beneficios de la UHF como lo son las grandes distancias y las longitudes de los mensajes, las aplicaciones para esta frecuencia suelen ser en la industria, la salud, el transporte etc.

2.2.3 Protocolo de comunicación estándar ISO 18000-6C

El estándar ISO 18000-6C define los requisitos físicos y lógicos de unas ondas en dirección hacia un lugar proveniente de un sistema RFID que funciona en un rango de frecuencias de 860-960 MHz, donde el lector transmite una información a una etiqueta modulando una señal RF al rango de frecuencia dicho anteriormente. Las etiquetas que se usan en el estándar son pasivas quiere decir que reciben toda la energía operativa de la señal RF del lector, un lector recibe información de la etiqueta en la que esta transmite una señal RF de onda continua(CW) a la etiqueta, lo que esta responde modulando el coeficiente de reflexión de la antena quiere decir que dispersa una señal de información al lector (Swapna et al., 2007).

2.2.3.1 Alcance

El alcance es la máxima distancia en la cual se obtiene una lectura exitosa. Este estándar especifica la capa de señalización del enlace de comunicación entre lectores y etiquetas junto con procedimientos operativos lógicos y los comandos entre interrogadores y etiquetas.

2.2.3.2 Requisitos generales del lector

Para incluir el estándar al lector este deberá modular, transmitir y recibir unas señales definidas en la capa de este estándar, para así comunicarse con las etiquetas y que cumpla con las regulaciones de radio local. Para que el lector cumpla con este estándar se tiene que implementar cualquier subconjunto de comandos definidos en el estándar ISO 18000-6C (Swapna et al., 2007).

2.2.3.3 Requisitos generales de la etiqueta

Para cumplir con el estándar, la etiqueta deberá cumplir e implementar los comandos obligatorios definidos en el protocolo, modular la señal de retro dispersión después de recibir el

comando requerido de un lector y que cumpla con todas las regulaciones de radio locales, se puede implementar cualquier subconjunto de los comandos opcionales definidos en el protocolo (Swapna et al., 2007).

2.2.3.4 Descripción del protocolo capa física

El lector envía mensajes o información a una o más etiquetas modulando una portadora de RF utilizando la amplificación de doble banda lateral y modulando el desplazamiento de amplitud de esa banda utilizando un formato PIE (Pulse-interval encoding), codificación de intervalo de pulso, haciendo que la etiqueta reciba su energía operativa de la radio frecuencia (RF) modulada.

El lector recibe una información de la etiqueta, transmitiendo una señal portadora de RF no modulada y escuchando una respuesta dispersa, las etiquetas comunican una información mediante la retrodispersión que modula la amplitud. El enlace de comunicaciones entre el lector y etiqueta es semidúplex quiere decir que no es necesario que las etiquetas demodulen los comandos del lector durante la retrodispersión (Swapna et al., 2007).

2.2.3.5 Descripción del protocolo capa de identificación

Un lector gestiona poblaciones de etiquetas mediante tres operaciones básicas, la primera es seleccionar una población de etiquetas, posteriormente se desarrolla un inventario y se accede a las etiquetas que se elijan, la segunda base es el inventario quiere decir la operación de etiquetas individuales lo que hace que el lector detecte una sola respuesta de etiqueta, una ronda de inventario opera una sesión, por último se encuentra la base acceso que es la comunicación con una etiqueta operada lo que hace que el interrogador puede realizar una operación como leer, escribir, bloquear o eliminar una etiqueta, el acceso comprende múltiples comandos (Swapna et al., 2007).

2.2.3.6 Modulación

Según el estándar el lector se va a comunicar mediante las siguientes modulaciones: DSB-ASK (Double-sideband amplitude-shift keying), PR-ASK (Phase-reversal amplitude shift keying) o SSB-ASK (Single-sideband amplitude-shift keying), las cuales se detallan en la figura 8 que indica la banda base y las formas de ondas moduladas generadas por el lector, y las ondas espontaneas por la etiqueta.

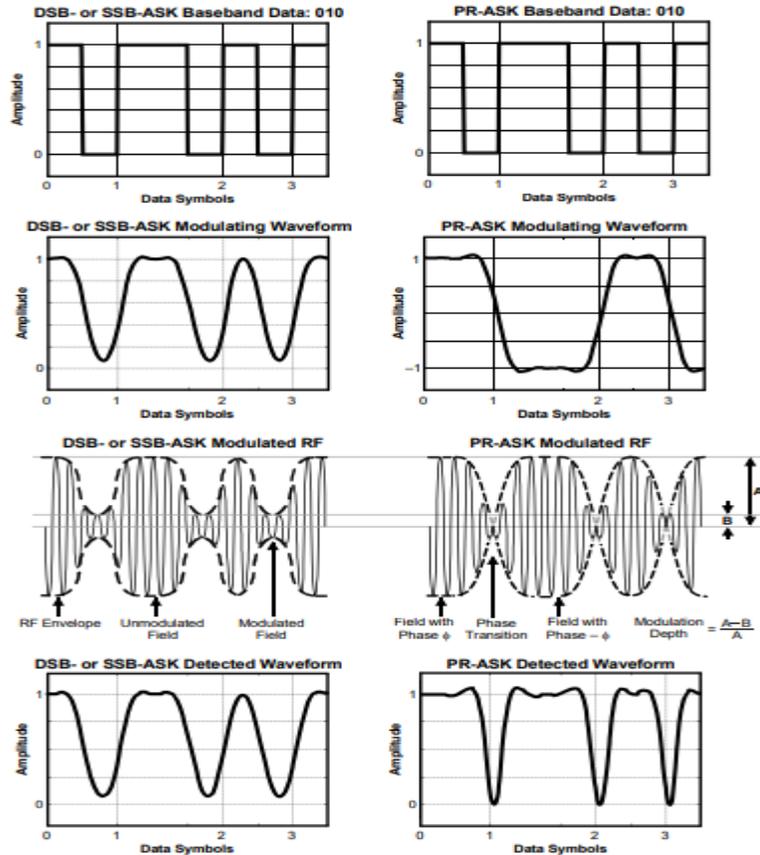


Figura 8. Modulación de lector a etiqueta.

Fuente: (Swapna et al., 2007).

El lector no va a cambiar el tipo de modulación en el enlace interrogador-etiqueta, quiere decir que no cambiará entre las modulaciones dichas anteriormente sin iniciar primero su forma de onda RF.

2.2.3.7 Codificación de datos

El enlace lector a etiqueta utilizara la simbología PIE (Pulse-interval encoding) como se indica en la figura 9. Donde T_{ari} es el intervalo de tiempo para la señal del lector a la etiqueta y la duración del dato-0. Los valores altos representan CW transmitida y los valores bajos representan CW atenuada. El lector utiliza una profundidad de modulación fija, tiempo de caída, tiempo de subida, PW, longitud de datos 0, T_{ari} y longitud de datos 1. En el cual el 0 es representado como una combinación de los bits 1-0 con duración equivalente a 1 T_{ari} ; y en el

que el 1 se representa como una combinación 1-1-0 con duración igual a 2 Tari. Donde TARI es el intervalo de tiempo para la señal del lector a la etiqueta y la duración del dato.

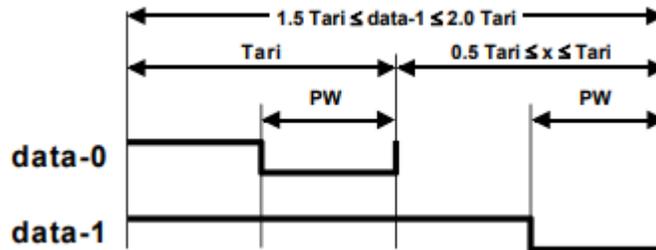


Figura 9. Codificación PIE símbolos.

Fuente: (Swapna et al., 2007).

La codificación PIE en el protocolo funciona conjuntamente a la modulación ASK que describe el cambio de amplitud de la onda para representar datos digitales. Tiene la ventaja de necesitar menos potencia.

2.2.4 Característica de la Antena.

“Cualquier estructura conductora puede denominarse antena, pero la eficiencia con la que la estructura puede transformar la energía es el factor determinante clave sobre qué tan bien se puede establecer la comunicación en el sistema” (Karmakar, 2010). Las antenas son elementos que sirven para la comunicación entre dos elementos: transmisión y recepción. Las antenas convierten la energía en forma de ondas electromagnéticas. En los sistemas de RFID se usan principalmente las antenas pasivas. Las antenas pasivas no tienen componentes activos como amplificadores.

En la tecnología RFID normalmente se usan antenas de tipo plano, normalmente Microstrip. Sin embargo, el tipo de antena utilizado puede depender de la aplicación en que se vaya a usar, la antena puede ser tipo corneta, túnel, bucle, doble plano, etc. Las antenas pueden ser elementos individuales o una matriz de elementos que pueden colocarse en diferentes ángulos y distancias para ser controladas por el lector y así se realice una lectura efectiva de las etiquetas (Chandra,2010).

2.2.4.1 Antena Microstrip

La antena Microstrip es el resultado del diseño de dimensión reducida tanto en antenas como líneas de transmisión que pudiera ser fácilmente acoplados a cualquier dispositivo. Por lo general son líneas de transmisión eléctrica impresas en un material conductor sobre un sustrato dieléctrico. El material conductor y el tamaño del sustrato dieléctrico inciden en la frecuencia que puede operar la antena. Este tipo de antenas pueden ser aplicadas en la etiqueta de RFID o en el lector.

Las antenas tipo parche tiene una estructura como se indica en la figura 10 que posee una línea conductora(L), ancho(W) y grosor(t). La tira conductora se encuentra situada en la parte superior del sustrato dieléctrico. El cual tiene un ancho(h).

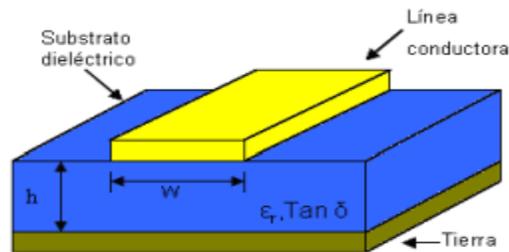


Figura 10: Estructura de una antena Microstrip

Fuente:(Hernandez,2008, p. 37).

Dependiendo de los requisitos que se especifica para la construcción de una antena Microstrip, se puede acudir a diferentes configuraciones de estas, las más típicas son: dipolo, cuadrada, rectangular, pentagonal, triangular, circular, sector de disco, anillo, semi disco, anillo electico, espiral, disco con ranura, entre otras.

“El patrón de radiación de una antena tipo parche es omnidireccional, aunque la potencia radiada es emitida solamente hacia la parte superior de la antena en su forma ideal debido a que se considera un plano de tierra infinito, el cual bloquea radiación hacia la parte inferior de la antena” (Hernandez,2008).

En la figura 11 se muestra el patrón de radiación característico para una antena tipo parche. En la parte a) se encuentra el campo eléctrico y en la parte b) se encuentra el campo magnético.

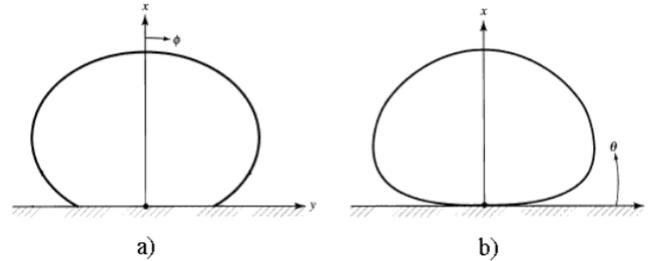


Figura 11. Patrón de radiación de una antena tipo parche

Fuente:(Hernandez,2008, p. 37).

2.2.4.2 Ganancia

“la ganancia de cualquier antena es la relación de la potencia transmitida en cualquier dirección dada con respecto a la potencia transmitida en esa dirección por una antena isótropa (unidad dBi) o una antena dipolo (unidad dBd).” Una antena isotrópica tiene un patrón de radiación omnidireccional mientras que una antena dipolo radia uniformemente en un plano” (Karmakar, 2010)

2.2.4.2.1 Antena Isotrópica

La ganancia de una antena se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección y la densidad de potencia que radiaría una antena isótropa, a igualdad de distancias y potencias entregadas a la antena.

$$G(\theta, \Phi) = \frac{p(\theta, \Phi)}{\frac{w_E}{4\pi r^2}} \quad (1)$$

Si no se especifica la dirección angular, se entiende que la Ganancia se refiere a la dirección de máxima radiación.

$$G = \frac{p_m}{\frac{w_E}{4\pi r^2}} \quad (2)$$

La diferencia entre ambas potencias es la potencia disipada por la antena, debida a pérdidas óhmicas. La eficiencia se puede definir como la relación entre la potencia radiada por una antena y la potencia entregada a la misma. La eficiencia es un número comprendido entre 0 y 1. Si una antena no tiene pérdidas óhmicas, la Directividad y la Ganancia son iguales.

$$G(\theta, \Phi) = D(\theta, \Phi) \quad (3)$$

2.2.4.3 Directividad

La directividad de una antena es la medición de la concentración de la potencia radiada hacia una dirección específica. Se define como la relación entre la densidad de potencia radiada en una dirección.

2.3 Definición de conceptos

En la presente investigación se midió las siguientes variables:

- Tasa de errores de bit (BER)
- Variación Porcentual en SNR para obtener un mínimo de BER

2.3.1 Definición nominal de conceptos

- **Tasa de errores de bit (BER)**

Es la cantidad de bits recibidos con errores dividida entre la cantidad total de bits recibidos, durante un período de tiempo dado.

- **Variación porcentual**

De manera específica, la variación porcentual representa la diferencia entre un valor pasado y uno presente en términos de un porcentaje de variación. En este trabajo se considera como referencia la curva teórica BER vs SNR para un sistema que usa modulación ASK, debido a que el trabajo de grado con el que se comparó únicamente implementó la capa física del sistema RFID.

2.3.2 Definición operativa de conceptos

- **Tasa de errores de bit (BER)**

$$BER = \frac{CBe}{CTB} \quad (4)$$

CBe: Cantidad de Bits recibidos con errores

CTB: Cantidad total de Bits recibidos

- **Variación porcentual**

$$Vp = \frac{V2 - V1}{V1} * 100 \quad (5)$$

Vp: Variación porcentual

V1: Representa el valor pasado o inicial (simulación a nivel de físico) de la curva teórica BER vs SNR de un sistema RFID con modulación ASK.

V2: Representa al valor presente o final (simulación a nivel de enlace) de las curvas BER vs SNR del sistema implementado.

2.4 Hipótesis

2.4.1 Hipótesis de investigación

A nivel de tasa de errores bit la SNR (relación señal a ruido) necesaria para lograr una conexión objetivo ($BER = 10^{-3}$) es 20% menor para un lector RFID que usa un arreglo de antenas Microstrip simulado a nivel de enlace, respecto a un sistema RFID simulado a nivel físico.

2.4.2 Hipótesis nula

A nivel de tasa de errores bit la SNR (relación señal a ruido) necesaria para lograr una conexión objetivo ($BER = 10^{-3}$) es superior al 20% para un lector RFID que usa un arreglo de antenas Microstrip simulado a nivel de enlace, respecto a un sistema RFID simulado a nivel físico.

2.4.3 Hipótesis alternativa

A nivel de tasa de errores bit la SNR (relación señal a ruido) necesaria para lograr una conexión objetivo ($BER = 10^{-3}$) es inferior entre el 10% y el 20% para un lector RFID que usa un arreglo de antenas Microstrip simulado a nivel de enlace, respecto a un sistema RFID simulado a nivel físico.

3. Metodología

3.1 Enfoque

"Las investigaciones dentro del paradigma siempre se enmarcan en el enfoque cuantitativo, debido a que utilizan datos cuantitativos o cuantificables y dicha cuantificación corresponde a propiedades, características o atribuciones que poseen los objetos de estudio" (Quijano, 2009). El trabajo se desarrolla bajo un enfoque cuantitativo, puesto que se desea conocer el comportamiento de la tasa de errores de bit de un lector RFID a partir de datos numéricos y porcentuales para la comunicación entre el lector y la etiqueta y la variación que existe a nivel de enlace con respecto a nivel físico.

3.2 Paradigma

"El neopositivismo (en particular con la teoría del Public Choice) insiste en la importancia de la medición de los hechos mediante la construcción de indicadores y hace uso de una mayor formalización matemática, la cual tuvo un importante desarrollo durante estos últimos tiempos, debido a las posibilidades ofrecidas por la herramienta informática" (Roth, 2008). El trabajo corresponde a un paradigma neopositivista, debido a que se utiliza el conocimiento científico adquirido para el análisis de las variables de estudio para determinar la tasa de errores de bit de un lector RFID y la variación que existe a nivel de enlace con respecto a nivel físico, en conclusión, obtener los resultados a partir de los hechos.

3.3 Método

"Toda investigación cuantitativa se aborda el método científico, también conocido como método empirico-analítico el cual tiene las siguientes características: asume que la realidad es tangible, la realidad es única, pero es necesaria fragmentarla para estudiarla, hace mediciones controladas de las variables, utiliza información cuantitativa y técnicas estadísticas para tratarla y analizarla, busca obtener hechos desde la teoría"(Quijano, 2009). En el presente trabajo se desarrollará experimentos y montajes a nivel de enlace por medio de software en el que se analizará y se evaluará la tasa de errores de bit de un lector RFID, teniendo en cuenta esto la investigación se clasifica en método científico.

3.4 Tipo de investigación

El tipo de investigación de este trabajo es descriptivo, porque se busca determinar la tasa de error de bits de un lector RFID, mediante las curvas de tasa de error de bloque vs relación señal de ruido con el objetivo de verificar y contrastar la variación de la tasa de error de bits en la capa de enlace de una simulación a nivel de enlace con respecto a nivel físico o de potencia.

3.5 Diseño de investigación

El diseño de esta investigación es de tipo cuasiexperimento ya que serán simuladas dos variables aleatorias que no se controlarán.

$$\begin{array}{l} RG_1 \quad X \quad O_1 \\ RG_2 \quad - \quad O_2 \end{array}$$

RG_1 : Grupo de puntos aleatorios en el escenario de prueba.

RG_2 : Grupo de puntos aleatorios en el escenario de prueba.

X: Simulación del arreglo de antenas a nivel de enlace

- : Simulación del arreglo de antenas a nivel físico, usando la curva BER vs SNR teórica de la modulación ASK.

O_1 : Medida de SNR para obtener una tasa de error de bit igual a 10^{-3} .

O_2 : Medida de SNR para obtener una tasa de error de bit igual a 10^{-3} .

3.6 Universo

El universo de la presente investigación son todos los puntos que están alrededor del lector RFID dentro del volumen de prueba.

3.7 Muestra

La muestra de la presente investigación son unos puntos aleatoriamente distribuidos alrededor del lector RFID dentro del volumen de prueba, donde se realizó la medición de la potencia requerida para alcanzar el umbral de BER igual a 10^{-3} .

3.8 Técnicas de recolección de información

De acuerdo a las variables que se midió en la presente investigación (tasa de errores de bit y SNR), la técnica de recolección de la información usada correspondió a la observación directa de los datos que suministra el simulador a nivel de enlace en Matlab.

3.8.1 Validez de la técnica

La técnica aplicada en el desarrollo de esta investigación, corresponde a una simulación Montecarlo a nivel de la capa de enlace de datos, esta es válida pues se implementa los protocolos de comunicación definidos en el estándar ISO 18000-6C (Swapna et al., 2007) y se implementa los modelos de propagación definidos en literatura científica validada previamente (Karmakar, 2010).

3.8.2 Confiabilidad de una técnica

La técnica aplicada en el desarrollo de esta investigación es válida ya que utiliza librerías de los Toolbox de Comunicaciones y de Antenas provistos por Matlab, los cuales son ampliamente utilizados y verificados por parte de investigadores alrededor del mundo (Toolbox Matlab S. M. 1993).

3.9 Instrumentos de recolección

El instrumento de recolección de la información que se utilizó en este trabajo para almacenar todos los resultados de las pruebas corresponde a tablas de datos generadas por Matlab, que contiene las siguientes columnas: Número del tag, amplitud de la señal simulada (bits 0 y 1), coordenadas x, y, z de un punto de prueba, SNR en ese punto (relación señal a ruido), tasa de errores de bit en ese punto, distancia al lector, ganancia del arreglo de antenas en el punto considerado, potencia que llega al tag y tiempo de simulación.

4. Resultados

Con el fin de analizar el comportamiento de un lector RFID a nivel de tasa de errores de bit en una simulación a nivel de enlace, en resumen, se implementó un escenario de simulación usando Matlab, en el cual se ubica aleatoriamente unas etiquetas y se transmite 62500 mensajes “ACKNOWLEDGED-OPEN” desde el lector, los cuales corresponden a 10^6 bits. Cada mensaje es codificado y modulado de acuerdo con las especificaciones del estándar ISO18000-6C, y las señales que abandonan el arreglo de antenas que se someten al modelo de pérdidas de propagación definido en (Karmakar, 2010), y a un ruido blanco gaussiano aditivo cuya potencia corresponda a un nivel establecido de SNR. La potencia del lector se ajustó de modo que no se supere los 4Watts (Normativa estadounidense), lo que permitió verificar correspondencia con antecedentes. El comportamiento de la curva BER vs SNR se graficó para cada uno de los puntos del escenario de pruebas simulado, y se comparó con la gráfica teórica del esquema de modulación ASK, que fue tomada como referencia para la simulación del sistema RFID a nivel físico.

4.1 Técnicas de acceso y protocolos en las capas físicas y de identificación que serán implementados en el simulador.

4.1.1 Técnica de modulación

En el protocolo de comunicación ISO18000-6C se encuentran 3 tipos de modulaciones que son la modulación por desplazamiento de amplitud (DSB-ASK), Phase Reversal ASK (PR-ASK) y Single Side Band (SSB-ASK), tal como se explicó en la sección 2.2.3.6 del marco teórico. En la cual la técnica que fue implementada en el simulador corresponde a (DSB-ASK), esta técnica es la modulación ASK convencional que representa los datos digitales como variaciones de amplitud de una onda portadora, en este caso de 915 MHz, con una duración correspondiente a 1 o 2 T_{aris} (ver apartado 2.2.3.7). La comunicación entre el lector y la etiqueta se realiza codificando una secuencia de comandos, los cuales son modulados usando esta técnica, implementada en Matlab.

Se implemento este modulador ASK ya que los mensajes los traduce en señales, a las cuales se aplica un modelo de propagación para encontrar la señal recibida por una etiqueta, la cual es atenuada y contiene ruido.

4.1.2 Técnica de codificación por intervalo de pulso (PIE)

El sistema de codificación definido en el estándar corresponde a PIE (Pulse Interval Encoding – Codificación por Intervalo de Pulso), el cual usa pausas cortas y largas para representar 0 y 1 como se observa en la figura 12. (Ver apartado 2.2.3.7 del marco teórico). El mensaje implementado “ACKNOWLEDGED-OPEN” debe codificarse según el esquema PIE.

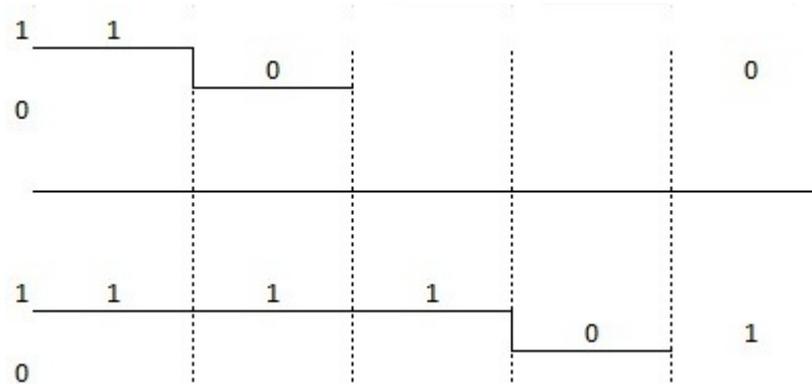


Figura 12. Representación de 1 y 0 según la codificación PIE

Como se transmitió 62500 mensajes entre lector y etiquetas, en realidad se realizó simulaciones equivalentes a 62500×38 bits. Luego de realizar pruebas, se observó que las simulaciones de más de 10^6 bits no modificaban apreciablemente las curvas obtenidas, pero sí tardaban más tiempo en completar las simulaciones.

4.1.3 Mensajes implementados

Los mensajes del estándar ISO18000-6C describen el intercambio de información entre lector y etiqueta, en el que la etiqueta entra en estado de reconocimiento y el lector realizan una operación de lectura, en la figura 13 se muestra los mensajes intercambiados entre lector y etiqueta de acuerdo con el estándar ISO18000-6C, entre ellos se encuentran:

Step	Data Flow	Command	Parameter and/or Data	Tag State
1a: <i>Req_RN</i> command	R => T	11000001	0001 0110 0000 0000 (RN16_0=1600 _h)	acknowledged → open
1b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	
2a: <i>Req_RN</i> command	R => T	11000001	0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	open → open
2b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0010 (RN16_2=1602 _h)	
3a: <i>Access</i> command	R => T	11000110	1011 1010 1100 1100 (BACC _n) 0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	open → open
3b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	
4a: <i>Req_RN</i> command	R => T	11000001	0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	open → open
4b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0011 (RN16_2=1603 _h)	
5a: <i>Access</i> command	R => T	11000110	1101 0110 1101 1101 (D6DD _n) 0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	open → secured
5b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	
6a: <i>Read</i> command	R => T	11000010	00 (MemBank=Reserved) 00000000 (<u>WordPtr</u> =kill password) 00000010 (<u>WordCount</u> =2) 0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	secured → secured
6b: Tag response	T => R		0 (header) 1101 1110 1010 1101 (DEAD _n) 1100 0000 1101 1110 (CODE _n)	

Figura 13. Comandos del interrogador y respuestas de etiquetas

Fuente: (Swapna et al., 2007).

De todos los mensajes mostrados en la figura 13, se decidió implementar el mensaje mostrado en la figura 14, que es enviado por el lector a todos los tags que están en su área de cobertura con el fin de prepararse para una transmisión de información. Los tags designan un tiempo en forma aleatoria y transmiten la respuesta al lector en orden en que se acaba dicho intervalo, dando a conocer que está listo para transmitir. Ese es el esquema de acceso que da inicio a la comunicación.

Step	Data Flow	Command	Parameter and/or Data	Tag State
1a: <i>Req_RN</i> command	R => T	11000001	0001 0110 0000 0000 (RN16_0=1600 _h)	acknowledged → open
1b: Tag response	T => R		0001 0110 0000 0001 (<u>handle</u> =1601 _h)	

Figura 14. Mensaje implementado.

4.2 Modelo de los componentes de simulación del lector RFID.

4.2.1 Diagrama de bloques del simulador

Para construir el simulador capaz de determinar la tasa de errores de bit se complementó el simulador implementado por (Romero, 2019), de la forma que se muestra en la figura 15.

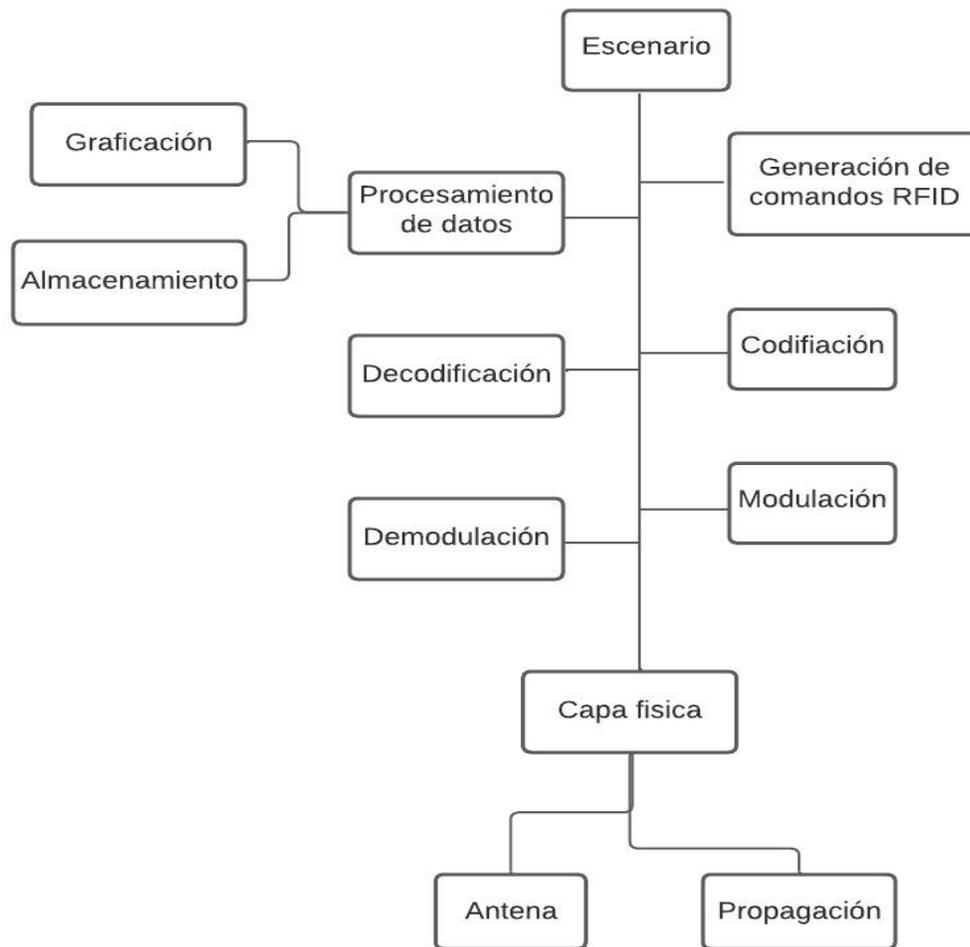


Figura 15. Diagrama de bloques simulador

La figura 15 es un diagrama de bloques en el que se muestra la estructura de todo el simulador. En el bloque de la capa física se encuentra el modelamiento de la propagación, el arreglo de antenas Microstrip, el escenario de prueba en forma de cubo en el que se genera el patrón de radiación, y en el cual se instancia las etiquetas aleatoriamente. Para cada etiqueta se calcula su posición y la tasa de errores de bit.

El bloque de generación de comandos RFID se encarga de generar los comandos que envía el lector RFID a las etiquetas, de acuerdo con el estándar ISO180000-6C, y puede ser ampliado para incluir otros comandos aparte del que se implementó para medir la tasa de errores de bit.

En el bloque de codificación PIE se realiza el proceso de transformar el comando RFID como se describe en la sección 4.1.2, sin perder información del mensaje en esa transformación. Para recuperar el comando RFID codificado se necesita decodificarlo de acuerdo con los parámetros definidos por la técnica PIE. Este código se encuentra implementado en el bloque de Decodificación.

En el bloque de modulación ASK se realiza el proceso de representar los valores del 0 y 1 en variaciones de la amplitud de la señal portadora de 915 MHz, la cual se somete a atenuación y adición de ruido gaussiano por parte de los bloques de capa física. Por último, se demodula el mensaje que contiene ruido para ser decodificado y poder comparar los errores introducidos con respecto al mensaje enviado.

El bloque de procesamiento de datos se encarga de guardar todos los resultados en un archivo y de graficar para cada uno de los puntos simulados la curva BER vs SNR resultante.

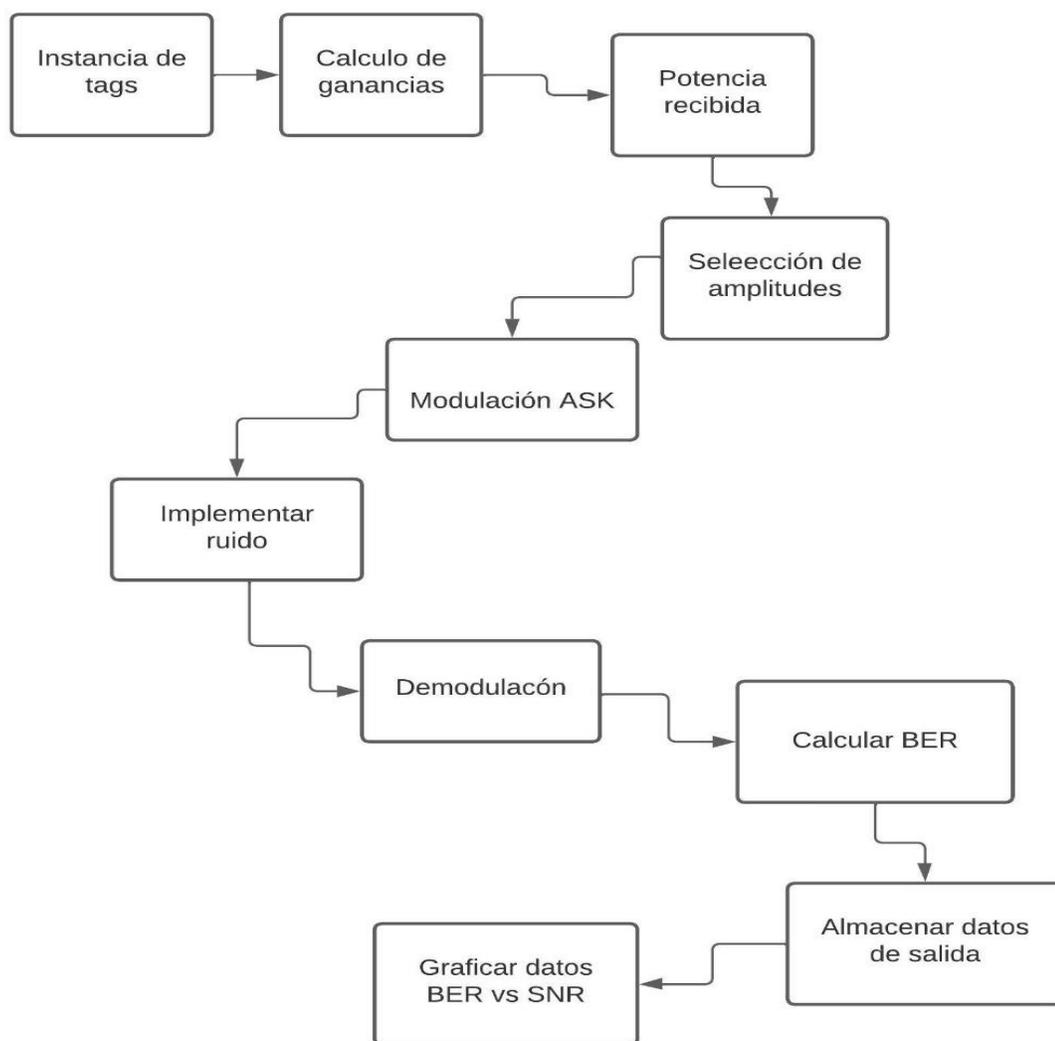


Figura 16. Diagrama de secuencia

En la figura 16 se muestra el diagrama de secuencia en el que se indica como los bloques interactúan. Se empieza por el bloque de instancia de tags que los ubica de forma aleatoria en todo el escenario de prueba, y además ubica el arreglo de antenas Microstrip. El patrón de radiación del arreglo (ganancia) se utiliza para calcular la potencia que recibe cada tag. Con esas potencias se calcula las amplitudes de las señales transmitidas que corresponden a los bits 1 y 0 del mensaje transmitido. Una vez establecidas dichas amplitudes, se pasa el comando RFID por los bloques de codificación y modulación ASK para representar el mensaje y añadir ruido gaussiano. La señal resultante se demodula y decodifica para así compararla con el mensaje transmitido, dando como resultado un porcentaje de error usado para el cálculo del BER. Todos

los resultados son almacenados en una tabla de salida con la cual se genera un gráfico donde se compara BER vs SNR.

4.2.2 Diseño del experimento

4.2.2.1 Generación de escenario de prueba

Mediante el código desarrollado en Matlab se construye un escenario de prueba que consiste en una simulación Montecarlo en un volumen cubico, en el cual se ubica el lector con su arreglo de antenas y las etiquetas RFID.

En la figura 17 se muestra los límites de un espacio cerrado en forma de cubo cuyas dimensiones son 3x3x3 metros en el que se generan un número de puntos aleatorios que representan a las etiquetas pasivas RFID.

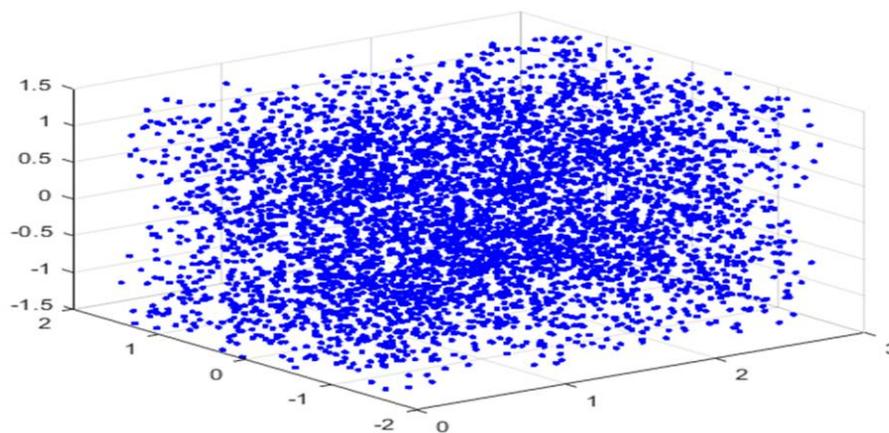


Figura 17. Escenario de prueba

En ese volumen que comprende el escenario de prueba se determinó el número de errores de bit que se obtiene luego de transmitir 16×10^6 bits entre el lector RFID y cada una de las etiquetas simuladas.

4.2.2.2 Generación de patrón de radiación de arreglo de antenas Microstrip.

Como en el escenario de prueba se tiene que ubicar la antena del lector en una posición determinada, se tiene que realizar un algoritmo en el que se desarrolle primero el diseño de la antena Microstrip sin el arreglo y luego con su respectivo arreglo. Ese diseño del arreglo de antena se basó en el trabajo de (Romero, 2019) en el que mediante el software Matlab se crea

una antena Microstrip tipo parche la cual es configurada de acuerdo con los siguientes parámetros: longitud, ancho de plano de tierra, coordenadas del punto de alimentación de la antena, tipo de sustrato dieléctrico, ángulo de inclinación de la antena, ángulo y eje de inclinación del patrón de radiación. En la tabla 1 se muestra los parámetros con los cuales se configuró la antena que conformará el arreglo asociado al lector RFID.

Frecuencia de resonancia (f_r)	915 MHz
Sustrato dieléctrico	FR4
Alto (h)	0.1588 cm
Permitividad ϵ_r	4.4
Ancho (W)	9.976 cm
Longitud (L)	8.164 cm
Ancho del plano de tierra (Wc)	$W + 2$ cm
Longitud del plano de tierra (Lc)	$L + 2$ cm
Inclinación	90°
Eje de inclinación	X

Tabla 1. Parámetros de diseño de la antena parche Microstrip

Fuente: (Romero, 2019)

Una vez configurados los parámetros se obtiene el patrón de radiación para la frecuencia de trabajo igual a 915 MHz (UHF) como se indica en la figura 18, obteniéndose una ganancia de 5.49 dBi. Ese patrón de radiación se orienta de modo que la máxima radiación de la antena se dirija al centro del escenario de pruebas, donde se ubica las etiquetas pasivas RFID.

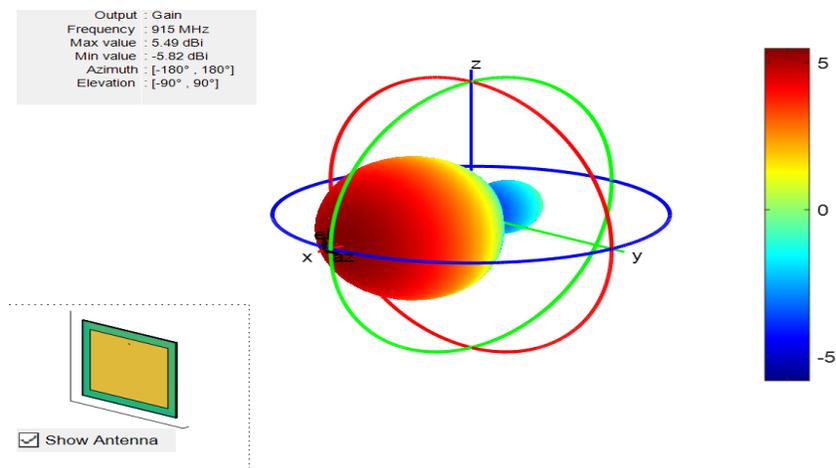


Figura 18. Patrón de radiación antena Microstrip

Usando la aplicación Sensor Array Analyzer incluida en el toolbox de antenas de Matlab se obtuvo la configuración del arreglo de la antena que se conectó con el lector RFID, y se hizo pruebas con 50 distintos arreglos, de los cuales se seleccionó el arreglo rectangular, que contiene 50 arreglos rectangulares con un número de antenas horizontales igual a 5, el número de antenas verticales igual a 4, con un espaciamiento horizontal de 0,163m y un espaciamiento de 0,174m.

En la figura 19 se muestra una de las 50 configuraciones probadas, de las cuales se generó el código para optimizar el arreglo.

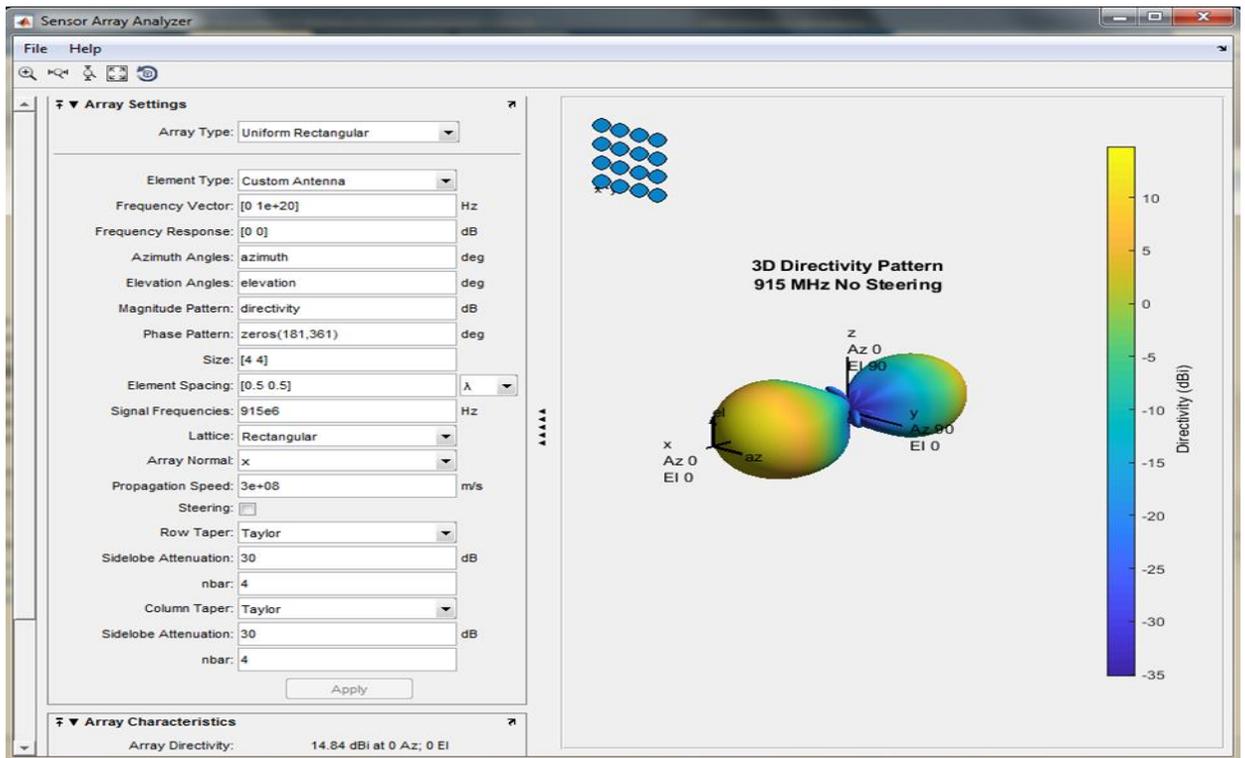


Figura 19. Geometría arreglo rectangular

En la figura 20 se observa el arreglo rectangular optimizado en el que se puede ver que tiene un patrón de radiación con mayor cobertura en la dirección donde se encuentra las etiquetas pasivas RFID. Dicho patrón de radiación del arreglo será utilizado en la simulación.

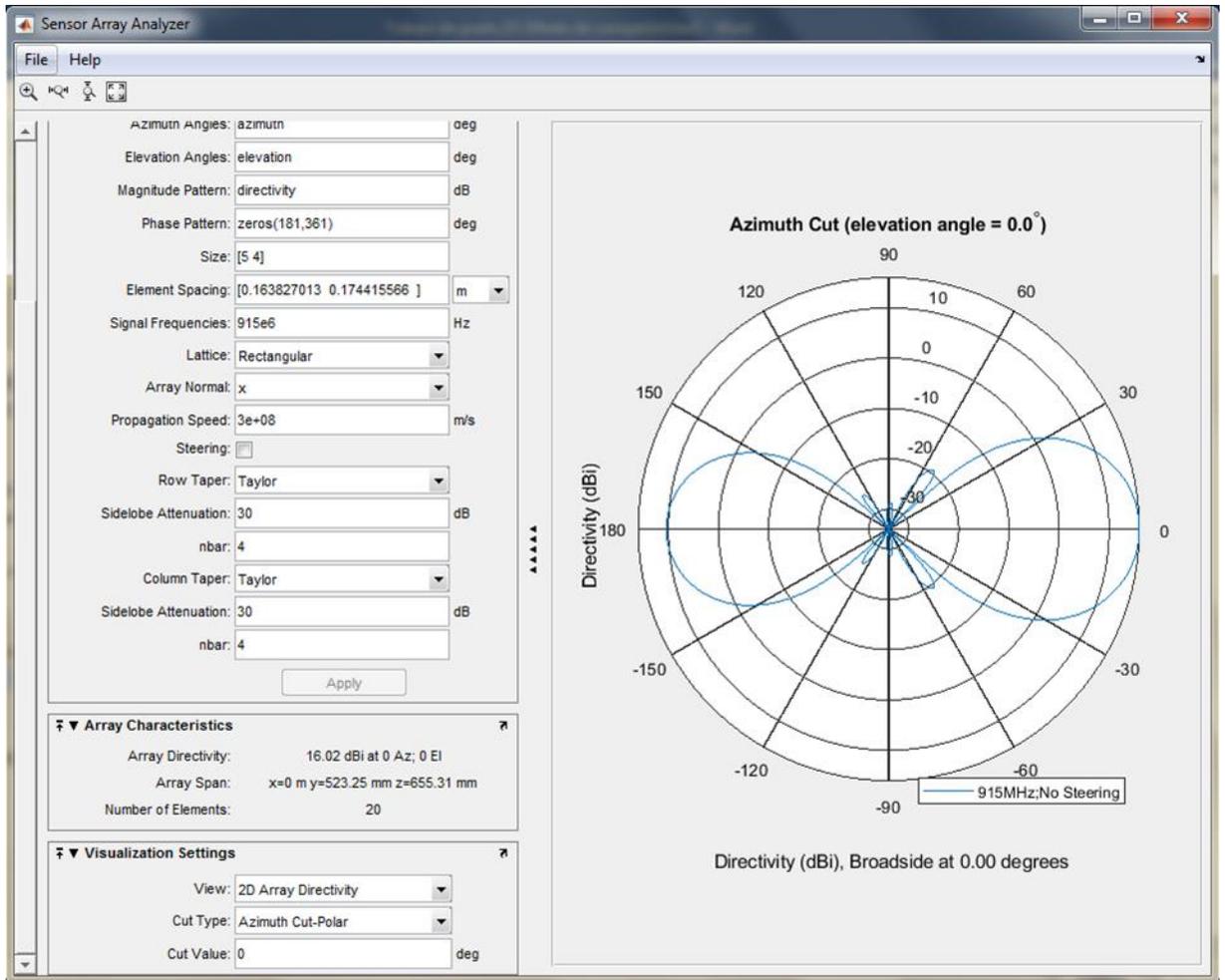


Figura 20. Geometría de arreglo rectangular optimizada

4.3 Implementación de los componentes o bloques de software que constituyen el simulador del lector RFID a nivel de enlace usando Matlab.

4.3.1 Implementación arreglo de antena Microstrip al escenario de prueba.

Una vez definido el arreglo de antena se introdujo en el arreglo al escenario de pruebas para graficar el comportamiento del patrón de radiación al conectar con las etiquetas pasivas RFID como se puede visualizar en la figura 21.

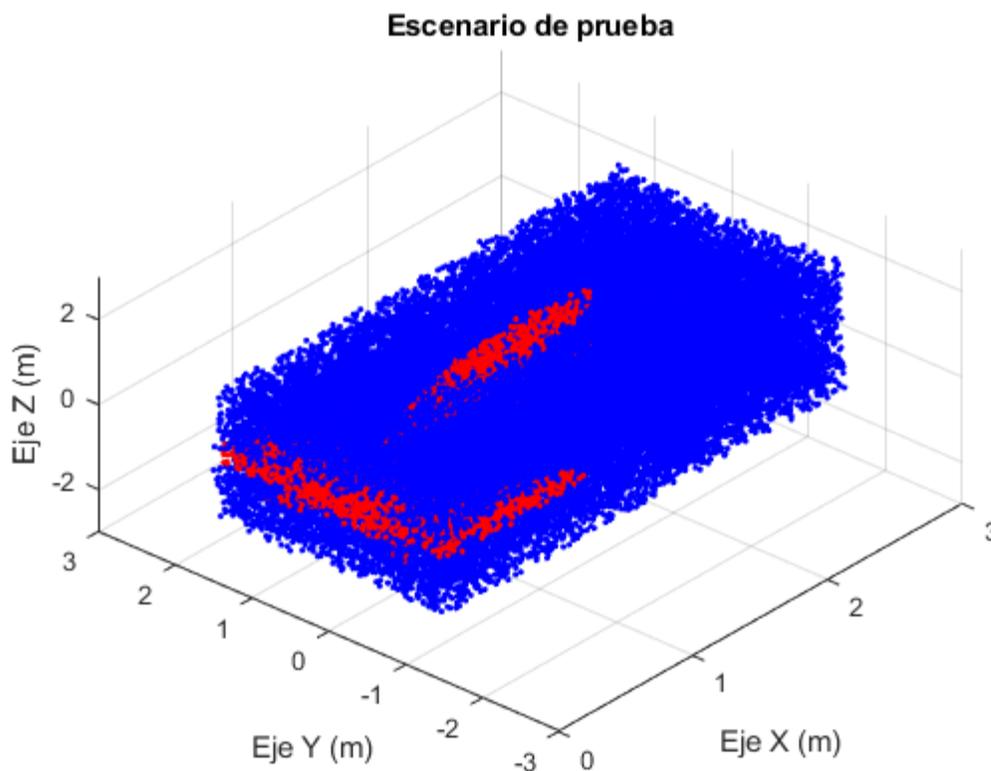


Figura 21. Implementación Arreglo de antena al escenario de prueba

El arreglo de antenas del lector se ubicó en la posición (0,0,0). La figura 21 muestra el patrón de radiación del arreglo optimizado y un número de etiquetas pasivas RFID. Los puntos de color rojo representan a las etiquetas RFID que tienen conexión y son leídas a nivel físico, mientras que los puntos azules representan etiquetas que no reciben suficiente potencia para conectarse con el lector. Para realizar esa conexión de puntos se necesitó de un modelo de propagación en él que se calcula las potencias recibidas por la etiqueta pasiva (Karmakar, 2010). La ganancia del patrón de radiación en cada punto se utiliza para determinar el comportamiento de la tasa de errores de bit en dicho punto.

4.3.2 Implementación de la modulación y demodulación ASK.

La curva BER vs SNR se utiliza para evaluar sistemas desde el punto de vista de la capa de enlace de datos. En el escenario de simulación los datos corresponden al mensaje que se escogió del estándar ISO18000-6C que será transmitido del lector a la etiqueta.

Para ello se implementó la técnica de la modulación descrita en el apartado 2.2.3.6, 2.2.3.7, 4.1.1 y 4.1.2. Como se observa en la figura 22, un mensaje enviado por el lector RFID es modulado usando ASK. Para la demodulación se implementó una demodulación coherente, esto es, en la cual la señal recibida se multiplica por la portadora para luego ser integrada en el dominio del tiempo y filtrada, con el fin de recuperar su componente de corriente directa. A partir de dicho componente, y estimando un umbral de decisión, se puede estimar el valor de cada bit enviado. La figura 22 es una representación de 50 bits, que es modulada con dos valores diferentes de amplitud para el bit 1 y el bit 0.

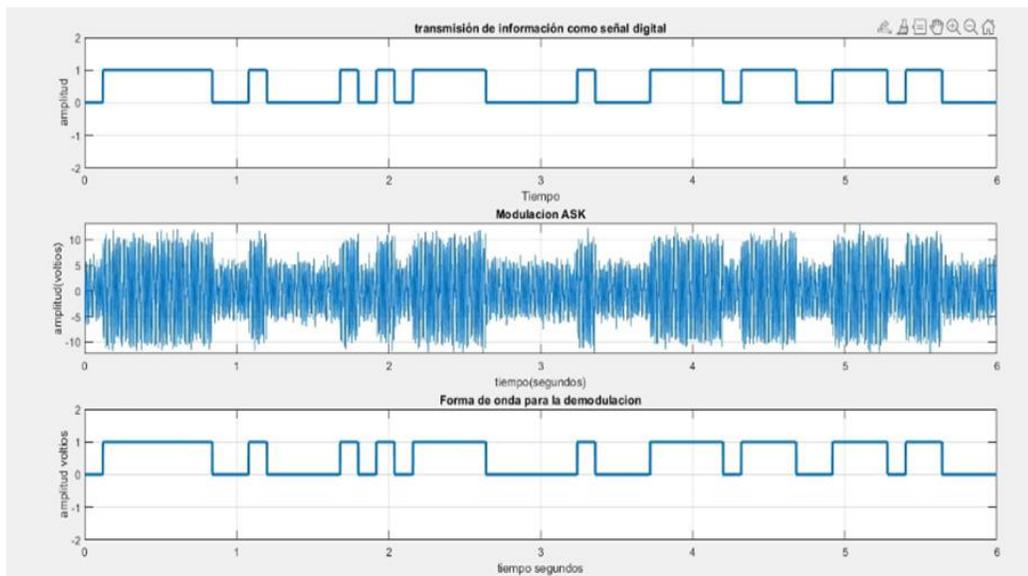


Figura 22. Implementación Modulación y Demodulación ASK

En la figura 22 se puede observar cómo se extraen los datos de la señal modulada en el que se detecta los cambios de la amplitud donde la oscilación se interpreta como un uno lógico y la ausencia de la señal se la asocia con ceros lógicos.

4.3.3 Implementación del Ruido.

La señal modulada es contaminada con ruido blanco gaussiano, tal como se muestra en la figura 23. Hay que aclarar que como el modelo de propagación usado considera el desvanecimiento, dicho efecto no fue implementado en el simulador. El ruido blanco está implementado en MATLAB como una función con el nombre de “awgn”, a la cual se debe suministrar los valores de SNR y la potencia de la señal transmitida. La SNR es definida como la

relación de potencia entre una señal de interés y el ruido de fondo. En las simulaciones realizadas se asumió valores de SNR entre 0.5 dB y 20 dB en pasos de 0.5dB.

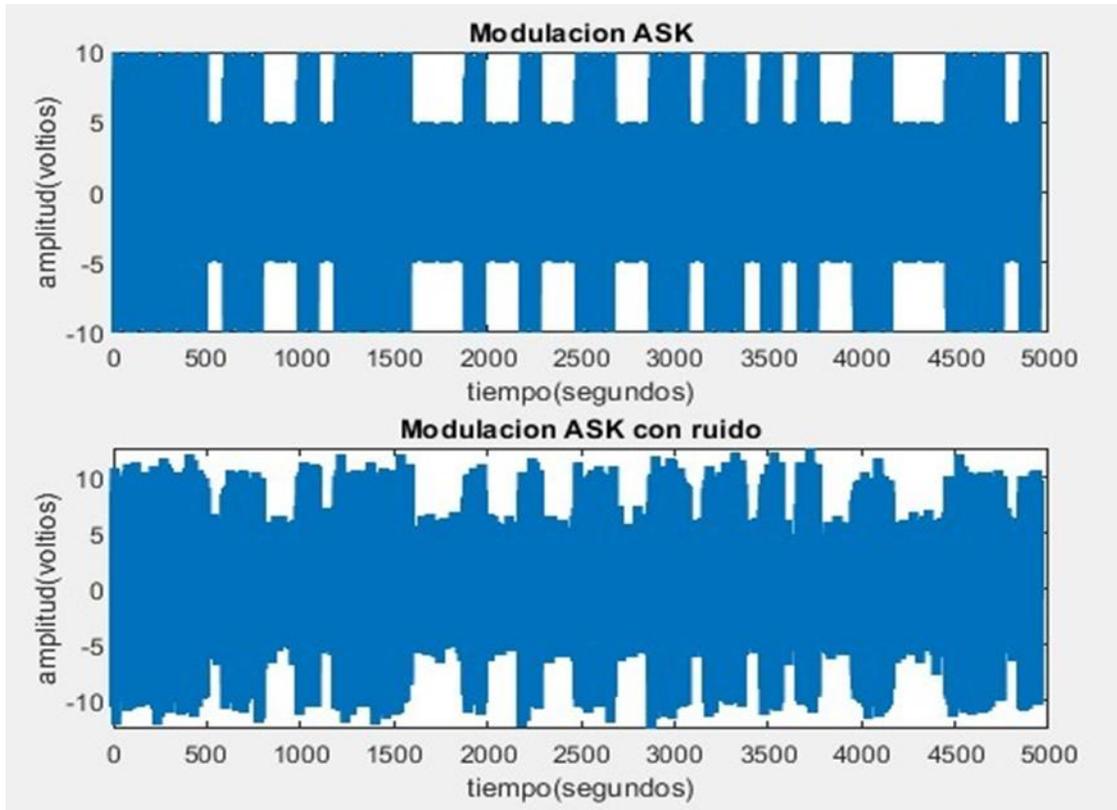


Figura 23. Modulaci3n ASK con ruido gaussiano.

4.3.4 Implementaci3n funci3n comparativa BER.

Una vez obtenida la se1al modulada y demodulada se puede calcular el porcentaje de errores de bit para el mensaje transmitido mediante una funci3n que compara las columnas de los mensajes transmitido y recibido y cuenta las discrepancias entre ambos. Esto se ilustra en la figura 24.

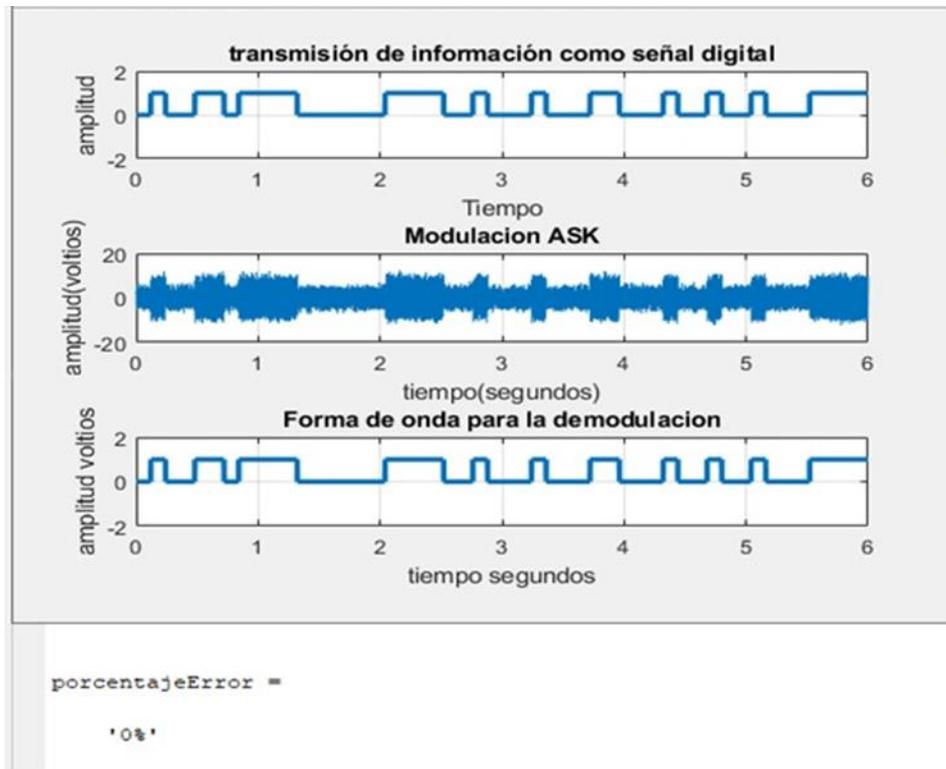


Figura 24. Función comparativa determinando el porcentaje de errores de bit

4.4 Obtención de la curva de desempeño en términos de tasa de errores bit vs relación señal ruido de la simulación a nivel de enlace del lector RFID.

4.4.1 Obtención de las amplitudes para determinar la tasa de errores de bit

Ya obtenido el patrón de radiación en términos de los valores de la ganancia, los cuales son necesarios para medir la potencia que recibe cada tag, se debe estimar las amplitudes con las cuales las señales moduladas deben ser modeladas en el escenario de simulación, es decir, se debe calcular las amplitudes que corresponden con los valores de 0 y 1 para una modulación ASK. Dichas amplitudes son necesarias ya que en la función comparativa en la cual se determina si una señal recibida corresponde a un 0 o un 1, se debe asignar un umbral de decisión que permita a la etiqueta reconocer estos dos valores. Con el fin de estimar las amplitudes que debe generar el lector RFID, y posteriormente definir un umbral de decisión, se tuvo en cuenta las siguientes consideraciones:

- En el estándar ISO18000-6C no se define un valor para el umbral de decisión que implementan las etiquetas RFID, por lo tanto, se realizó un análisis estadístico de posibles valores, los cuales fueron incluidos en las simulaciones realizadas, y cuyo efecto impacta directamente las curvas BER vs SNR obtenidas.
- Dado que en los antecedentes donde se define el modelo de propagación de RFID se usa una potencia isotrópica efectivamente irradiada equivalente a 4 vatios (Karmakar, 2010) (Regulación Estadounidense), la cual fue empleada en el trabajo de grado que se tomó como base, se decidió usar dicho valor con el fin de realizar una comparación entre los dos. Para ello se estimó la potencia que se recibiría en el límite del escenario de simulación en la dirección del lóbulo principal del patrón de radiación del arreglo de antenas.

$$P_t = \frac{4W * G_T G_t \lambda^2 X \tau}{(4\pi r)^2 \theta B F_p} \quad (6)$$

P_t : Potencia acoplada al circuito integrado de radiofrecuencia [Watt]

P_T : Potencia transmitida por el lector [Watt]

G_T : Ganancia de espacio libre de la antena de transmisión.

G_t : Ganancia de espacio libre de la antena de etiqueta.

λ^2 : Longitud de onda de la frecuencia portadora [metro]

X : Desajuste de polarización [0.5 dB]

τ : Coeficiente de transmisión de potencia [1 W]

r : Distancia de separación lector a etiqueta [metro]

θ : Penalización de ganancia de la antena de la etiqueta RF [1.2 dB]

B : Exceso de pérdida de bloqueo [1].

F_p : Pérdida de desvanecimiento por multitrayecto a pequeña escala, enlace de encendido.
[10 dB]

- Como en el estándar no se define la amplitud para la señal que corresponde al bit 0, se realizó pruebas con distintos valores, de modo que el demodulador pudiera recuperar mejor los datos recibidos. De este modo se eligió una amplitud del bit 0 igual al 40% de la amplitud usada para el bit 1. Se escogió este valor luego de analizar el histograma que muestra las amplitudes recibidas cuando se transmite un bit igual a 1 (Figura 25). Menos del 10% de los datos registrados corresponde a amplitudes por debajo de los 10mV, y alrededor del 60% de los datos registrados corresponde a amplitudes por encima de 20mV. De esta forma, la amplitud del 0 lógico se encuentra a una distancia aproximada del 50% de la amplitud del 1 lógico. Luego de realizar simulaciones, se redujo la amplitud al 40%, la cual presentó mejores resultados a nivel de detección en las etiquetas. Esto también permitió seleccionar el rango de amplitudes comprendido entre 10mV y 20mV como el espacio donde ubicar el umbral de decisión.

4.4.2 Obtención del umbral de decisión para determinar la tasa de errores de bit

Para diferenciar entre las amplitudes de 1 y 0 fue necesario implementar un umbral de decisión capaz de interpretar el valor lógico de las señales transmitidas en el mensaje. En el estándar de comunicación no se menciona los valores de umbral, ni de amplitudes que se debe tomar, para esto se realizó un histograma con los valores de las amplitudes del 1 y 0 como se observa en las figuras 25 y 26.

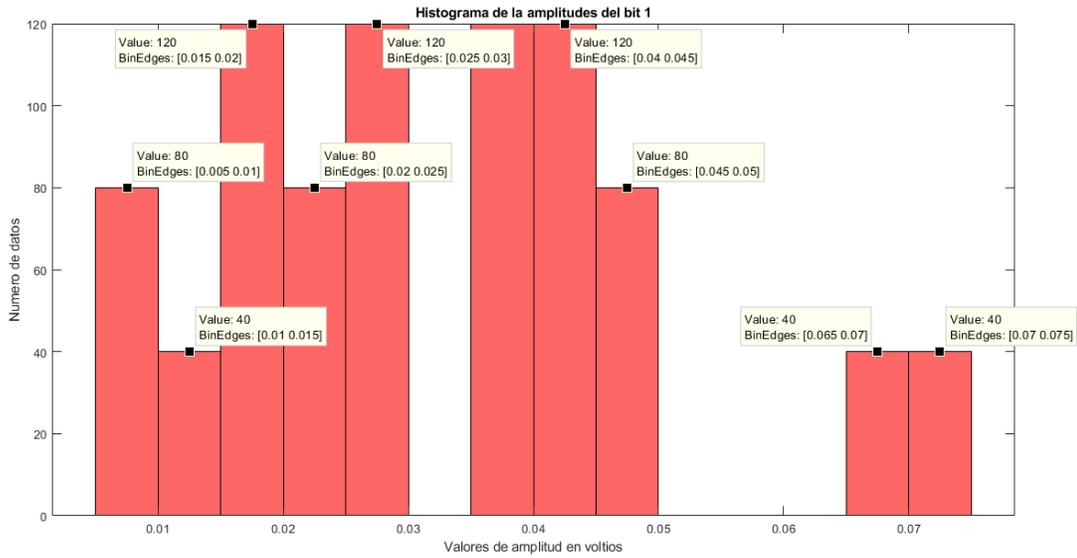


Figura 255. *Histograma de las amplitudes de bit 1*

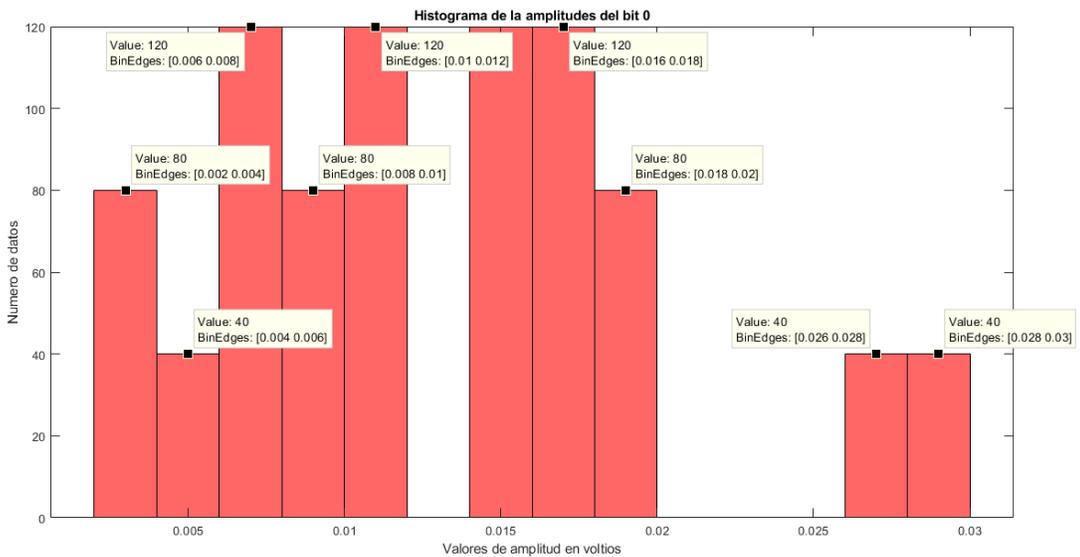


Figura 266. *Histograma de las amplitudes de bit 0*

En la figura 25 se puede observar que la mayoría de datos de las amplitudes del bit 1 se encuentran en el rango de 0.01V-0.05V y en la figura 26 se observa que la mayoría de datos de las amplitudes del 0 se encuentra en el rango de 0.004V-0.020V. Para determinar si la escogencia de esos rangos es válida se decidió colocar los dos histogramas en un mismo eje como se observa la figura 27.

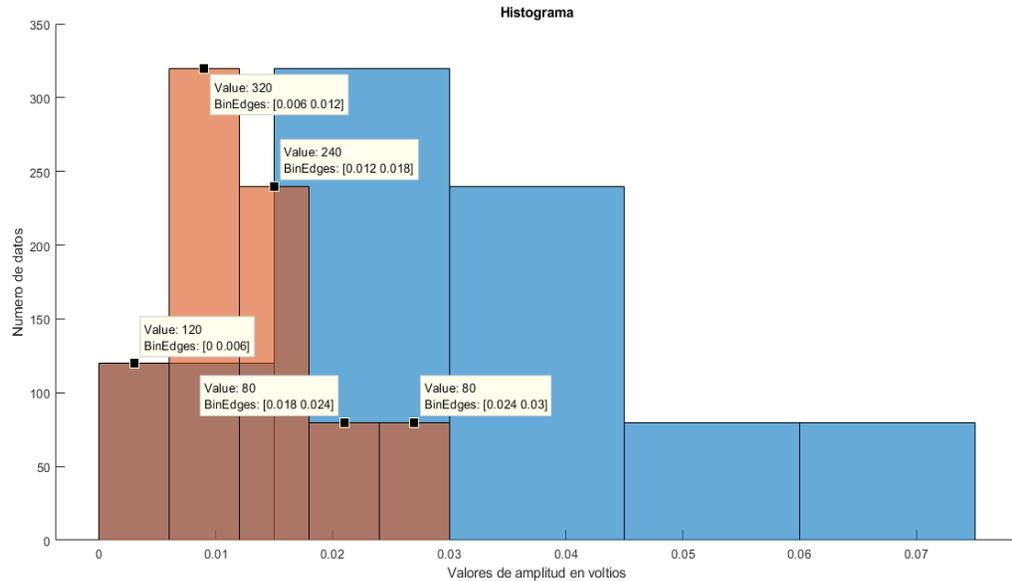


Figura 277. Histograma de las amplitudes del 0 y 1 en un mismo eje

En dicha figura se puede observar como los valores de amplitud del bit 0 se ubican mayormente del 0.006V-0.024V respecto a los valores de la amplitud del bit 1 esto quiere decir que para la decisión de los valores de umbrales se estimaron entre este rango, ya que desde ahí se puede diferenciar los valores de amplitudes del 0 y 1 mayormente. Se definió umbrales de prueba de 11mV, 15mV y 20mV ya que no se tiene un antecedente de este

Cabe aclarar que fue necesario llevar a cabo múltiples simulaciones cada una con tiempo de simulación que excedían las 6 horas, transmitiendo una potencia igual a 4 vatios y midiendo los niveles de señal recibidos en los puntos ubicados aleatoriamente en el escenario de pruebas, en donde cada etiqueta tiene un umbral que se mantiene constante en toda la simulación.

4.4.3 Obtención de la curva de desempeño en términos de la tasa de errores de bit (BER) vs relación señal a ruido (SNR)

Una vez implementados los puntos anteriores, se graficó la curva de desempeño de tasa de errores de bit, como se muestra en la figura 29. Cabe resaltar que en todas las simulaciones se simuló el envío de 10^6 bits. El tiempo de simulación requerido para obtener la gráfica de un punto aleatorio en el escenario de prueba fue aproximadamente de 1 hora o más.

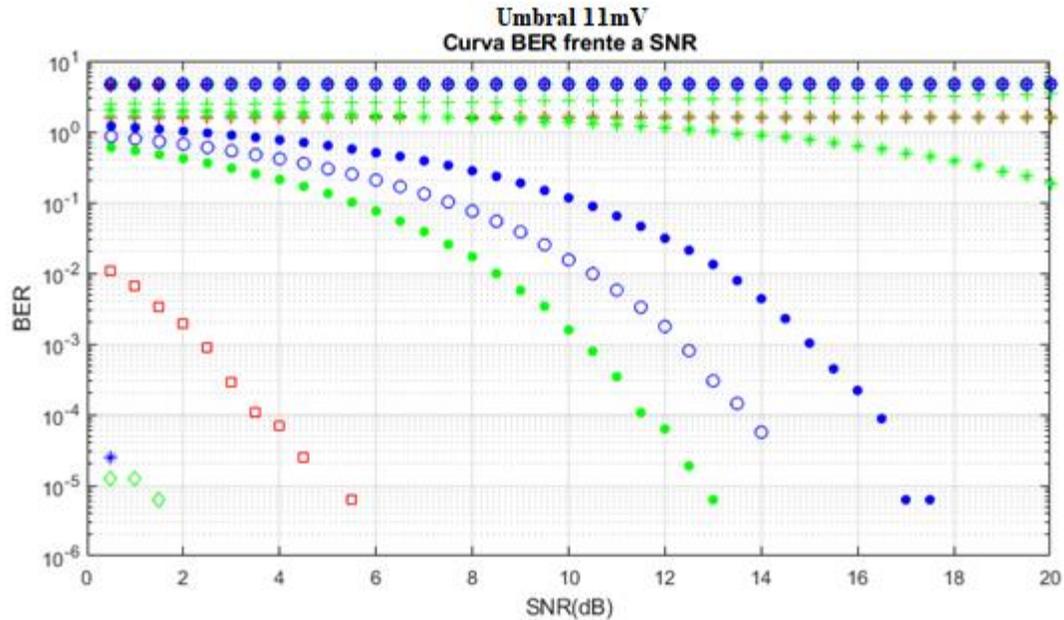


Figura 288. Curva BER vs SNR con un umbral de 0.011V

En la figura 28 se indica el resultado de la curva BER vs SNR donde se toman 200 etiquetas aleatorias alrededor de todo el escenario de prueba con un umbral de 11mV, implementando el mensaje del protocolo seleccionado en la sección 4.1.3, cada color indica curva BER vs SNR de una etiqueta. En la tabla 2 se muestra la potencia recibida para cada una de las etiquetas simuladas y su respectiva toma de datos, donde:

- Umbral de decisión (0.011V, 0.015V y 0.020V)
- A1 representa la amplitud del bit 1 en voltios (V).
- A0 representa la amplitud del bit 0 en voltios (V).
- X, Y, Z representan la ubicación del tag en el escenario de prueba en metros (m)
- Ganancia se refiere a los valores obtenidos del patrón de radiación del arreglo de antenas en la dirección de cada punto simulado (dBi).
- Potencia representa la energía que llega del lector a la etiqueta, medida en dBw.

En la tabla también se puede notar que únicamente se muestra la información de 21 de los 200 tags considerados, esto se debe a que la potencia recibida es tan pequeña que no es posible distinguir los bits 0 y 1 pues las señales detectadas poseen una amplitud inferior a 11mV. Por

este motivo también se descartó todos los puntos ubicados en direcciones donde la ganancia del arreglo es negativa.

<i>Numero de tag</i>	<i>Umbral</i>	<i>AI</i>	<i>A0</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Ganancia dBi</i>	<i>Potencia</i>
4	0,011	0,036	0,014	2,452	-0,152	-0,024	13,339	-31,877
7	0,011	0,028	0,011	2,440	0,234	0,066	11,301	-33,901
10	0,011	0,041	0,016	2,712	-0,102	0,032	15,447	-30,636
12	0,011	0,066	0,026	0,911	-0,071	0,888	12,977	-26,541
13	0,011	0,048	0,019	1,412	-0,031	1,398	14,150	-29,223
19	0,011	0,024	0,009	2,875	-0,058	-0,295	11,577	-35,054
39	0,011	0,080	0,003	2,889	0,182	-0,436	1,826	-44,914
42	0,011	0,027	0,010	2,610	-0,188	0,178	11,571	-34,214
48	0,011	0,017	0,007	0,423	-1,338	-0,194	2,148	-38,291
54	0,011	0,071	0,028	0,574	0,023	-0,398	8,474	-25,827
56	0,011	0,024	0,009	2,957	-0,221	0,232	11,571	-35,306
59	0,011	0,025	0,010	0,665	-1,499	-0,178	6,984	-34,774
70	0,011	0,040	0,016	2,257	-0,138	-0,010	13,454	-31,044
76	0,011	0,009	0,004	2,020	-0,045	-1,284	1,861	-43,134
86	0,011	0,037	0,015	1,432	0,144	0,043	9,056	-31,518
123	0,011	0,019	0,008	1,766	-0,197	-1,350	7,415	-36,968
131	0,011	0,043	0,017	1,129	-0,081	-1,248	11,853	-30,087
148	0,011	0,044	0,017	1,392	-0,099	1,236	12,812	-30,008
153	0,011	0,016	0,006	1,506	0,238	-1,272	4,333	-39,037
195	0,011	0,015	0,006	1,089	0,068	0,673	0,047	-39,523
199	0,011	0,046	0,018	1,418	0,082	-1,300	13,430	-29,671

Tabla 2. Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.011V

En la figura 29 se observa el resultado de la gráfica de la tasa de errores de bit con un umbral más alto de 15mV y 200 etiquetas, de las cuales solamente se graficó 13 puntos debido a que en los demás la amplitud de las señales recibidas es inferior al umbral establecido, lo que hace que en la práctica no se reconoce al tag. Igualmente se descartan todos los puntos cuya ganancia es negativa.

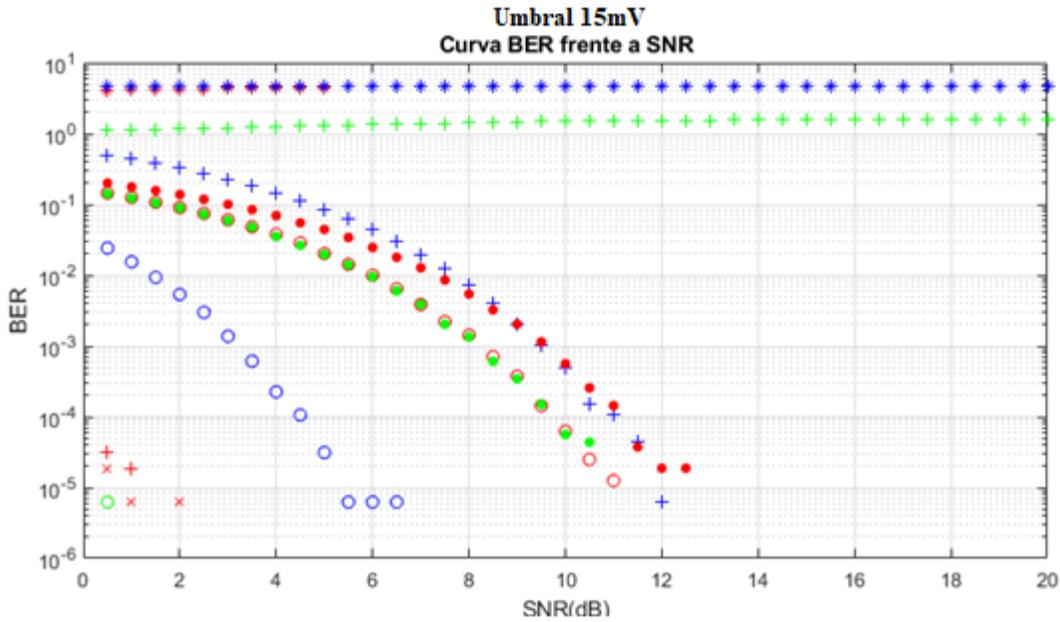


Figura 2929. Curva BER vs SNR con un umbral de 0.015V.

En la tabla 3 se indica los puntos que se graficó con su respectivo umbral, amplitudes del 0 y 1 que se calcularon en el escenario de prueba, sus coordenadas, ganancia y potencia.

<i>Numero de tag</i>	<i>Umbral</i>	<i>A1</i>	<i>A0</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Ganancia db</i>	<i>Potencia</i>
28	0,015	0,019	0,008	2,492	0,255	0,149	8,479	-36,925
29	0,015	0,014	0,006	0,903	0,136	-1,290	1,853	-39,537
46	0,015	0,032	0,013	0,394	-1,306	-0,113	7,404	-32,732
66	0,015	0,016	0,006	2,269	-0,104	-0,314	6,063	-38,554
68	0,015	0,02	0,008	0,544	-1,067	-0,164	2,252	-36,805
82	0,015	0,027	0,011	1,534	0,101	-0,1772	7,166	-34,037
85	0,015	0,045	0,018	2,477	-0,092	-0,007	15,561	-29,733
90	0,015	0,022	0,008	2,375	0,178	-0,246	8,998	-35,999
104	0,015	0,077	0,031	1,552	-0,009	0,027	16,116	-25,113
108	0,015	0,016	0,006	0,058	1,195	-0,153	0,382	-38,655
110	0,015	0,016	0,006	1,264	-0,223	1,411	4,467	-38,553
112	0,015	0,021	0,008	0,907	-0,107	-1,245	4,963	-36,221
130	0,015	0,021	0,008	1,384	0,211	1,381	6,544	-36,742

Tabla 3. Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.015V

En la figura 30 se observa el resultado de la gráfica de la tasa de errores de bit con un umbral más alto de 20mV y con 200 etiquetas, de los cuales solamente se graficó 12 puntos

debido a que en los demás puntos la amplitud de la señal recibida es inferior al umbral establecido, lo que hace que en el ejercicio no se reconoce el tag. También se descartan todos los puntos cuya ganancia es negativa.

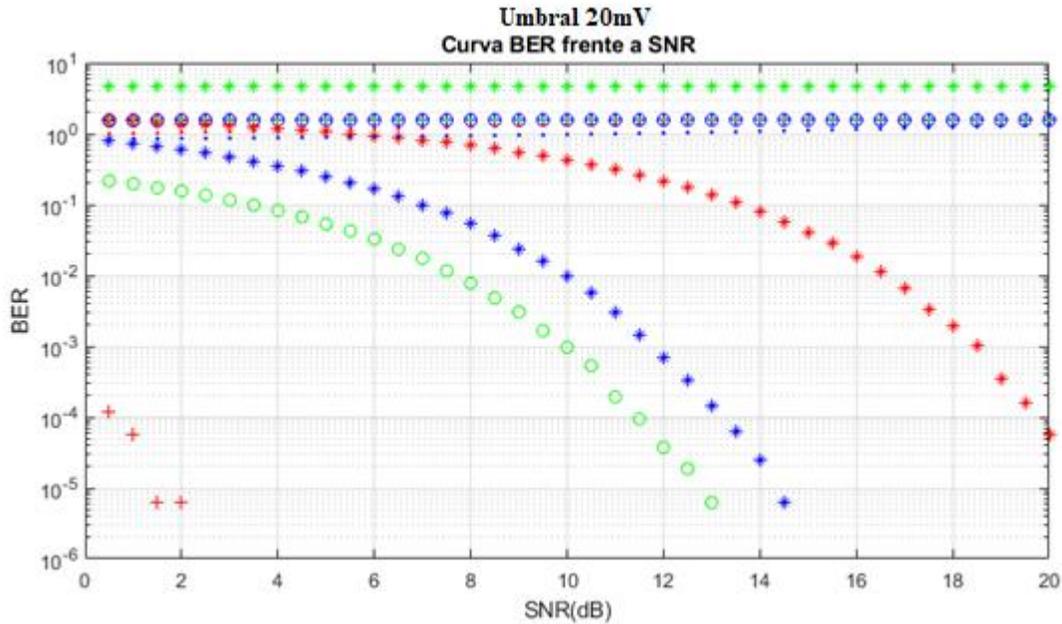


Figura 300. Curva BER vs SNR con un umbral de 0.020V

Por último, en la tabla 4 se indica los puntos que se graficaron con su respectivo umbral, amplitudes del 0 y 1 que se calcularon en el escenario de prueba, sus coordenadas, ganancia y potencia.

<i>Numero de tag</i>	<i>Umbral</i>	<i>A1</i>	<i>A0</i>	<i>X</i>	<i>Y</i>	<i>Z</i>	<i>Ganancia db</i>	<i>Potencia</i>
21	0,02	0,032	0,012	2,205	0,047	0,247	11,584	-32,753
31	0,02	0,028	0,011	2,566	0,214	0,009	11,757	-33,868
76	0,02	0,012	0,005	2,548	0,159	-0,349	4,841	-40,789
94	0,02	0,014	0,006	2,925	0,033	0,394	7,406	-39,405
120	0,02	0,021	0,008	2,871	0,222	-0,256	10,443	-36,187
122	0,02	0,018	0,007	1,588	0,045	0,244	3,888	-37,643
156	0,02	0,047	0,019	1,369	0,043	-1,379	13,849	-29,335
163	0,02	0,089	0,035	0,79	-0,015	-0,742	14,272	-23,847
165	0,02	0,044	0,017	2,195	-0,0004	0,139	14,333	-29,922
168	0,02	0,019	0,008	2,076	0,073	0,291	6,913	-36,932
177	0,02	0,008	0,003	2,093	0,103	-1,284	0,889	-44,332

Tabla 4.Tags Curva BER vs SNR con un umbral de 0.020V

4.4.4 Curva BER vs SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK

El trabajo previo, “Estudio de arreglos de antenas Microstrip en el alcance de etiquetas pasivas de RFID”, no estimó la curva de tasa de errores de bit ya que el énfasis de ese trabajo se encontraba en la capa física del enlace RFID. De este modo no se contó con un referente que permitiera comparar los resultados de las simulaciones realizadas. De este modo, en el trabajo actual se decidió usar la curva teórica de tasa de errores de bit para la modulación ASK, ya que las etiquetas RFID utilizan este tipo de modulación, para poder observar el comportamiento de la simulación frente a esta curva teórica. En la figura 31 se muestra la comparación de la curva teórica BER vs SNR para un esquema de modulación ASK, junto con los resultados de la simulación de la figura 28, y una línea recta que define un umbral sobre el cual se considera que la comunicación entre lector y etiqueta es exitosa. Dicho umbral de conexión corresponde a un valor de BER igual a 10^{-3} . La comparación entre la curva teórica representada de color rojo, y las curvas que corresponden a las simulaciones realizadas se realizó con base en este valor de umbral (Chakraborty et al., 2011).

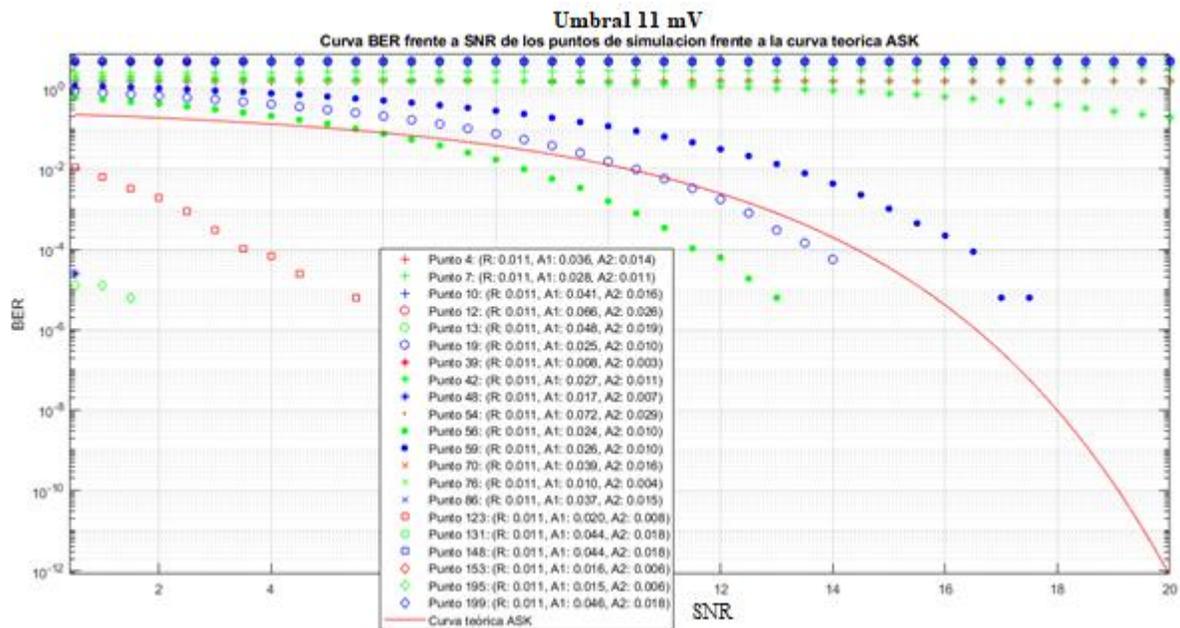


Figura 311. Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.011V

En la figura 31 se aprecia 3 comportamientos de la curva BER vs SNR para diferentes etiquetas simuladas. Estos comportamientos corresponden a puntos en el escenario de pruebas de mejor, similar y peor comportamiento respecto a la curva teórica ASK. Los puntos de mejor comportamiento son aquellos cuya curva se encuentra por debajo de la curva teórica, los puntos similares son aquellos cuya gráfica es cercana a la curva teórica, y por último los de peor comportamiento son aquellos puntos que se asemejan a una línea recta y se encuentran por encima de la curva teórica.

En la figura 32 se observa el resultado de la gráfica de la tasa de errores de bit con un umbral más alto de 15mV.

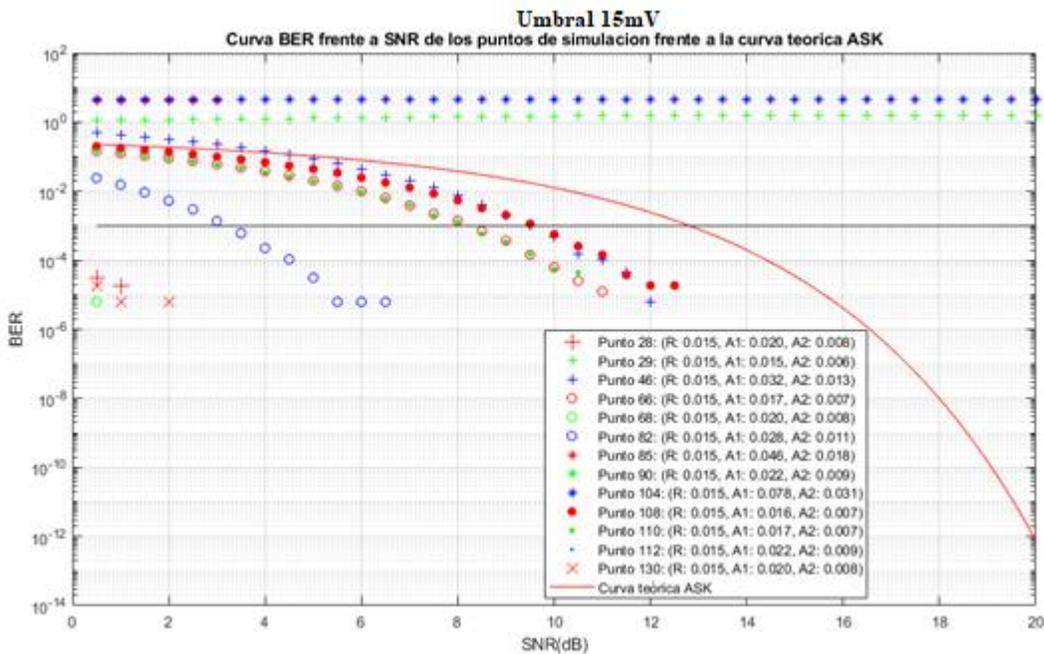


Figura 322. Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.015V

En la figura 32 también se aprecia 3 comportamientos de la curva BER vs SNR para diferentes etiquetas simuladas. Puntos que se comportan de mejor, similar y peor comportamiento respecto a la curva teórica ASK descritos anteriormente. Se puede observar que dichos puntos respecto a la figura 31 tienen un diferente comportamiento esto debido a la elección del umbral de decisión.

En la figura 33 se observa el resultado de la gráfica de la tasa de errores de bit con un umbral más alto de 20mV.

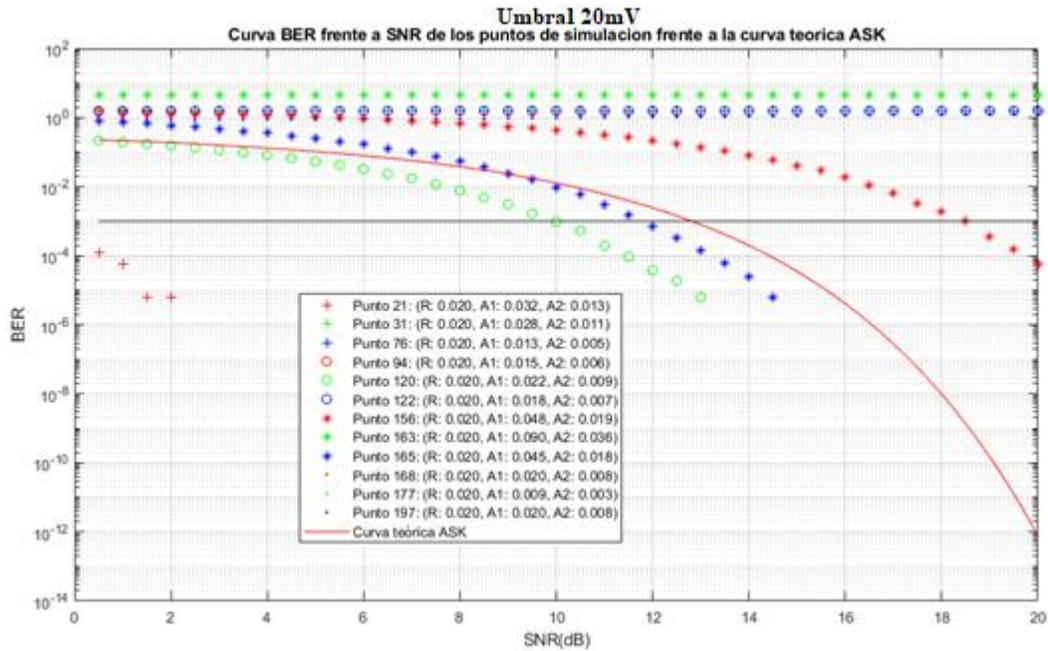


Figura 333. Curva BER frente a SNR de los puntos de simulación frente a la curva teórica ASK con un umbral de 0.020V

En la figura 33 también se aprecia 3 comportamientos de la curva BER vs SNR para diferentes etiquetas simuladas. Puntos que se comportan de mejor, similar y peor comportamiento respecto a la curva teórica ASK descritos anteriormente. Se puede observar que dichos puntos respecto a la figura 31 y 32 tienen un diferente comportamiento esto debido a la elección del umbral de decisión.

5. Análisis de Resultados

Analizando los resultados obtenidos se pudo identificar que hay tres tipos de comportamientos para la comunicación entre lector y etiqueta, suponiendo que una etiqueta establece una conexión exitosa con el lector cuando esta alcanza un valor de BER igual a 10^{-3} .

El primer caso corresponde a puntos cuya curva de BER nunca decrece, a pesar de incrementar el valor de SNR y que se grafican como una línea recta. Estos puntos o etiquetas son aquellos que no tienen conexión porque el umbral de decisión establecido en la etiqueta se encuentra por encima o por debajo de las amplitudes recibidas por la etiqueta, que corresponden a 0 y 1 lógicos, tal como se muestra en la figura 34.

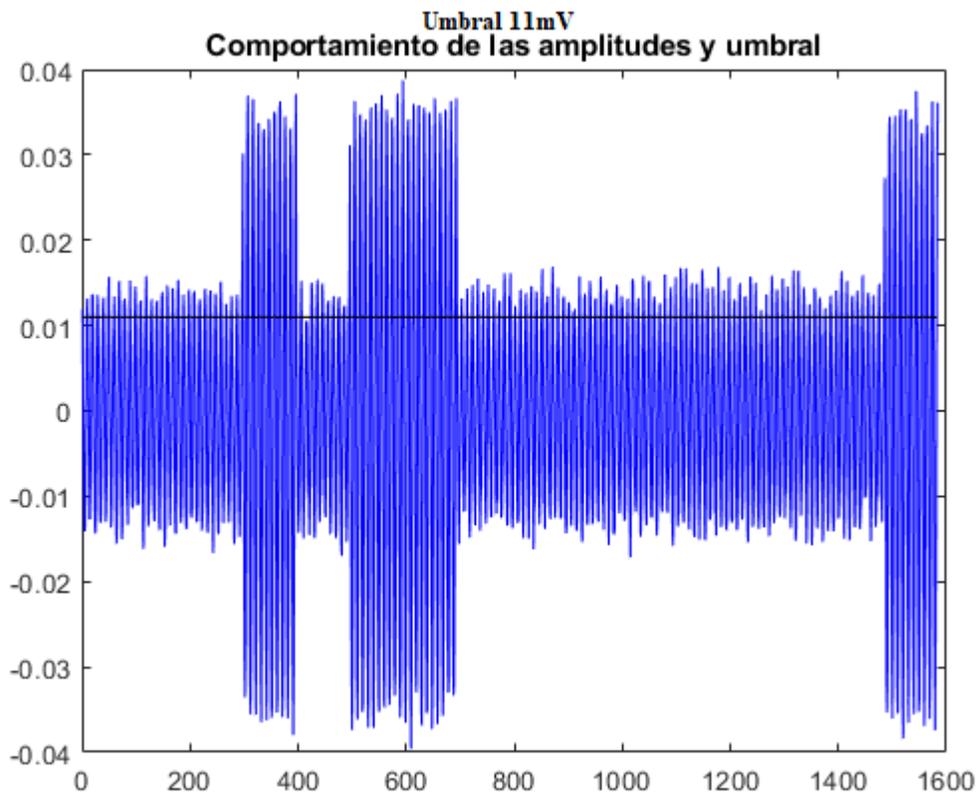


Figura 344. Comportamiento primer caso

En la figura 34 se grafica la señal recibida del punto 4 de la simulación de la figura 28 y 31, donde se observa claramente como el umbral de 0.011V que es representado por la línea recta no permite diferenciar los valores de las amplitudes $A1=0.036V$ y $A0=0.014V$. Esto quiere decir que hay muchos errores de detección, ya que el umbral se encuentra por debajo de las

amplitudes de los 1 y 0 lógicos. En este caso, la etiqueta detecta únicamente 1. Esta condición se presenta en puntos del escenario de simulación donde llega potencia, pero es muy baja.

Con el fin de optimizar el tiempo de simulación en el escenario de pruebas, en el cual para cada etiqueta se debe transmitir más de 10^6 bits para cada uno de los valores de SNR en el rango de 0.5 a 20 db, cuya duración excedía 6 horas (lo que implica alrededor de 10 días simulando 200 tags), se decidió excluir los tags con condiciones de simulación especial. Estos corresponden a etiquetas con ganancias iguales a 0 o negativas, para los cuales era muy probable que la amplitud detectada para los bits 0 y 1 estarían por debajo del umbral de decisión. Estas condiciones se implementaron para todas las simulaciones.

El segundo comportamiento observado en las curvas BER vs SNR corresponde a etiquetas que pueden diferenciar los bits 0 y 1 a partir de las amplitudes de la señal recibida, pero en los cuales una de las amplitudes de la señal recibida se encuentra cerca del nivel del umbral. En estos puntos existe una mayor probabilidad de conexión. Esto se observa en la figura 35.

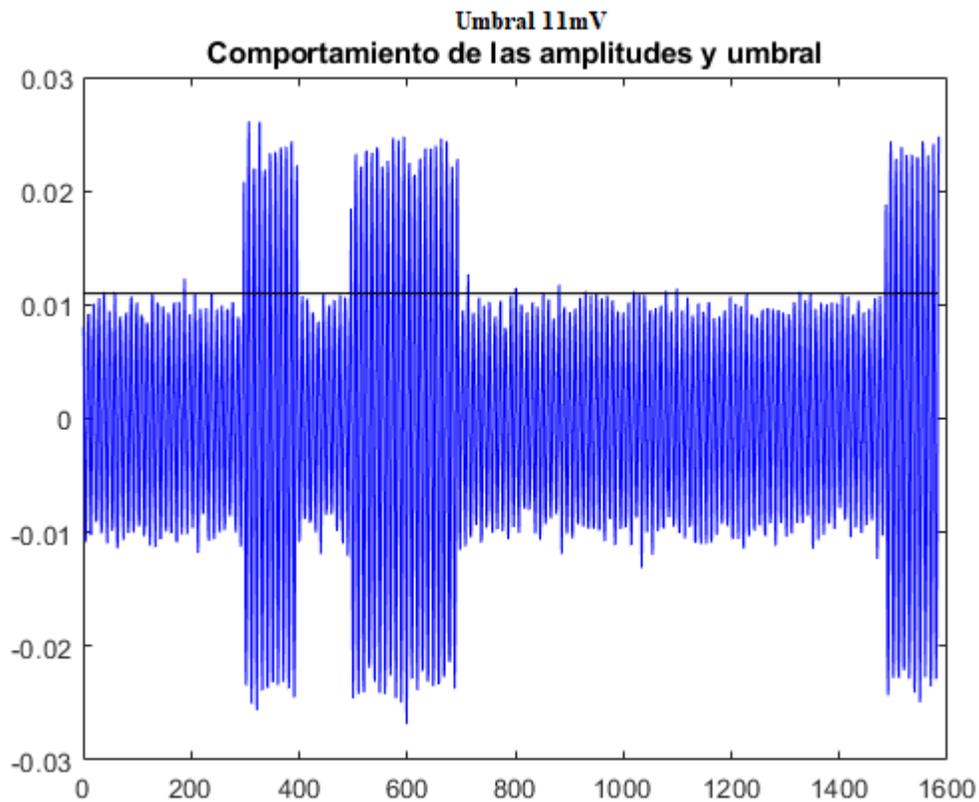


Figura 355. Comportamiento segundo caso

En la figura 35 se grafica la señal modulada con ruido del punto 56 de la simulación de la figura 28 y 31, se puede observar como el umbral de 0.011V que es representado por la línea recta diferencia los valores de las amplitudes $A1=0.024V$ y $A0=0.009V$, este corresponde a curvas que tienen un comportamiento cercano a la curva teórica ASK.

En el caso tres donde las curvaturas que empiezan desde el umbral de conexión o superan este tienen una potencia la cual hace diferenciar las amplitudes de 0 y 1 frente al umbral, haciendo que el umbral este por encima de los anteriores comportamientos, como se muestra en la figura 36.

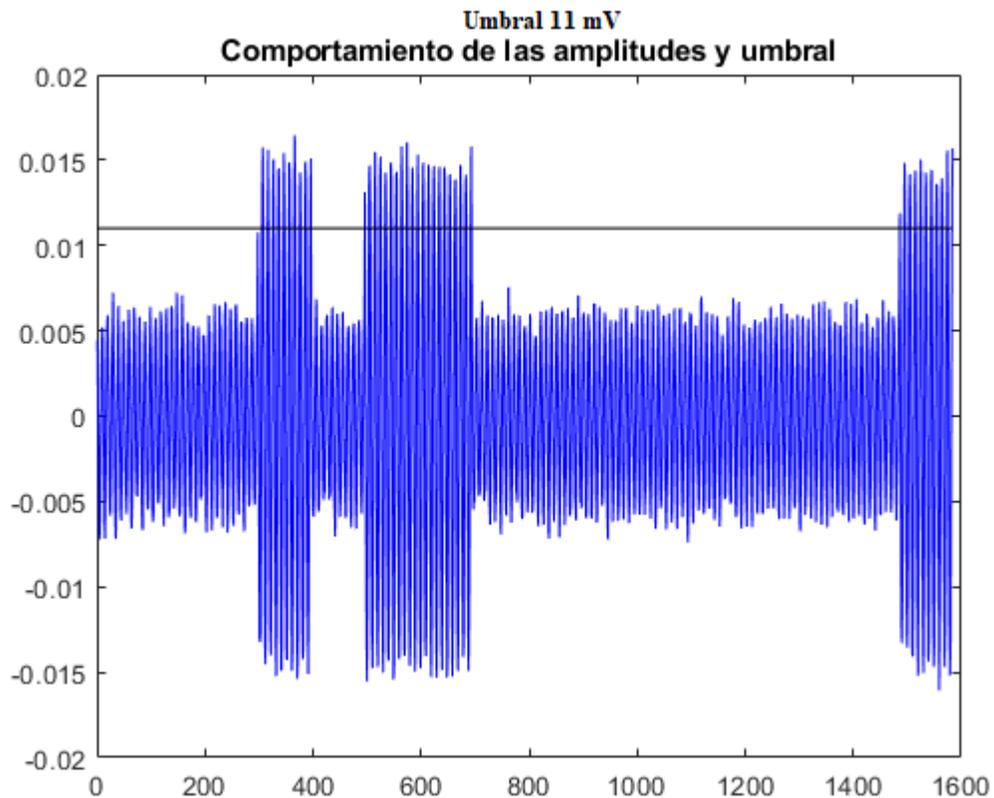


Figura 366. Comportamiento tercer caso

En la figura 36 se grafica la señal modulada con ruido del punto 195 de la simulación de la figura 28 y 31, se puede observar como el umbral de 0.011V que es representado por la línea recta que diferencia los valores de las amplitudes $A1=0.015V$ y $A2=0.006V$. Este comportamiento corresponde a todas las curvas que están por debajo de la curvatura ASK.

Para responder la pregunta de investigación formulada y verificar cuál de las hipótesis planteadas se cumple, se ha establecido comparar la tasa de errores de bit obtenidas de la simulación en el escenario de pruebas, frente a la curva de la tasa de errores de bit de la modulación ASK. A partir de la figura 28 en adelante se identifican tres comportamientos que aparecen en las curvas BER vs SNR: Primer caso en el que las etiquetas no distinguen la información recibida (peor comportamiento), segundo caso los cuales puntos que son similares a la curva ASK y, tercer caso, puntos que se comportan mejor que la curva ASK. Esta comparación se realizó en forma estadística determinando para un valor de umbral de decisión el porcentaje de tags en cada uno de los comportamientos anteriores.

Estos tres casos se representan a través de las siguientes ecuaciones:

$$\text{Primer caso} = \frac{\# \text{ de puntos por encima de la curva ASK}}{\# \text{ total de puntos simulados}} * 100\% \quad (7)$$

$$\text{Segundo caso} = \frac{\# \text{ de puntos similares a la curva ASK}}{\# \text{ total de puntos simulados}} * 100\% \quad (8)$$

$$\text{Tercer caso} = \frac{\# \text{ de puntos por debajo de la curva ASK}}{\# \text{ total de puntos simulados}} * 100\% \quad (9)$$

En la figura 37 se observa la intersección de la curva teórica ASK respecto al umbral objetivo ($BER = 10^{-3}$), en el que se determinaron los valores de las métricas definidas en las ecuaciones 7, 8 y 9, para determinar el porcentaje de puntos que pertenecen a los distintos comportamientos. En el caso de los puntos similares (Caso 2), se estableció aquellos que se encuentren dentro del 30% del valor correspondiente a la curva teórica.

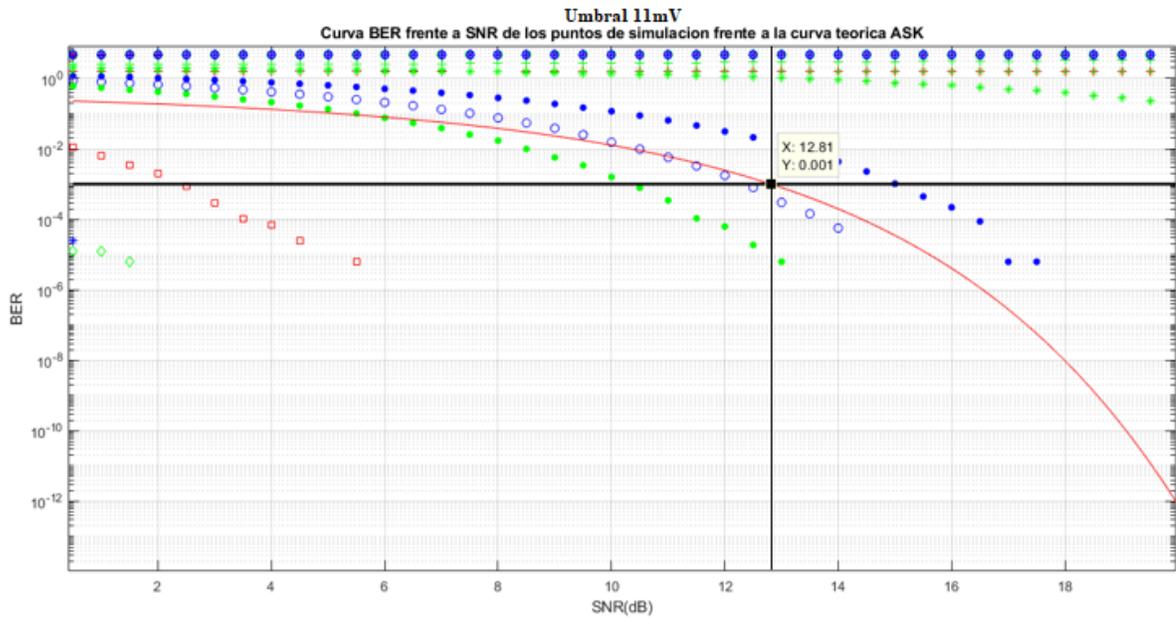


Figura 377. Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas con un umbral de 11mV.

En la figura 37 aparecen 21 puntos de los 200 simulados. Como se observa, están presentes los tres comportamientos definidos anteriormente respecto a la curva teórica. El cálculo del porcentaje de etiquetas para cada comportamiento se ilustra en las siguientes ecuaciones.

$$\text{Primer caso} = \frac{16}{21} * 100\% = 76.195\% \quad (10)$$

$$\text{Segundo caso} = \frac{1}{21} * 100\% = 4.7619\% \quad (11)$$

$$\text{Tercer caso} = \frac{4}{21} * 100\% = 19.0476\% \quad (12)$$

Se determina que con un umbral de 11mV se grafican en total 21 tags de 200, en el que 16 puntos son aquellos de peor comportamiento respecto a la curva teórica ASK (caso 1) representando el 76.2%, esto quiere decir que hay más puntos donde no hay conexión, tan solo un tag es el que se asemeja a la curva teórica (caso 2) haciendo referencia al 5% y por último se

encuentran los puntos de mejor comportamiento (caso 3) que representan el 19% lo cual son puntos de muy buena conexión.

A través de los datos obtenidos en la tabla 2 se ubican los tags con los distintos comportamientos descritos anteriormente en el escenario de prueba como se observa en la figura 38.

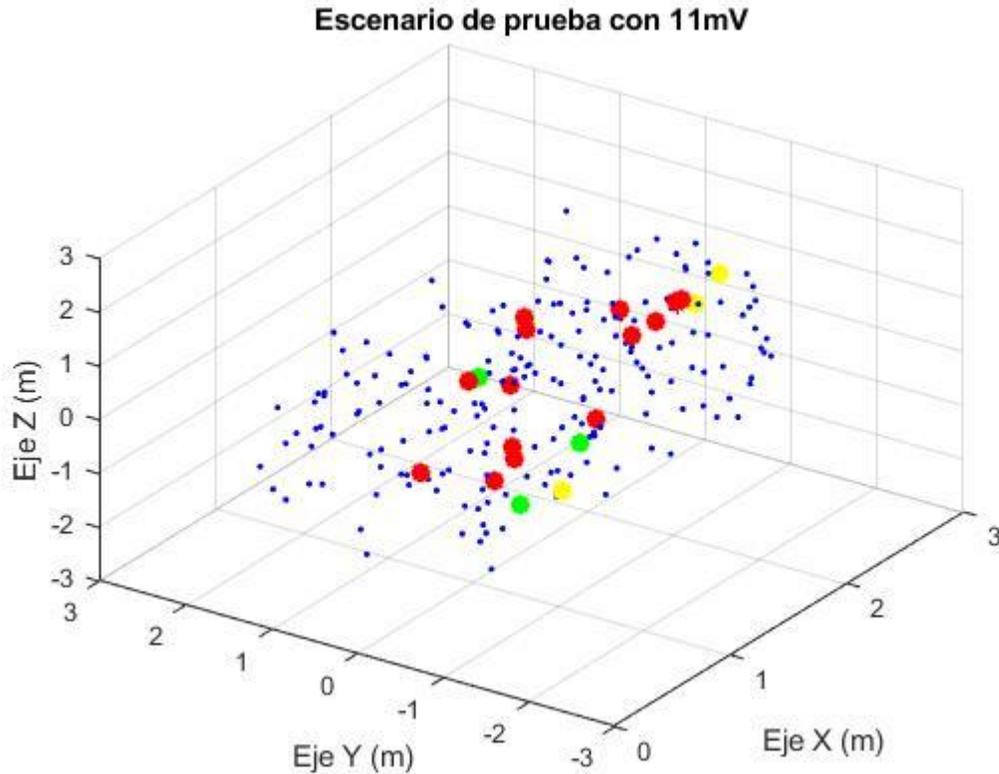


Figura 388. *Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 11mV*

En la figura 38 se ubica 200 tags simulados en el escenario de prueba con un umbral de 11mV, donde los tags o puntos de color rojo representan el primer caso (peor conexión comprado con la curva teórica), los tags de color amarillo representan al segundo caso (similares a la curva teórica) y los tags de color verde representan al tercer caso (mejor conexión comparado con la curva teórica).

Para todos los umbrales que se simularon se escogieron las mismas métricas, en la figura 38 se simula con un umbral de 15mV en el que de 200 puntos se graficaron en total 13 puntos lo cual también tienen los mismos comportamientos descritos anteriormente.

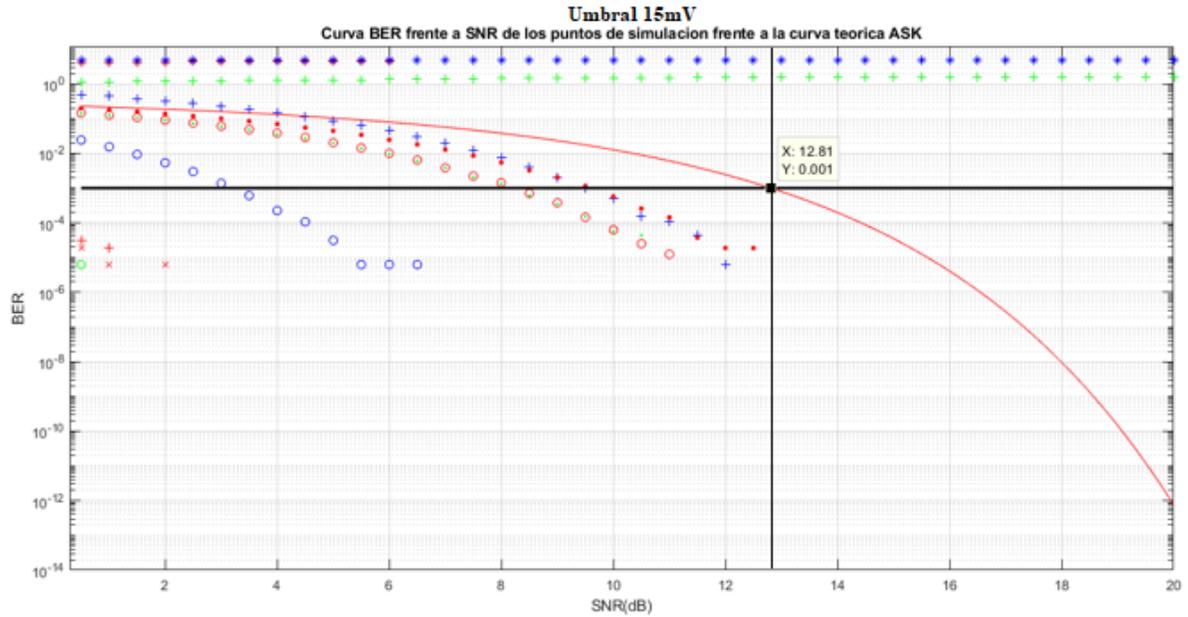


Figura 398. Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas con un umbral de 15mV.

Dicho lo anterior se calcula el porcentaje de cada comportamiento en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Primer caso} = \frac{5}{13} * 100\% = 38.4615\% \quad (13)$$

$$\text{Segundo caso} = \frac{0}{13} * 100\% = 0\% \quad (14)$$

$$\text{Tercer caso} = \frac{8}{13} * 100\% = 61.5385\% \quad (15)$$

Se determina que con un umbral de 15mV se grafican 13 puntos de 200, menos puntos del anterior umbral, en el que 5 puntos son de peor comportamiento respecto a la curva teórica ASK (caso 1) lo que representa el 38.5%, dichos puntos son los que no tienen conexión. En este

caso no se encuentra ningún punto similar a la curva teórica ASK ya que los puntos están muy lejos de lo requerido, por último, se encuentran los puntos de mejor comportamiento (caso3) que representan el 61.5% lo cual son puntos de muy buena conexión y es el mayor porcentaje de los demás comportamientos con el que se obtiene un mejor rendimiento.

A través de los datos obtenidos en la tabla 3 se ubican los tags con los distintos comportamientos en el escenario de prueba como se observa en la figura 39.

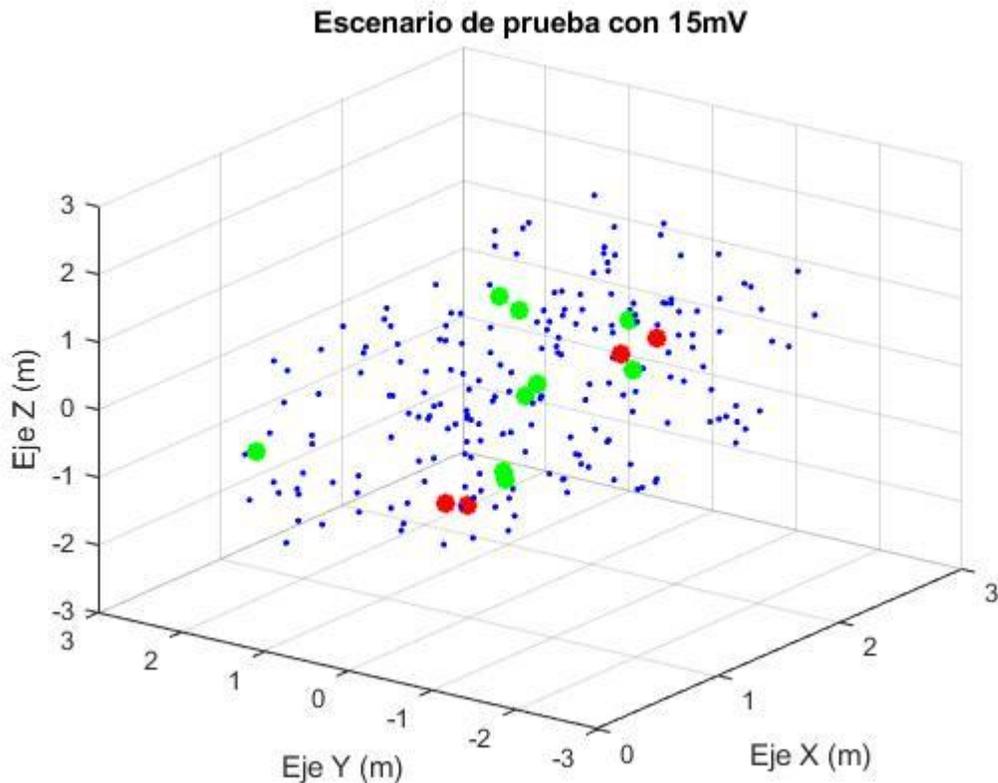


Figura 409. Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 15mV

En la figura 39 se ubica los 200 tags en el escenario de prueba con un umbral de 15mV, donde los tags de color rojo representan el primer caso (peor conexión comprado con la curva teórica) y los tags de color verde representan al tercer caso (Mejor conexión comparado con la curva teórica).

En la figura 40 se simula con un umbral de 20mV en el que de 200 puntos se graficaron en total 12 puntos, menos etiquetas que los anteriores umbrales, lo cual también tienen los mismos comportamientos descritos anteriormente.

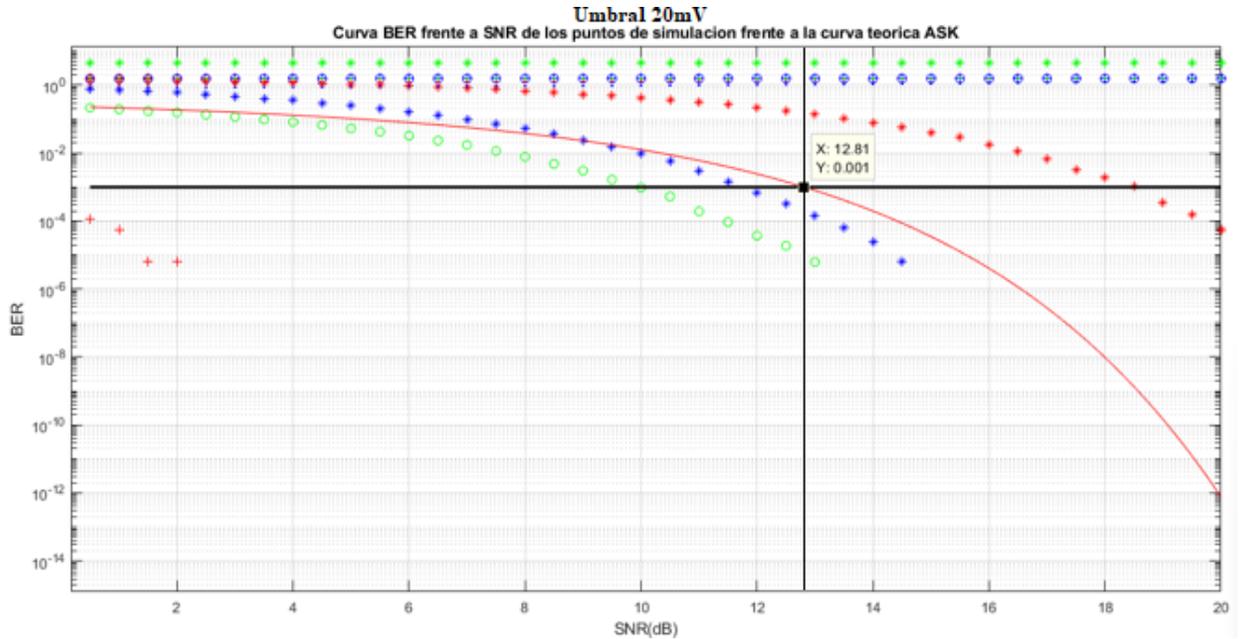


Figura 40. Curva BER vs SNR frente a curva teórica con el señalamiento de las métricas con un umbral de 20mV.

Dicho lo anterior se calcula el porcentaje de cada comportamiento en las siguientes ecuaciones:

$$\text{Primer caso} = \frac{9}{12} * 100\% = 75\% \quad (16)$$

$$\text{Segundo caso} = \frac{0}{12} * 100\% = 0\% \quad (17)$$

$$\text{Tercer caso} = \frac{3}{12} * 100\% = 25\% \quad (18)$$

Con un umbral de 20mV se grafican 12 puntos de 200, en lo cual 9 puntos pertenecen al peor comportamiento (caso 1) respecto a la curva teórica ASK lo que representa el 75%, quiere decir que hay más puntos en los cuales no hay conexión y es el comportamiento con mayor

porcentaje. En este caso no se encuentra ningún punto similar a la curva teórica ya que no cumple con lo requerido y, por último, se encuentran los puntos de mejor comportamiento (caso 3) que representan el 25% cuyos puntos tienen muy buena conexión, pero son muy pocos.

A través de los datos obtenidos en la tabla 4 se ubican los tags con los distintos comportamientos en el escenario de prueba como se observa en la figura 41.

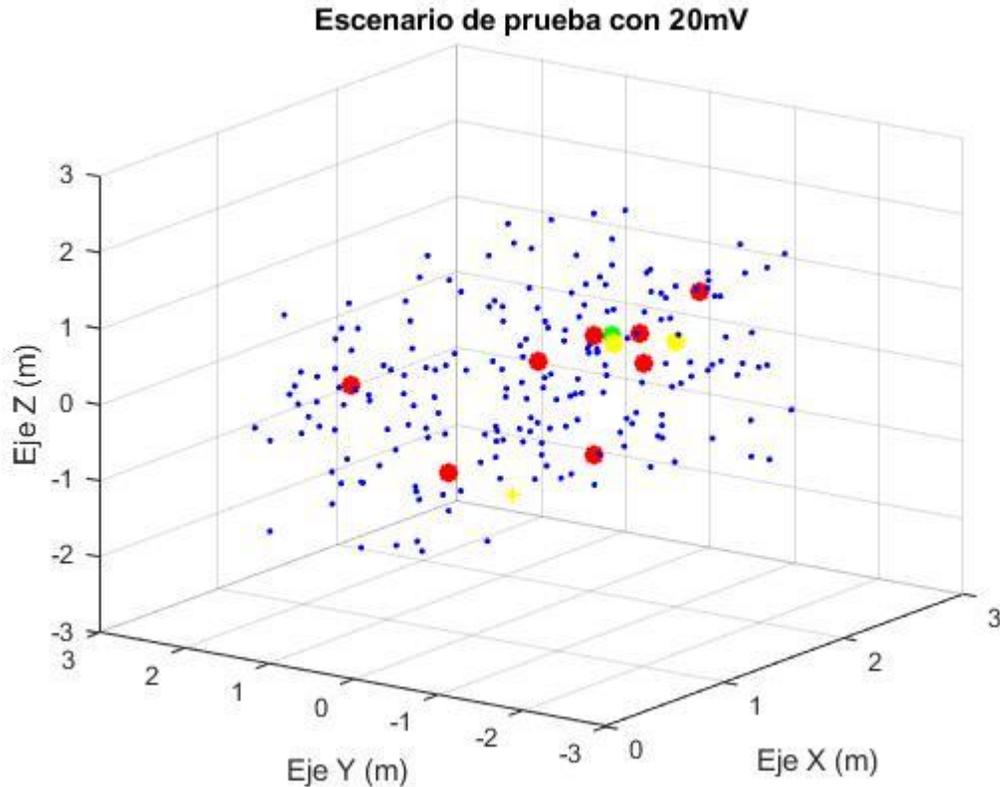


Figura 41. Ubicación Tags en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 20mV

En la figura 41 se ubica 200 tags simulados en el escenario de prueba con un umbral de decisión de 20mV, donde los tags de color rojo representan el primer caso (peor conexión comprado con la curva teórica), los tags de color amarillo representan al segundo caso (similares a la curva teórica) y los tags de color verde representan al tercer caso (mejor conexión comparado con la curva teórica).

En la tabla 5 se indica el resultado de las simulaciones a partir de los umbrales y la cantidad de todos los puntos simulados y cuántos de esos puntos fueron excluidos y cuantos fueron graficados con su respectivo tiempo de simulación.

<i>Umbral</i>	<i>Número de puntos simulados</i>	<i>Número de puntos excluidos</i>	<i>Número de puntos graficados</i>	<i>Tiempo de simulación</i>
0,011	200	179	21	864000 segundos (10 días)
0,015	200	187	13	864000 segundos (10 días)
0,02	200	188	12	864000 segundos (10 días)

Tabla 5. Resultados de los tags simulados

En la tabla 6 se indica el resultado de los comportamientos a partir de los tres umbrales respecto a la simulación de la curva teórica ASK.

<i>Umbral</i>	<i>Primer caso (Puntos con peor comportamiento)</i>	<i>Segundo caso (Puntos similares a la curva teórica)</i>	<i>Tercer caso (Puntos con mejor comportamiento)</i>
11 mV	76.2%	4.76%	19.1%
15 mV	38.5%	0%	61.5%
20 mV	75%	0%	25%

Tabla 6. Resultado de los comportamientos a partir de los tres umbrales respecto a la simulación de la curva teórica ASK

Según la tabla 6 la respuesta a la hipótesis depende del umbral de decisión, en el caso del umbral de 11mV la hipótesis es nula ya que en el 76.2% de las etiquetas simuladas, la tasa de errores de bit es superior para el lector con arreglo de antenas, con respecto a la curva teórica ASK tomada como referencia. Tan solo el 19.1% de los casos simulados presentó un mejor comportamiento frente a esta; y el 4.76% de ellos presentó un comportamiento similar.

Cuando se considera un umbral de decisión igual a 20mV, el comportamiento de la tasa de errores de bit se asemeja al del caso anterior, donde el 25% de las etiquetas simuladas presenta un mejor comportamiento de la tasa de errores de bit respecto a la curva teórica, el comportamiento corresponde descrito en la hipótesis nula que se planteó.

Finalmente, para el umbral de decisión de 15mV el resultado anterior se invierte encontrando un 61.5% de etiquetas simuladas que presentan un mejor comportamiento respecto a la curva de tasa de errores de bit de referencia. Esto implica que se cumple la hipótesis de investigación planteada para el presente trabajo.

6. Conclusiones

Se diseñó satisfactoriamente un simulador a nivel de enlace de un lector RFID usando Matlab que extiende la capa física y le incorpora uno de los mensajes de la capa de enlace del protocolo de comunicación ISO186000-6C. Dicho simulador puede ser extendido para implementar más mensajes de RFID, lo cual se propone como un trabajo futuro.

Del trabajo realizado se puede concluir que los comportamientos que se obtienen de las simulaciones en el escenario de prueba de las curvas BER vs SNR en el enlace de bajada entre lector y etiqueta depende de la selección del umbral utilizado en la demodulación de las señales recibidas por la etiqueta RFID. Se demostró que dependiendo de la selección de dicho umbral se pueden tener peores, similares o mejores comportamientos cuando se analiza las curvas BER vs SNR con respecto a la curva de la modulación ASK-teórica.

Según lo obtenido, el mejor umbral de decisión incorporado en una etiqueta RFID para un sistema que transmite con PIRE igual a 4 vatios (en simulación), corresponde a 15mV. Para esta configuración, en el 61.5% de las etiquetas simuladas se obtiene un mejor comportamiento de la tasa de errores de bit en relación con la curva teórica ASK. En estas etiquetas, la tasa de errores de bit alcanza niveles más bajos con el mismo valor de relación señal a ruido que la curva teórica ASK en el punto en el cual se alcanza el umbral definido para el sistema RFID de 10^{-3} .

Al implementar el mensaje de comunicación del protocolo ISO18000-6C en el simulador, se puede pensar que la cobertura del arreglo de antenas se reduce al 61.5% respecto a la simulación de la capa física esto ocurre debido al umbral de decisión y por el modelo de propagación que se usa para calcular las potencias de cada etiqueta y sus amplitudes, además el 61.5% es un estimado inicial, el cual se encuentra fuera del alcance del proyecto.

Los niveles de umbrales seleccionados iguales a 11mV, 15mV y 20mV se encuentran en un rango muy delgado en el que se requiere de un estudio aparte el cual se dedique a la optimización del umbral de decisión, ya que en el caso de nivel de umbral de 11mV y 20mV el comportamiento de la curva BER vs SNR se desmejora respecto al comportamiento de la curva del umbral de 15mV.

El tiempo promedio requerido para generar la curva BER vs SNR para una etiqueta es de 1 hora y el tiempo general usado para simular un escenario de prueba es cerca a los 10 días, en el

que se tomó la decisión de eliminar todas las etiquetas que están ubicadas en direcciones donde la ganancia es igual a 0 o es negativa, en lo cual los valores de las amplitudes del bit 1 y 0 son muy pequeñas haciendo que no sean detectadas o estén por debajo del umbral de decisión, esto se lo realizo con el fin de reducir el tiempo de simulación.

7. Recomendaciones

Una vez concluido el presente proyecto, se propone como trabajo futuro realizar un análisis del umbral de decisión con el fin de obtener mejores resultados en la curva BER vs SNR.

Se recomienda hacer simulaciones con más etiquetas e implementar más mensajes del protocolo a fin de obtener un estudio más amplio.

Se recomienda realizar el estudio del presente trabajo con otras modulaciones presente en el protocolo de comunicación ISO180006C, con el fin de verificar el comportamiento de la curva BER vs SNR.

Se recomienda mejorar el diseño del simulador para que utilice varios subprocesos en paralelo, de modo que el tiempo de simulación pueda reducirse aprovechando mejor el poder de procesamiento de sistemas de cómputo actuales.

Se recomienda implementar esquemas de codificación que permitan estimar si con corrección de errores se puede alcanzar la cobertura de la simulación a nivel físico.

Referencias

- Chakraborty, R., Roy, S., & Jandhyala, V. (2011). Revisiting RFID link budgets for technology scaling: Range maximization of RFID tags. *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, 59(2), 496–503. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2010.2097711>
- Chen, X., Fu, G., Gong, S. X., Chen, J., & Li, X. (2009). A novel microstrip array antenna with coplanar parasitic elements for uhf RFID reader. *Journal of Electromagnetic Waves and Applications*, 23(17–18), 2491–2502. <https://doi.org/10.1163/156939309790416125>
- Fernández, S. A., García, C. R.-M., & Frías, J. D. M. (2006). RFID: La tecnología de identificación por radiofrecuencia. *Revista: Anales de Mecánica y Electricidad, Periodo: 1, Volumen: LXXXIII, Número: I, Página Inicial: 47, Página Final: 52*, 451. <https://repositorio.comillas.edu/xmlui/handle/11531/5321>
- Gomez, D. (2019). *DISEÑO DE GEOMETRÍAS DE ARREGLOS DE ANTENAS TIPO CORNETA PARA EVALUAR LA MEJORA EN LA COBERTURA DE SISTEMAS RFID QUE USA TAGS PASIVOS*. 4(1), 75–84. <https://doi.org/.1037//0033-2909.126.1.78>
- Karmakar, N. C. (2010). Handbook of Smart Antennas for RFID Systems. In *Handbook of Smart Antennas for RFID Systems*. <https://doi.org/10.1002/9780470872178>
- Nachev, I., & Petkov, P. Z. (2019). Design of phased antenna array for UHF RFID applications. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 618(1). <https://doi.org/10.1088/1757-899X/618/1/012017>
- Obregón, O. A. G., Fernández, S. G., Aguiar, W. C., Arbella, Y., & Rizo, F. M. (2009). *MÉTRICAS PARA EL RENDIMIENTO Y OPERACIÓN DE SISTEMAS RFID PASIVOS EN LA BANDA UHF*. 1–10.
- Pérez, M. P. (2019). *Software de control de un lector RFID UHF*. UNIVERSITAT POLITECNICA DE CATALUNYA.
- Portillo García, J. I., Bermejo Nieto, A. B., & Bernardos Barbolla, A. M. (2008). *tecnologia de identificacion por radiofrecuencia (RFID)*. 424. http://www.tagingenieros.com/sites/default/files/vt13_rfid_0.pdf

- Programa Ingeniería Electrónica. (2015). *Plan estratégico del programa*.
<http://www.iucesmag.edu.co/>
- Quijano, J. A. (2009). *Guía de Investigación Cuantitativa*.
- Quishpi, J. J. C. (2017). DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN DISPOSITIVO, QUE PERMITA MEJORAR LA COBERTURA PARA TARJETAS RFID ACTIVO. In *Universidad Nacional de Chimborazo*.
<http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/1381/1/UNACH-EC-AGR-2016-0002.pdf>
- Romero, E. (2019). *Estudio de arreglos de antenas microstrip en el alcance de etiquetas pasivas de RFID*.
- Roth, A. N. (2008). Perspectivas teóricas para el análisis de las políticas públicas: ¿de la razón científica al arte retórico? *Estudios Políticos*, 33, 67–91.
<http://aprendeonline.udea.edu.co/revistas/index.php/estudiospoliticos/article/view/1943>
- Ruiz, R. de J. U. (2009). *TUTORIAL SOBRE CIRCUITOS RFID*. <http://docplayer.es/2773682-Capitulo-3-principios-de-la-tecnologia-rfid.html>
- Swapna, D., Shenchih, T., Alex K., J., Leo, M., Justin, P., James T., C., & Marlin H., M. (2007). THE UNWINDING OF A PROTOCOL. *Practice*, April, 4–10.
- Younes, A. M., Hassan, K., & Elmahgoub, K. (2013). Link-level simulation for far field UHF RFID with off-line channel coding. *Proceedings of the 2013 2nd International Japan-Egypt Conference on Electronics, Communications and Computers, JEC-ECC 2013, April 2014*, 7–11. <https://doi.org/10.1109/JEC-ECC.2013.6766376>
- Zaragoza, C. R. R. (2015). *Diseño de una Antena Plana Multibanda para Dispositivos Móviles usando los estándares GSM / UMTS / LTE / Zigbee / RFID*.
- Zavala, F. E. S. (2011). *DESARROLLO DE ANTENAS PARA LA TECNOLOGÍA DE RFID PASIVA EN LA BANDA DE UHF (902A928MHZ)*.
- Toolbox, S. M. (1993). Matlab

ANEXOS

Anexo 1. Escenario de prueba

```
%Escenario de prueba en un cubo
lx = 3; %en metros
ly = 3; %en metros
lz = 3; %en metros
npuntos = 10000; %número de tags
coordx = lx*rand(1, npuntos);
coordy = -0.5*ly + ly*rand(1, npuntos);
coordz = -0.5*lz + lz*rand(1, npuntos);
for i=1:npuntos
    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'b', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
    hold on;
end
```

Anexo 2. Realizar antena parche Microstrip

```
clear;clc;close
%% Crea una antena patch microstrip
% Calculo de las dimensiones de la antena patch microstrip
fr = 915e6; %Frecuencia
er = 4.4; %Constante dieléctrica (permitividad)
h = 0.1588; %Altura del sustrato cm
c = 3e10; %Velocidad de la luz 3e8m/s (Se usa 3e10 para simplificar con las
fórmulas)
W = (c/(2*fr))*(sqrt(2/(er+1)));% Ancho (centimetros)
Ereff = (((er+1)/2)+((er-1)/2))*((1+(12*(h/W))^-0.5));
deltaL = (h*0.412)*(((Ereff+0.3)*((W/h)+0.264))/((Ereff-0.258)*(W/h+0.8)));
L = (c/((2*fr)*(sqrt(Ereff))))-(2*deltaL);
Leff = (L + (2*deltaL));% Longitud (centimetros)
ancho = W/100;%(metros)
longitud = (Leff/100);%(metros)
Alto = (h/100);%(metros)
% Crear la antena patch microstrip con sustrato dielectrico
d = dielectric('FR4');
p = patchMicrostrip('Length',longitud, 'Width',ancho, ...
    'Height',Alto,'GroundPlaneLength',longitud+0.02, ...
    'GroundPlaneWidth',ancho+0.02,'FeedOffset', [-0.034 0],'Tilt', 90,
'TiltAxis', [0 1 0], ...
    'Substrate',d); %(para .02 5.49dBi)
figure;
show(p)
figure;
patternAzimuth(p,fr)% Vista Azimuth del patrón
figure;
patternElevation(p,fr) % Vista de Elevación del patrón
% Patron de radiación
figure;
pattern(p,fr);
azimuth = [-180:180];
elevation = [-90:90];
```

```
[directivity,azimuth,elevation] = pattern(p, fr, azimuth, elevation);
```

Anexo 3. Realizar arreglo rectangular

```
function [patron, azim, elev] = ArregloRectangular(numAntH, numAntV, espH, espV)
% Create a uniform rectangular array
h = phased.URA;
h.Size = [numAntH numAntV];
h.ElementSpacing = [espH espV];
h.Lattice = 'Rectangular';
h.ArrayNormal = 'x';
%Calculate Row Taper
sll = -30;
nbar = 4;
rwind = taylorwin(numAntV, nbar, sll)';
rwind = repmat(rwind,numAntH,1);
%Calculate Column Taper
sll = -30;
nbar = 4;
cwind = taylorwin(numAntH, nbar, sll)';
cwind = repmat(cwind.',1,numAntV);
%Calculate taper
wind = rwind.*cwind;
h.Taper = wind;
load('directivity.mat');
load('azimuth.mat');
load('elevation.mat');
%Create Custom Antenna Element
el = phased.CustomAntennaElement;
el.FrequencyVector = [0 1e+20];
el.FrequencyResponse = [0 0];
el.AzimuthAngles = -180:180;
el.ElevationAngles = -90:90;
el.MagnitudePattern = directivity;
el.PhasePattern = zeros(181,361);
h.Element = el;
%Assign frequencies and propagation speed
F = 915000000;
PS = 300000000;
%Create figure, panel, and axes
%Plot 3d graph
fmt = 'polar';
[patron, azim, elev] = pattern(h, F(1), 'PropagationSpeed', PS,
'Type','directivity', ...
'CoordinateSystem', fmt);
end
```

Anexo 4. Optimizar arreglo de la antena rectangular

```
%Optimizacion del arreglo de antena rectangular
f = 915e6;
AntH = [2 8];
```

```

AntV = [2 8];
espaH = [0.1 2];
espaV = [0.085 2];
iteraciones = 10;
resultado = [];
numAntH = randi(AntH, 1, iteraciones);
numAntV = randi(AntV, 1, iteraciones);
espH = espaH(1) + (espaH(2)-espaH(1))*rand(1, iteraciones);
espV = espaV(1) + (espaV(2)-espaV(1))*rand(1, iteraciones);
for j=1:iteraciones
    fprintf("iteración: %d/%d \n", j, iteraciones);
    [patron, azim, elev] = ArregloRectangular(numAntH(j), numAntV(j), espH(j),
    espV(j));
    resultado = [resultado; [numAntH(j) numAntV(j) espH(j) espV(j)
    max(max(patron))]];
end
save('resultado', '-ascii');

```

Anexo 5. Implementación Escenario de prueba junto con el patrón de radiación del arreglo de antena rectangular.

```

clear all; clc;
% function [alcanceMax,volumen] = escenario (patron)
%% Configuración del volumen
lx = 3; % Metros
ly = 3; % Metros
lz = 3; % Metros
% Parámetros de diseño
gananciaRx = 2; % (dB)
potenciaTx = 2; % (Watts)
frecuencia = 915e6; % (Hz)
sensibilidadLec = -80; % dBm
sensibilidadTag = -13; % dBm
npuntos = 50000; % Número de etiquetas
npuntosConectados = 0; % Contador de etiquetas con conexión
PT = 800; % Potencia acoplada en el RFID (dBm)
Gt = 1.6; % Ganancia de espacio libre de carga de la antena de la etiqueta
dBi
Xf = 0.5; % Desajuste de polarización de enlace directo
Xb = 0.5; % Desajuste de polarización de enlace inverso
Tao = 1; % Coeficiente de transmisión de potencia
Px = 1.2; % Ganancia de penalización en la antena de la etiqueta
Bx = 1; % Exceso de pérdida de bloqueo.
Fp = 10; % Pérdida de desvanecimiento multitrayecto a pequeña escala de enlace
directo (dB)
F2 = 21; % Pérdidas multitrayecto en enlace de subida (dB)
M = 0.25; % Factor de modulación
Bf = 1; % Pérdida de bloqueo de enlace directo
Bb = 1; % Pérdida de bloqueo de enlace de retrodispersión
F = 10; % Pérdida de desvanecimiento multitrayecto a pequeña escala de enlace
de retrodispersión
Eficiencia = 0.8;
%% Generar numeros aleatorios
coordx = lx*rand(1, npuntos);
coordy = -0.5*ly + ly*rand(1, npuntos);
coordz = -0.5*lz + lz*rand(1, npuntos);

```

```

%% Otros calculos
longOnda = 3e8/frecuencia; % metros
potenciaTxdBm = 10*log10(potenciaTx*1000);
alcanceMax = 0;
%% cargar patron de radiacion del arreglo
%load('patron1.mat');
load('patron.mat');

%% calcular angulos azimut (theta) y elevación (phi) del patron de radiacion
punto por punto
for i=1:npuntos
    % conversion de x, y z en un ángulo
    % en un ángulo (azimutal y uno de elevación)
    cs = sqrt(coordx(1,i)^2 + coordy(1,i)^2);
    d = atan(coordz(1,i)/cs);
    phi = round((d*180)/pi);

    if coordx(1,i) >= 0
        theta = atan(coordy(1,i)/coordx(1,i))*180/pi;
    else
        theta = sign(coordy(1,i))*(90 +
atan(abs(coordx(1,i))/coordy(1,i))*180/pi);
    end
    theta = round(theta);

    fila = 91 + phi; %Elevación -90:90 (phi)
    columna = 181 + theta; %Azimut -180:180 (theta)

    gananciaTx = patron(fila, columna)*Eficiencia;
    distancia = sqrt(coordx(i)^2 + coordy(i)^2 + coordz(i)^2);
%% Potencia recibida por la etiqueta pasiva ()
    potenciaRxdBm_tag = PT + ...
        gananciaTx + ...
        10*log10(Gt) + ...
        20*log10(longOnda) + ...
        10*log10(Xf) + ...
        10*log10(Tao) - ...
        20*log10(4*pi*distancia) - ...
        10*log10(Px) - ...
        10*log10(Bx) - ...
        Fp;
%% Potencia recibida por la antena del lector
    potenciaRxdBm_lec = 10*log10(PT) + ...
        2*gananciaTx + ...
        20*log10(Gt) + ...
        40*log10(longOnda) + ...
        10*log10(Xf) + ...
        10*log10(Xb) + ...
        10*log10(M) - ...
        40*log10(4*pi) - ...
        40*log(distancia) - ...
        20*log10(Px) - ...
        10*log10(Bf) - ...
        10*log10(Bb) - ...
        F2;

```

```

% Potencia recibida por la antena del lector dBW
potenciaRxdBW_lec=potenciaRxdBm_lec-30;
%% Graficar
if potenciaRxdBm_tag > sensibilidadTag && ...
    potenciaRxdBm_lec > sensibilidadLec
    npuntosConectados = npuntosConectados + 1;
    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'r', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
    if distancia > alcanceMax
        alcanceMax = distancia;
    end
else
    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'b', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
end
hold on;
end
axis([0 3 -3 3 -3 3]);
title('Escenario de prueba')
xlabel('Eje X (m)')
ylabel('Eje Y (m)')
zlabel('Eje Z (m)')
grid on

volumen = (npuntosConectados/npuntos)*100

```

Anexo 6. Implementación modulación y demodulación ASK junto con la comparación BER

```

function ber_punto = CalcularBer(A1, A2, nx, R, snr_valores, punto)
    %% bucle aumento de 0.5 en 0.5
    b=0;
    p=0;
    nb=39; %SNR de 0.5 a 20 39

    ber_punto = [];
    porcentajeError=0;
    porcentajeTotalError=0;

    for i=1:nx
        %% Punto de control
        display(["Simulando paquetes: " num2str(i) " de " num2str(nx) " SNR:"
num2str(snr_valores) " PUNTO: " num2str(punto)]);

        x=[0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1];
        periodo_bit=0.25e-5; %PERIDO DEL BIT estandar_re

        %Representación de la información
        bits1=[];
        for n=1:1:length(x)
            if x(n)== 1;
                senal=ones(1,100);
            else x(n)==0;
                senal=zeros(1,100);
            end
        end
    end

```

```

    end
    bits1=[bits1 senal];
end

t1=periodo_bit/100: periodo_bit/100:100*length(x)*(periodo_bit/100);
vb=1/periodo_bit; %velocidad de bits
fp=vb*10; %Frecuencia de portadora
t2=periodo_bit/99: periodo_bit/99:periodo_bit;
ss=length(t2);
m=[];
for (i=1:1:length(x))
    if (x(i) == 1)
        y=A1*cos(2*pi*fp*t2);
    else
        y=A2*cos(2*pi*fp*t2);
    end
    m=[m y];
end

t3=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit*length(x);
m1= awgn(m,snr_valores, 'measured');
% m1= awgn(m,SNR,dBw);%modulada con ruido

%Demodulacion ASK
mn=[];
for n=ss:ss:length(m1)
    t=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit;
    y=cos(2*pi*fp*t);
    % señal portadora
    mm=y.*m1((n-(ss-1)):n);
    t4=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit;
    z=trapz(t4,mm);
    % Integracion
    %zz=round((2*z/periodo_bit));
    zz=((2*z/periodo_bit));
    if (zz>R)
        a=1;
    else
        a=0;
    end
    mn=[mn a];
end

% Representacion de informacion como señal digital ASK despues de la
% demodulacion
bits=[];
for n=1:length(mn);
    if mn(n)==1;
        senal=ones(1,100);
    else mn(n)==0;
        senal=zeros(1,100);
    end
    bits=[bits senal];
end
t4=periodo_bit/100:periodo_bit/100:100*length(mn)*(periodo_bit/100);

```

```

p=length(x);
[cantidad,posicion]=find(x==mn);
ig=length(cantidad);
x1=ig*100/p;
porcentajeError=100-x1;
%display(porcentajeError);
porcentajeTotalError= ((porcentajeTotalError + porcentajeError));
end

porcentajeTotalError1=[porcentajeTotalError/(nx*16)];
ber_punto = [snr_valores porcentajeTotalError1];
fprintf(", BER: %.02f \n", porcentajeTotalError1);
%plot(porcentajeTotalError1,SNR);
%plot(ber_punto);
%semilogy(ber_punto(:,1),ber_punto(:,2), 'o')
%title('Curva BER frente a SNR de un mensaje de implementacion');
%xlabel('SNR (dB)');
%ylabel('BER');
%grid on
%display(porcentajeTotalError1);
end

```

Anexo 7. Estimar amplitudes de cada uno de los tags

```

function [A1 A2] = EstimarAmplitudes(f, potencia_dBW)
T = 1/f;
t = linspace(0, 10*T, 1000);
A1 = -Inf;
A2 = -Inf;

for A = linspace(0, 1e-1, 10000)
v = A*sin(2*pi*f*t);
pw_watt = rms(v)^2;
pw_dbW = 10*log10(pw_watt);
if abs(pw_dbW - potencia_dBW) < 0.1
A1 = A;
A2 = 0.4*A;
break;
end
end
end
end

```

Anexo 8. Obtencion de los datos BER vs SNR de cada tag en el escenario de prueba

```

%% importaciones y limpieza

clear all; clc;

%% Configuración del volumen
lx = 3; % Metros
ly = 3; % Metros

```

```

lz = 3; % Metros

%% Configuración de relación señal a ruido del escenario
snr_valores = 0.5:0.5:20; % dB - Para todo el escenario

%% Parámetros de diseño
frecuencia = 915e6; % (Hz)
T = 1/frecuencia; % (sg)
rt = linspace(0, 10*T, 1000); % referencia de tiempo para la señal moduladas
sensibilidadTag = -43; % dBW
npuntos = 300; % Número de etiquetas
npuntosConectados = 0; % Contador de etiquetas con conexión
PT = 10*log10(4); %dBW - máxima potencia a transmitir en el escenario: 4 watt
Gt = 1.6; % Ganancia de espacio libre de carga de la antena de la etiqueta
dBi
Xf = 0.5; % Desajuste de polarización de enlace directo
Xb = 0.5; % Desajuste de polarización de enlace inverso
Tao = 1; % Coeficiente de transmisión de potencia
Px = 1.2; % Ganancia de penalización en la antena de la etiqueta
Bx = 1; % Exceso de pérdida de bloqueo.
Fp = 10; %Pérdida de desvanecimiento multitrayecto a pequeña escala de enlace
directo (dB)
F2 = 21; % Pérdidas multitrayecto en enlace de subida (dB)
M = 0.25; % Factor de modulación
Bf = 1; % Pérdida de bloqueo de enlace directo
Bb = 1; % Perdida de bloqueo de enlace de retrodispersión
F = 10; % Pérdida de desvanecimiento multitrayecto a pequeña escala de enlace
de retrodispersión
Eficiencia = 0.8; % Eficiencia de la antena
nx = 62500; % Cuántos paquetes (de 16 bits) se transmite para calcular el ber

% Modulación
%R= 11e-3 %umbral de 11 mV
%R = 15e-3; %umbral de 15 mV
R = 20e-3; %umbral de 20 mV

%% Otros calculos
longOnda = 3e8/frecuencia; % metros

%% cargar patron de radiacion del arreglo
load('patron.mat');

%% almacén de datos (para posterior procesamiento)
tabla_salida = [];
archivo_simulacion = ["simulacion_" + datestr(now, 'yyyy_mm_dd-HH_MM_SS')+
".mat"];

%% iteramos en las condiciones de ruido para el escenario de pruebas
for i=1:npuntos
%for k=1:length(snr_valores)
    %% Generar numeros aleatorios
    coordx = lx*rand();
    coordy = -0.5*ly + ly*rand();
    coordz = -0.5*lz + lz*rand();

```

```

% conversion de x, y z en un angulo
% en un angulo (azimutal y uno de elevacion)
cs = sqrt(coordx^2 + coordy^2);
d = atan(coordz/cs);
phi = round((d*180)/pi);

if coordx >= 0
    theta = atan(coordy/coordx)*180/pi;
else
    theta = sign(coordy)*(90 + atan(abs(coordx)/coordy)*180/pi);
end
theta = round(theta);

fila = 91 + phi; %Elevación -90:90 (phi)
columna = 181 + theta; %Azimut -180:180 (theta)

gananciaTx = patron(fila, columna)*Eficiencia;
distancia = sqrt(coordx^2 + coordy^2 + coordz^2);

% Descartamos los puntos con ganancia negativa
if gananciaTx < 0
    continue;
end

% Potencia recibida por la etiqueta pasiva ()
potenciaRxdBw_tag = PT + ...
    gananciaTx + ...
    10*log10(Gt) + ...
    20*log10(longOnda) + ...
    10*log10(Xf) + ...
    10*log10(Tao) - ...
    20*log10(4*pi*distancia) - ...
    10*log10(Px) - ...
    10*log10(Bx) - ...
    Fp;

% Determinamos las amplitudes de la señal recibida por el tag
[A1 A2] = EstimarAmplitudes(frecuencia, potenciaRxdBw_tag);
if A1 == -Inf || A2 == -Inf
    continue;
end

%% calcular ber y snr para cada punto
for k=1:length(snr_valores)
    % registro del tiempo de simulación
    tic;

    % Determinamos ber y snr_punto para cada punto
    ber_punto = CalcularBer(A1, A2, nx, R, snr_valores(k), i);

    % tiempo de simulación
    tsim = toc;
end

```

```

    % Guardar resultado en la tabla de salida
    %tabla_salida = [tabla_salida;[snr_valores(k) ber_punto(2) ]];
    tabla_salida = [tabla_salida;[i A1 A2 snr_valores(k) ber_punto(2)
coordx coordy coordz distancia gananciaTx potenciaRxdBw_tag tsim]];
    %tabla_salida = [tabla_salida;[A1 A2 R distancia gananciaTx
potenciaRxdBw_tag]];
    save(archivo_simulacion, 'tabla_salida');

    %plot(tabla_salida);
    %semilogy(tabla_salida(:,1),tabla_salida(:,2), 'o-')
    %title('Curva BER frente a SNR de un mensaje de implementacion');
    %xlabel('SNR(dB)');
    %ylabel('BER');
    %grid on
    % Graficar
    %if potenciaRxdBw_tag > sensibilidadTag %&& ...
    %    %potenciaRxdBm_lec > sensibilidadLec
    %    npuntosConectados = npuntosConectados + 1;
    %    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'r', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
    %    if distancia > alcanceMax
    %        alcanceMax = distancia;
    %    end
    %else
    %    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'b', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
    %end
    %hold on;
end
end

```

Anexo 9.Cargar y graficar los resultados BER vs SNR

```

%% Cargar los datos obtenidos
%load('simulacion2_200_11.mat');
load('simulacion3_200_11.mat');
%load('simulacion4_200_20.mat');
%load('simulacion5_200_15.mat');
%load('simulacion6_300_20.mat');
%load('simulacion7_400_15.mat');

ipunto = unique(tabla_salida(:,1));
etiquetas = cell(length(ipunto), 1);
set(0, 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'+', 'o', '*', '.', 'x', 's', 'd', '^', 'v', '>', '<',
',', 'p', 'h'});
set(0, 'defaultaxescolororder', [1 0 0; 0 1 0; 0 0 1]);

for i = 1:length(ipunto)
    semilogy(tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 4),
tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 5));
    etiquetas{i} = sprintf("Punto %d: (R: %.03f, A1: %.03f, A2: %.03f)", ...
        ipunto(i), ...
        0.020, ...

```

```

        tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 2):(1),
...
        tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 3):(1));
    hold on;
    grid on;

end
title('Curva BER frente a SNR');
xlabel('SNR (dB)');
ylabel('BER');
grid on
%axis([0 25]);
legend(etiquetas);
etiquetas

```

Anexo 10. Comparación curva ASK frente la curva BER vs SNR

```

%load('simulacion2_200_11.mat');
%load('simulacion3_200_11.mat');
load('simulacion4_200_20.mat');
%load('simulacion5_200_15.mat');
%load('simulacion6_300_20.mat');
%load('simulacion7_400_15.mat');

E=10e-4;
A=13e-4;
A1=0.7e-3;
ipunto = unique(tabla_salida(:,1));
etiquetas = cell(length(ipunto), 1);
set(0, 'DefaultAxesLineStyleOrder', {'+', 'o', '*', '.', 'x', 's', 'd', '^', 'v', '>', '<', 'p', 'h'});
set(0, 'defaultaxescolororder', [1 0 0; 0 1 0; 0 0 1]);

SNRdB=0.5:0.01:20; % SNR in dB
SNR=10.^(SNRdB/10);
BER_th=(1/2)*erfc(.5*sqrt(SNR));

for i = 1:length(ipunto)
    %semilogy(tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 4),
tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 5), SNRdB, BER_th, 'b');
    semilogy(tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 4),
tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 5));
    etiquetas{i} = sprintf("Punto %d: (R: %.03f, A1: %.03f, A2: %.03f)", ...
        ipunto(i), ...
        0.020, ...
        tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 2):(1),
...
        tabla_salida(tabla_salida(:,1)==ipunto(i), 3):(1));

    hold on;
    grid on;
    %semilogy(SNRdB, BER_th, 'r')
end
semilogy(SNRdB, BER_th, 'r-');

plot([0.5 length(SNRdB)-1931], [E E], '-b')

```

```

plot([0.5 length(SNRdB)-1931], [A A], '-k')
plot([0.5 length(SNRdB)-1931], [A1 A1], '-k')

etiquetas{i+1} = "Curva teórica ASK";
title('Curva BER frente a SNR de los puntos de simulacion frente a la curva
teorica ASK');
xlabel('SNR(dB) ');
ylabel('BER');
grid on

%axis([0 25]);
legend(etiquetas);
etiquetas

```

Anexo 11.Comportamiento de las curvas BER vs SNR

```

%% Simulacion2_200_11.mat
b=0;
p=0;
nb=39; %SNR de 0.5 a 20 39
%% Datos de las amplitudes y el umbral del punto bajo con un umbral de 11 y
200 etiquetas señal alta punto 4
A1=0.036;
A2=0.014;
R=0.011;
%% Datos de las amplitudes y el umbral del punto bajo con un umbral de 11 y
200 etiquetas señal media punto 56
% A1=0.024;
% A2=0.010;
% R=0.011;
%% Datos de las amplitudes y el umbral del punto bajo con un umbral de 11 y
200 etiquetas señal baja punto 195
% A1=0.015;
% A2=0.006;
% R=0.011;

%% valores de SNR
snr_valores=0.5:0.5:20;
ber_punto = [];
porcentajeError=0;
porcentajeTotalError=0;

for k=1:length(snr_valores)
end
% Punto de control

x=[0 0 0 1 0 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0 1];
periodo_bit=0.25e-5; %PERIDO DEL BIT estandar_re

%Representación de la información
bits1=[];
for n=1:1:length(x)
    if x(n)== 1;

```

```

        senal=ones(1,100);
    else x(n)==0;
        senal=zeros(1,100);
    end
    bits1=[bits1 senal];
end

t1=periodo_bit/100: periodo_bit/100:100*length(x)*(periodo_bit/100);
vb=1/periodo_bit; %velocidad de bits
fp=vb*10; %Frecuencia de portadora
t2=periodo_bit/99: periodo_bit/99:periodo_bit;
ss=length(t2);
m=[];
for (i=1:1:length(x))
    if (x(i) == 1)
        y=A1*cos(2*pi*fp*t2);
    else
        y=A2*cos(2*pi*fp*t2);
    end
    m=[m y];
end

t3=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit*length(x);
m1= awgn(m,snr_valores(k), 'measured');%modulada con ruido

%Demodulacion ASK
mn=[];
for n=ss:ss:length(m1)
    t=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit;
    y=cos(2*pi*fp*t);
    % señal portadora
    mm=y.*m1((n-(ss-1)):n);
    t4=periodo_bit/99:periodo_bit/99:periodo_bit;
    z=trapz(t4,mm);
    % Integracion
    %zz=round((2*z/periodo_bit));
    zz=((2*z/periodo_bit));
    if (zz>R)
        a=1;
    else
        a=0;
    end
    mn=[mn a];
end

% Representacion de informacion como señal digital ASK despues de la
% demodulacion
bits=[];
for n=1:length(mn);
    if mn(n)==1;
        senal=ones(1,100);
    else mn(n)==0;
        senal=zeros(1,100);
    end
    bits=[bits senal];
end

```

```

end
t4=periodo_bit/100:periodo_bit/100:100*length(mn)*(periodo_bit/100);

figure(1)
plot(m, '-')
title('Señal modulada');

figure(2)
plot(m1, '-b')
hold on;
plot([0 length(m1)-1], [R R], '-k')
title('Comportamiento de las amplitudes y umbral');

figure(3)
plot(mn, '-b')
title('Señal demodulada');

```

Anexo 122. Ubicación tags con conexión en el escenario de prueba

```

%%Borrar datos
clear all; clc;
%%Escenario de prueba en un cubo
lx = 3; %en metros
ly = 3; %en metros
lz = 3; %en metros
npuntos = 200; %número de tags
load ("simulacion3_200_11.mat");
coordx = lx*rand(1, npuntos);
coordy = -0.5*ly + ly*rand(1, npuntos);
coordz = -0.5*lz + lz*rand(1, npuntos);
%punto1(4) r
conx1 = tabla_salida(1:1,6);
cony1 = tabla_salida(1:1,7);
conz1 = tabla_salida(1:1,8);
%punto2 (7) r
conx2 = tabla_salida(41:41,6);
cony2 = tabla_salida(41:41,7);
conz2 = tabla_salida(41:41,8);
%punto3 (10)r
conx3 = tabla_salida(81:81,6);
cony3 = tabla_salida(81:81,7);
conz3 = tabla_salida(81:81,8);
%punto4 (12)r
conx4 = tabla_salida(121:121,6);
cony4 = tabla_salida(121:121,7);
conz4 = tabla_salida(121:121,8);
%punto5 (13)r
conx5 = tabla_salida(161:161,6);
cony5 = tabla_salida(161:161,7);
conz5 = tabla_salida(161:161,8);
%punto6 (19)y
conx6 = tabla_salida(201:201,6);
cony6 = tabla_salida(201:201,7);

```

```

conz6 = tabla_salida(201:201,8);
%punto7 (39)r
conx7 = tabla_salida(241:241,6);
cony7 = tabla_salida(241:241,7);
conz7 = tabla_salida(241:241,8);
%punto8 (42)r
conx8 = tabla_salida(281:281,6);
cony8 = tabla_salida(281:281,7);
conz8 = tabla_salida(281:281,8);
%punto9 (48)r
conx9 = tabla_salida(321:321,6);
cony9 = tabla_salida(321:321,7);
conz9 = tabla_salida(321:321,8);
%punto10 (54)r
conx10 = tabla_salida(361:361,6);
cony10 = tabla_salida(361:361,7);
conz10 = tabla_salida(361:361,8);
%punto11 (56)y
conx11 = tabla_salida(401:401,6);
cony11 = tabla_salida(401:401,7);
conz11 = tabla_salida(401:401,8);
%punto12 (59)y
conx12 = tabla_salida(441:441,6);
cony12 = tabla_salida(441:441,7);
conz12 = tabla_salida(441:441,8);
%punto13 (70)r
conx13 = tabla_salida(481:481,6);
cony13 = tabla_salida(481:481,7);
conz13 = tabla_salida(481:481,8);
%punto14 (76)r
conx14 = tabla_salida(521:521,6);
cony14 = tabla_salida(521:521,7);
conz14 = tabla_salida(521:521,8);
%punto15 (86)
conx15 = tabla_salida(561:561,6);
cony15 = tabla_salida(561:561,7);
conz15 = tabla_salida(561:561,8);
%punto16 (123)
conx16 = tabla_salida(601:601,6);
cony16 = tabla_salida(601:601,7);
conz16 = tabla_salida(601:601,8);
%punto17 (131)
conx17 = tabla_salida(641:641,6);
cony17 = tabla_salida(641:641,7);
conz17 = tabla_salida(641:641,8);
%punto18 (148)
conx18 = tabla_salida(681:681,6);
cony18 = tabla_salida(681:681,7);
conz18 = tabla_salida(681:681,8);
%punto19 (153)
conx19 = tabla_salida(721:721,6);
cony19 = tabla_salida(721:721,7);
conz19 = tabla_salida(721:721,8);
%punto20 (195)
conx20 = tabla_salida(761:761,6);
cony20 = tabla_salida(761:761,7);

```

```

conz20 = tabla_salida(761:761,8);
%punto21 (199)
conx21 = tabla_salida(801:801,6);
cony21 = tabla_salida(801:801,7);
conz21 = tabla_salida(801:801,8);
hold on;
for i=1:npuntos
    display(["Tags simulados: " num2str(i)]);
    stem3(coordx(i), coordy(i), coordz(i), 'b', 'LineStyle', 'None',
'Marker', '.');
end
    stem3(conx1, cony1,conz1, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx2, cony2,conz2, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx3, cony3,conz3, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx4, cony4,conz4, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx5, cony5,conz5, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx6, cony6,conz6, 'y', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx7, cony7,conz7, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker', '*');
    stem3(conx8, cony8,conz8, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx9, cony9,conz9, 'g', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx10, cony10,conz10, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx11, cony11,conz11, 'y', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx12, cony12,conz12, 'y', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx13, cony13,conz13, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx14, cony14,conz14, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx15, cony15,conz15, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx16, cony16,conz16, 'g', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx17, cony17,conz17, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx18, cony18,conz18, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx19, cony19,conz19, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx20, cony20,conz20, 'g', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    stem3(conx21, cony21,conz21, 'r', 'LineStyle', 'None', 'Marker',
'LineWidth',5);
    hold off
axis([0 3 -3 3 -3 3]);
title('Escenario de prueba con 11mV')
xlabel('Eje X (m)')

```

```
ylabel('Eje Y (m)')  
xlabel('Eje Z (m)')  
grid on
```

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	CARTA DE ENTREGA TRABAJO DE GRADO O TRABAJO DE APLICACIÓN – ASESOR(A)	CÓDIGO: AAC-BL-FR-032
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

San Juan de Pasto, 18 de noviembre de 2022

Biblioteca
REMIGIO FIORE FORTEZZA OFM. CAP.
Universidad CESMAG
Pasto

Saludo de paz y bien.

Por medio de la presente se hace entrega del Trabajo de Grado / Trabajo de Aplicación denominado estimación de la tasa de error de bits de un lector RFID con arreglo de antena a nivel de enlace usando Matlab, presentado por el (los) autor(es) Javier Alejandro Villota Fuertes y Andrés Santiago García Benítez del Programa Académico de Ingeniería Electrónica al correo electrónico biblioteca.trabajosdegrado@unicesmag.edu.co. Manifiesto como asesor(a), que su contenido, resumen, anexos y formato PDF cumple con las especificaciones de calidad, guía de presentación de Trabajos de Grado o de Aplicación, establecidos por la Universidad CESMAG, por lo tanto, se solicita el paz y salvo respectivo.

Atentamente,



Mario Fernando Henao Rosero
c.c. 4.612.719
Ingeniería Electrónica
Teléfono de contacto 3163455039
electronica@unicesmag.edu.co

 UNIVERSIDAD CESMAG <small>NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</small>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

INFORMACIÓN DEL (LOS) AUTOR(ES)	
Nombres y apellidos del autor: Javier Alejandro Villota Fuertes	Documento de identidad: 1084228122
Correo electrónico: Javiervillota123@gmail.com	Número de contacto: 3147409316
Nombres y apellidos del autor: Andrés Santiago García Benítez	Documento de identidad: 1004193326
Correo electrónico: asantigb13@gmail.com	Número de contacto: 3234443802
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del autor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Nombres y apellidos del asesor:	Documento de identidad:
Correo electrónico:	Número de contacto:
Título del trabajo de grado: Estimación de la tasa de error de bits de un lector RFID con arreglo de antenas a nivel de enlace usando Matlab	
Facultad y Programa Académico: Facultad de Ingeniería y programa de Ingeniería Electrónica	

En mi (nuestra) calidad de autor(es) y/o titular (es) del derecho de autor del Trabajo de Grado o de Aplicación señalado en el encabezado, confiero (conferimos) a la Universidad CESMAG una licencia no exclusiva, limitada y gratuita, para la inclusión del trabajo de grado en el repositorio institucional. Por consiguiente, el alcance de la licencia que se otorga a través del presente documento, abarca las siguientes características:

- a) La autorización se otorga desde la fecha de suscripción del presente documento y durante todo el término en el que el (los) firmante(s) del presente documento conserve (mos) la titularidad de los derechos patrimoniales de autor. En el evento en el que deje (mos) de tener la titularidad de los derechos patrimoniales sobre el Trabajo de Grado o de Aplicación, me (nos) comprometo (comprometemos) a informar de manera inmediata sobre dicha situación a la Universidad CESMAG. Por consiguiente, hasta que no exista comunicación escrita de mi(nuestra) parte informando sobre dicha situación, la Universidad CESMAG se encontrará debidamente habilitada para continuar con la publicación del Trabajo de Grado o de Aplicación dentro del repositorio institucional. Conozco(conocemos) que esta autorización podrá revocarse en cualquier momento, siempre y cuando se eleve la solicitud por escrito para dicho fin ante la Universidad CESMAG. En estos eventos, la Universidad CESMAG cuenta con el plazo de un mes después de recibida la petición, para desmarcar la visualización del Trabajo de Grado o de Aplicación del repositorio institucional.

 <p>UNIVERSIDAD CESMAG NIT: 800.109.387-7 VIGILADA MINEDUCACIÓN</p>	AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN REPOSITORIO INSTITUCIONAL	CÓDIGO: AAC-BL-FR-031
		VERSIÓN: 1
		FECHA: 09/JUN/2022

- b) Se autoriza a la Universidad CESMAG para publicar el Trabajo de Grado o de Aplicación en formato digital y teniendo en cuenta que uno de los medios de publicación del repositorio institucional es el internet, acepto(amos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación circulará con un alcance mundial.
- c) Acepto (aceptamos) que la autorización que se otorga a través del presente documento se realiza a título gratuito, por lo tanto, renuncio(amos) a recibir emolumento alguno por la publicación, distribución, comunicación pública y/o cualquier otro uso que se haga en los términos de la presente autorización y de la licencia o programa a través del cual sea publicado el Trabajo de grado o de Aplicación.
- d) Manifiesto (manifestamos) que el Trabajo de Grado o de Aplicación es original realizado sin violar o usurpar derechos de autor de terceros y que ostento(amos) los derechos patrimoniales de autor sobre la misma. Por consiguiente, asumo(asumimos) toda la responsabilidad sobre su contenido ante la Universidad CESMAG y frente a terceros, manteniéndose indemne de cualquier reclamación que surja en virtud de la misma. En todo caso, la Universidad CESMAG se compromete a indicar siempre la autoría del escrito incluyendo nombre de(los) autor(es) y la fecha de publicación.
- e) Autorizo(autorizamos) a la Universidad CESMAG para incluir el Trabajo de Grado o de Aplicación en los índices y buscadores que se estimen necesarios para promover su difusión. Así mismo autorizo (autorizamos) a la Universidad CESMAG para que pueda convertir el documento a cualquier medio o formato para propósitos de preservación digital.

NOTA: En los eventos en los que el trabajo de grado o de aplicación haya sido trabajado con el apoyo o patrocinio de una agencia, organización o cualquier otra entidad diferente a la Universidad CESMAG. Como autor(es) garantizo(amos) que he(hemos) cumplido con los derechos y obligaciones asumidos con dicha entidad y como consecuencia de ello dejo(dejamos) constancia que la autorización que se concede a través del presente escrito no interfiere ni transgrede derechos de terceros.

Como consecuencia de lo anterior, autorizo(autorizamos) la publicación, difusión, consulta y uso del Trabajo de Grado o de Aplicación por parte de la Universidad CESMAG y sus usuarios así:

- Permito(permitimos) que mi(nuestro) Trabajo de Grado o de Aplicación haga parte del catálogo de colección del repositorio digital de la Universidad CESMAG, por lo tanto, su contenido será de acceso abierto donde podrá ser consultado, descargado y compartido con otras personas, siempre que se reconozca su autoría o reconocimiento con fines no comerciales.

En señal de conformidad, se suscribe este documento en San Juan de Pasto a los 18 días del mes de noviembre del año 2022

<p><i>Andres Garcia</i></p> <p>Firma del autor</p> <p>Nombre del autor:</p>	 <p>Firma del autor</p> <p>Nombre del autor:</p>
<p>Firma del autor</p> <p>Nombre del autor:</p>	<p>Firma del autor</p> <p>Nombre del autor:</p>
 <p>Firma del asesor</p> <p>Nombre del asesor:</p>	



UNIVERSIDAD
CESMAG
NIT: 800.109.387-7
VIGILADA MINEDUCACIÓN

**AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN DE TRABAJOS DE
GRADO O TRABAJOS DE APLICACIÓN EN
REPOSITORIO INSTITUCIONAL**

CÓDIGO: AAC-BL-FR-031

VERSIÓN: 1

FECHA: 09/JUN/2022