

Proyecto Final de Comunicaciones: Caracterización de un Sistema RFID (Noviembre 2014)

Bernal G. Néstor, De La Cruz V. Luis, Lascano B. Brigitte, y Miranda C. Etiel,
Estudiantes Universidad del Norte

Abstract—La identificación por radiofrecuencia (RFID) se refiere al uso de campos electromagnéticos para transmitir datos, con el propósito de identificar y hacer seguimiento automático a etiquetas ligadas a objetos. Estas etiquetas contienen información almacenada electrónicamente. Un sistema RFID se compone de un lector (transmisor-receptor), la etiqueta y el canal inalámbrico. En el presente informe, se presenta la realización del modelo y la posterior simulación de un sistema de comunicaciones RFID bajo ruido AWGN. El desarrollo del mismo está fundamentado en el artículo “RFID Model and Study its Performances” [1]. Para esto se desarrolló un sistema RFID basado en Matlab y Simulink bajo el efecto de un bloque de ruido con el fin de caracterizar las condiciones reales de ruido ambiental. Finalmente, se presenta un estudio sobre el Bit-Error-Rate (BER) o la Tasa de Error de Bit presentada en el sistema RFID simulado.

Palabras Clave—BER, etiqueta activa, etiqueta pasiva, ganancia, lector, MATLAB, receptor, RFID, transmisor, canal.

I. INTRODUCCIÓN

LA identificación por radiofrecuencia es un método de identificación automática basado en el almacenamiento y recuperación de datos remotos y de manera inalámbrica, haciendo uso de campos electromagnéticos por medio de dispositivos que se denominan Etiquetas RFID. La RFID es un método de identificación automática y captura de datos (AIDC, *Automatic Identification Data Capture*). Esta tecnología permite identificar objetos con etiquetas y sin necesidad de contacto físico. Es una tecnología de comunicación inalámbrica de última generación y cuya aplicabilidad se ha visto en aumento, cubriendo aspectos tales como la distribución, la circulación, el transporte, y el seguimiento, entre otros [3].

Debido a su efectividad, flexibilidad y bajo precio, la identificación por radiofrecuencia se ha convertido en una alternativa de identificación inalámbrica popular en el mercado. Efectivamente, es una tecnología con un funcionamiento adecuado, fácil de usar y flexible. Además, no requiere contacto para poder operar y es efectiva bajo diferentes condiciones ambientales.

Las Etiquetas RFID pueden ser activas, pasivas o semi-pasivas dependiendo de la disponibilidad de fuentes de alimentación. Por un lado, las Etiquetas Pasivas son aquellas que pueden funcionar sin una fuente de energía propia y cubren un rango más corto que las etiquetas activas. Estas etiquetas tienen una vida útil indefinida, son más pequeñas y ligeras, memoria de 32 a 128 bits de RFID y son más económicas. Por otro lado, las Etiquetas Activas superan todos los impedimentos de su contraparte, mejoran la comunicación, amplían el rango, etc., pero duran poco y son más costosas [1].

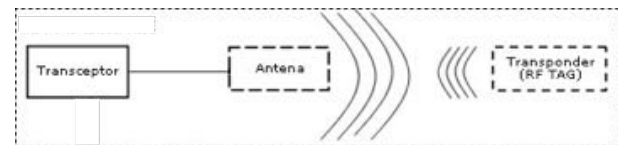


Fig. 1. Sistema RFID.

Los sistemas RFID se clasifican dependiendo del rango de frecuencias que usan, estas pueden ir desde valores muy bajos hasta las microondas. Existen entonces cuatro clasificaciones: Las de frecuencia baja que están entre 125 ó 134,2KHz y que por se usan para aplicaciones de corto alcance; las de alta frecuencia (13,56MHz); de frecuencia ultra elevada o UHF (868 a 956MHz); y de microondas con 2,45GHz y utilizada para transmisiones de largo alcance. [4]

El modo que alcanza rangos de comunicación más altos, mayores velocidades de datos y tamaños de antena más pequeños es el de Ultra Alta Frecuencia (860-960MHz). Es por esto que este campo es el más estudiado y por lo mismo este es el modelo desarrollado en MATLAB para la realización de este proyecto.

Las etiquetas RFID se usan en muchas industrias y en variedad de aplicaciones. Por ejemplo, una etiqueta RFID en un automóvil durante la producción se puede utilizar para realizar un seguimiento de su progreso a través de la línea de montaje. De igual forma pueden ser utilizadas para el

Informe presentado el 20 de Noviembre de 2014. Universidad del Norte, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica. Curso de Comunicaciones.

Néstor Bernal González, estudiante de Ingeniería Electrónica; código: 200041677 e-mail: ndbernal@uninorte.edu.co.

Luis De La Cruz Vega, estudiante de Ingeniería Electrónica; código: 200041341 e-mail: ldelacruz@uninorte.edu.co.

Brigitte Lascano Basto, estudiante de Ingeniería Electrónica; código: 200028294 e-mail: lascanob@uninorte.edu.co.

Etiel Miranda Candanoza, estudiante de Ingeniería Electrónica; código: 200028597 e-mail: etielm@uninorte.edu.co

seguimiento de cargas y de igual forma el seguimiento de personas, ganadería y animales domésticos. Las etiquetas RFID pueden ser implementadas en el dinero en efectivo, ropa, posesiones, e incluso pueden ser implantadas dentro de las personas.

El aumento en la popularidad de esta tecnología es inminente, en 2010, tres factores impulsaron el aumento significativo en el uso de la RFID: en primer lugar, el bajo costo de los equipos y las etiquetas, el aumento de rendimiento (Llegando a una fiabilidad del 99,9%) y un estándar internacional estable alrededor de los sistemas UHF o de Frecuencia Ultra Elevada RFID[5].

II. DESCRIPCIÓN DEL MODELO

En el presente informe, se presenta una versión simulada mediante MATLAB de un sistema de RFID, compuesto por un lector, la etiqueta y el canal. Inicialmente, el lector transmite y recibe señales para establecer la comunicación con las etiquetas, mientras que las etiquetas envían una identificación (ID) única que es decodificada por el lector (Fig. 1). El presente trabajo está basado en los bloques propuestos por Datta et al. [1] y la posterior manipulación en los parámetros de estos. Se incorpora un Bloque de Ruido con el fin de lograr la mayor precisión al simular las condiciones ambientales reales.

A. Modelo del Lector (Transmisor-Receptor)

Un lector RFID es en esencia un transcriptor de señales de radio que transmite y recibe señales de radio con etiquetas de identificación.

Por un lado, el lector consta de un transmisor, en este se genera el código de etiqueta mediante un bloque de secuencia repetitiva. Este código se modula con una señal continua portadora y se utiliza para activar la etiqueta y la señal portadora continua se utiliza para la retrodispersión de la identificación de la etiqueta durante el enlace de retorno. Como esquema de modulación se utiliza DSB-AM (Modulación AM Doble Banda). Posteriormente, la señal modulada es amplificada y limitada en banda con un filtro Bessel Pasa Banda de cuarto orden y se transmite a través de la antena. Luego de eliminar una de las bandas laterales de DSB-AM se obtiene una modulación SSB-AM que ocupa la mitad del ancho de banda de DSB-AM manteniendo la misma SNR.

Por otro lado, el receptor recibe la señal directa del transmisor y la señal reflejada del ambiente. Sin embargo esta señal reflejada es débil y por lo tanto se puede despreciar. El circuito receptor debe tener un amplio rango dinámico para poder manejar la señal directa (relativamente grande) y detectar la señal de retrodispersión (débil) de la etiqueta.[6]

B. Modelo del Canal

El canal es el medio de comunicación inalámbrico entre el lector y la etiqueta. El canal incorpora ruido a la señal modulada de la etiqueta degradándola. Como dicho ruido es

aditivo este se añade con a la señal mediante un bloque sumador. La potencia de la señal también se atenúa durante la transmisión del lector a la etiqueta y viceversa.

C. Modelo de Etiqueta Pasiva

En primera instancia, la etiqueta debe identificar el código transmitido por el lector y compararlo con el código almacenado en su memoria. Si hay coincidencia, la etiqueta se habilitará y generará retrodispersión a la portadora continua modulada con la etiqueta de identificación, esto mediante el cambio del coeficiente de reflexión de la antena. La detección del código se da mediante un detector de pico o un demodulador con portadora generada localmente. Se utilizan distintos bloques para cambiar la forma de la señal y formar el código en patrón de bits. Para la comparación de códigos se utiliza un bloque de 'cola', con señales push, pop y líneas de entrada y salida. Si el código de etiqueta coincide, la señal portadora continua modulada con la identificación de etiqueta se refleja de vuelta al receptor cambiando el coeficiente de reflexión de la antena.

III. VERIFICACIÓN DEL MODELO

En el presente trabajo, se presenta un sistema RFID simulado que incorpora las perturbaciones ambientales. Para el desarrollo y análisis del rendimiento de dicho modelo se utilizan MATLAB y Simulink teniendo en cuenta todas las consideraciones pertinentes. La Etiqueta, el Canal RFID y el Lector se simulan en el entorno MATLAB y se presentan en las Fig. 2, 3 y 4 respectivamente. Además se utilizan diferentes *Scopes* para mostrar las formas de onda pertinentes.

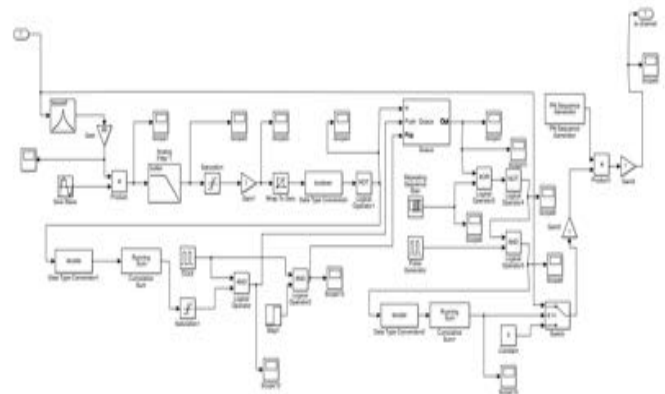


Fig. 2. Modelo Simulink de la Etiqueta.

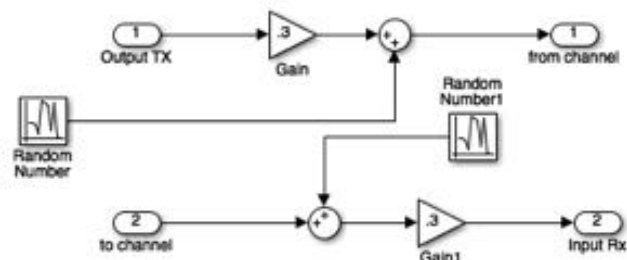


Fig. 3. Modelo Simulink del Canal.

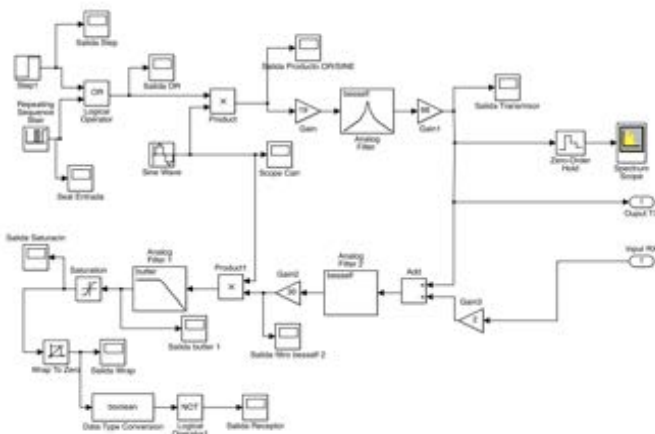


Fig. 4. Modelo Simulink del Lector (Transmisor-Receptor).

IV. VALIDACIÓN DEL MODELO

Para la validación del modelo del sistema RFID se comprobaron los resultados obtenidos luego de la simulación en MATLAB y Simulink, comprobando así su rendimiento. De igual manera, el enlace directo y el enlace de retorno que comprende tanto al lector como a la etiqueta se simulan utilizando MATLAB y Simulink.

Inicialmente, el lector genera el código de etiqueta mediante un bloque de secuencia repetitiva. Este código se modula con una señal continua portadora con amplitud de 1V, y $f_{\text{rec}}=900\text{MHz}$. La tasa de transmisión utilizada es 1×10^8 y el tiempo de bit es su inverso, 1×10^{-8} . Por otro lado, la frecuencia en la que se muestrea la señal sinusoidal debe ser una frecuencia muy pequeña para que garantice el criterio de Nyquist y el número de muestras que se toman pueda representar la señal de manera correcta.

La señal modulada se amplifica y se limita en banda entre 860 MHz a 930 MHz con un filtro Bessel Pasa Banda de cuarto orden cuya frecuencia es de $2 \times \pi \times f_{\text{rec}}$. Continuando, el bloque de Escalón o Step requiere un número de muestras por lo tanto necesita una frecuencia de muestreo pequeña y su tiempo es de 1.5s[1]. Las gráficas obtenidas en el transmisor se muestran en las Fig. 5 a la Fig. 7.

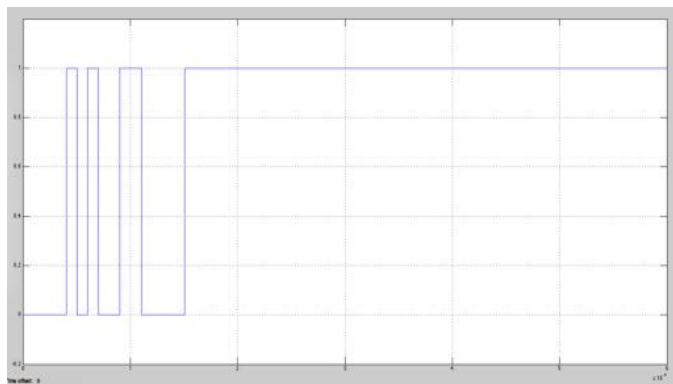


Fig. 5. [SCOPE] Código de Etiqueta (1010011) junto con la Función Escalón.

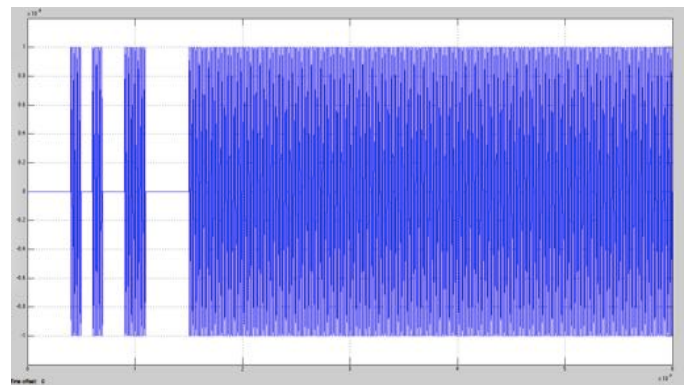


Fig. 6. [SCOPE CARR2] Patrón modulado bajo el esquema DSB-AM.

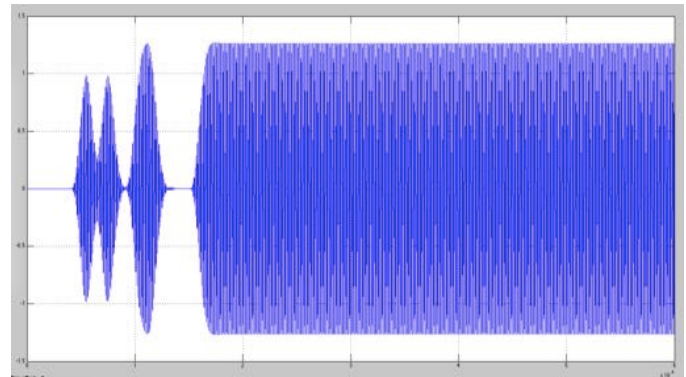


Fig. 7. [SCOPE CARR3] Señal modulada restringida en banda la Salida de la antena del Lector.

En el canal se incorpora el ruido AWGN mediante un bloque de generación de valores aleatorios. Estos bloques de números aleatorios permiten variar la potencia del ruido mediante el parámetro de Varianza. El ruido es añadido a la señal por medio de un bloque sumador.

Posteriormente, se implementaron los bloques necesarios para la etiqueta. Acá se recurre a un filtro cuya frecuencia sea tal que elimine la portadora. Luego, la etiqueta debe identificar el código transmitido por el lector y compararlo con el código almacenado en su memoria.

Para cambiar la forma de la señal y formar el código de bits requerido se hace uso de distintos bloques. Los bloques de Ganancia amplifican la señal y sus valores fueron extraídos directamente del modelo presentado por Datta et al. [1]. El bloque Saturación limita la señal a valores de umbral superior e inferior para así distinguir los ceros de los unos, en el modelo simulado el valor superior fue 0,04V y el valor inferior fue 0,032V. Mientras tanto, el bloque de Wrap to Zero comprueba el valor de umbral de la señal (en este caso 0,7V) tomando los valores por encima de este y convirtiéndolos en uno y los que estén por debajo de este valor se convertirán en cero formando un patrón que es el patrón del código invertido. Luego, para obtener el valor del código real se utiliza un bloque Conversor Booleano que convierte la señal y que luego pasa por un operador 'Not' lógico. Las Fig. 8 a la Fig. 10 ilustran esta instancia.

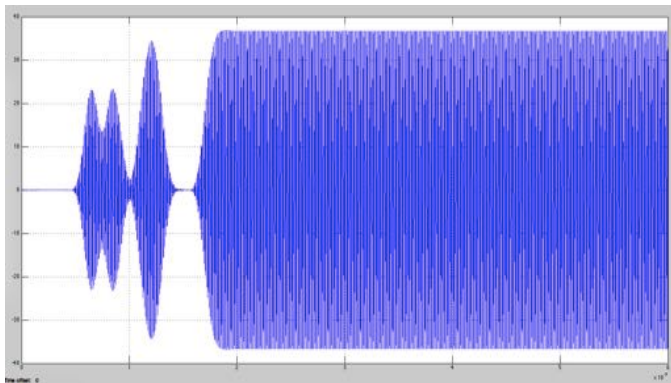


Fig. 8. [SCOPE CARR1] Señal Recibida en la Antena de la Etiqueta.

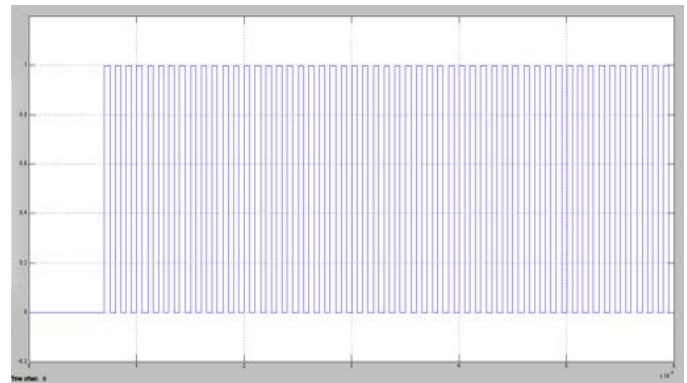


Fig. 11. [SCOPE1] Señal Reloj generada para la operación Push en la Cola.



Fig. 9. [SCOPE CARR4] Señal Detectada en la Etiqueta.

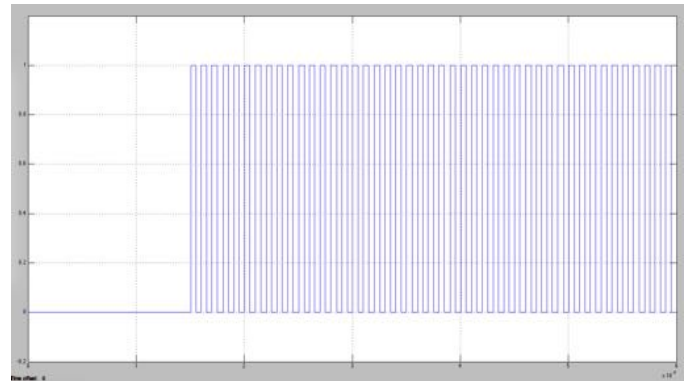


Fig. 12. [SCOPE14] Señal Reloj generada para la operación Pop en la Cola.

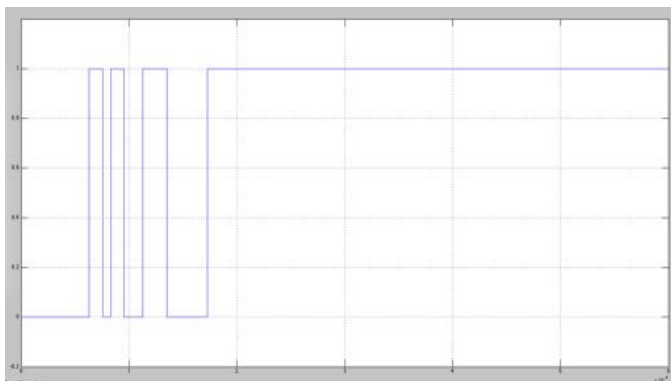


Fig. 10. [OUT WARP] Señal Reconstruida con Conversión en Forma Booleana. Muestra el Código transmitido en el Lector.

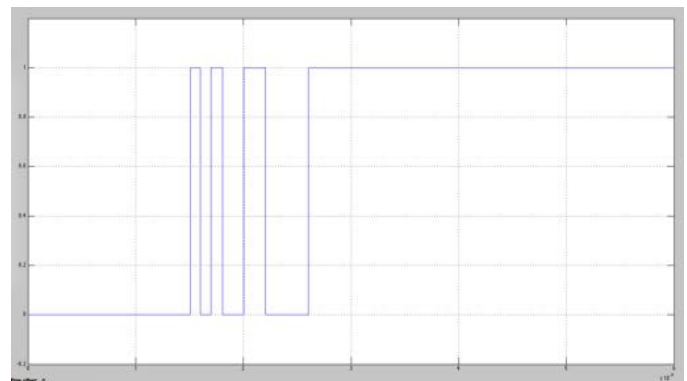


Fig. 13. [SCOPE11] Patrón Jalado (Pop) de la Cola.

Para la comparación se utiliza un bloque de Cola que introduce señales de push-pop y permite líneas para entrada y salida de bits. Cuando se detecta el bit de inicio la señal de reloj comienza a empujar (push) los bits de código de la señal recibida y cuando todos los 10 bits son empujados el reloj da la señal de jalar (pop). Mientras tanto, el código de la Etiqueta es generado por esta, esto con el fin de sincronizar el bit de inicio de código del receptor y el código de la Etiqueta. Luego, la comparación se realiza correlacionando los dos códigos mediante un operador 'X-NOR', primero utilizando un bloque 'XOR' y luego uno 'NOT'. En las cuatro figuras siguientes se muestra la validación de este procedimiento:

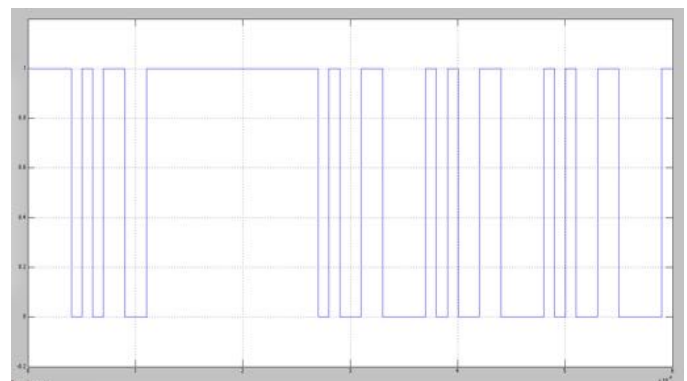


Fig. 14. [SCOPE8] Salida comparada luego de la correlación del Código de Etiqueta y el Código Recibido del Lector.

Si los 10 bits coinciden totalmente la salida del código de palabra será uno. Entonces, para obtener esta salida se utiliza un bloque de señal. Continuando, se utilizan un bloque de

suma continua (Running Sum) y un convertidor, si el código del lector y el código de la etiqueta coinciden la Running Sum tomada en el periodo de tiempo del código de palabra es 10, siempre que la de suma se tome en la tasa de bits del código. Por otra parte, el bloque Reconstructor de Señal acota la señal a un intervalo definido, para la simulación se acotó a valores entre 1.5 y 2.5 segundos.

Luego se utiliza un interruptor de tres entradas, este interruptor elimina la señal mensaje y habilita la transmisión de la Identificación de la Etiqueta. Este interruptor cuenta con un valor umbral de conmutación, que para el caso del presente informe es de nueve. Es por esta razón que para valores de Running Sum superiores a este voltaje umbral el interruptor habilita la parte a transmitir de la Etiqueta ID. El cambio de la Entrada 3 a la Entrada 1 se produce cuando la señal de Entrada 2 cruza el valor umbral de 9. La Entrada 1 es la señal transmitida por el Lector en realimentación, es decir, la portadora continua, la Entrada 2 es la señal del bloque Running Sum y la Entrada 3 está conectada a tierra. Como resultado, si el código de etiqueta coincide la señal portadora continua modulada con la Identificación de Etiqueta se refleja de vuelta al receptor al cambiar el coeficiente de reflexión de la antena de la etiqueta. También se hace uso de un bloque Generador de Secuencia PN (Polynomial) encargado de generar la Identificación de la Etiqueta, así como de otros bloques de producto y de ganancia.

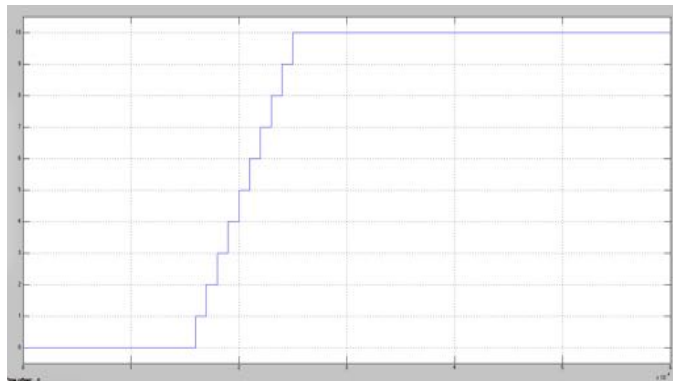


Fig. 15. [SCOPE] El valor de Running Sum es 10 ya que todos los códigos de bit coinciden.

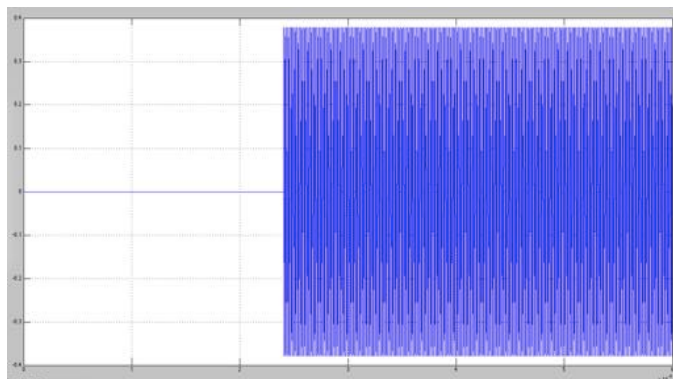


Fig. 16. [SCOPE] El switch habilita a la Portadora Continua para que la Etiqueta pueda transmitir su Identificación.

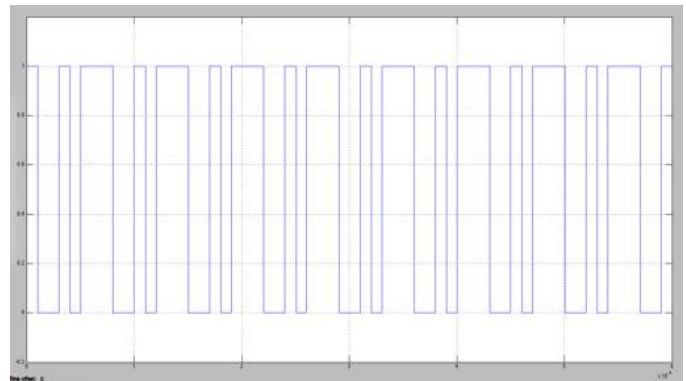


Fig. 17. [SCOPE] Salida del Generador de secuencia PN simulando la generación de Identificación de Etiqueta Repetitiva.

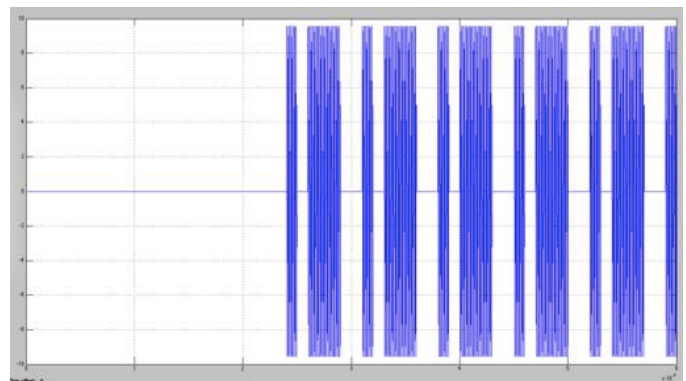


Fig. 18. [SCOPE] La Identificación de etiqueta modulada por retrodispersión de la Portadora Continua.

En última instancia, el lector recibe la señal directa desde el transmisor y la reflejada desde el ambiente circundante.

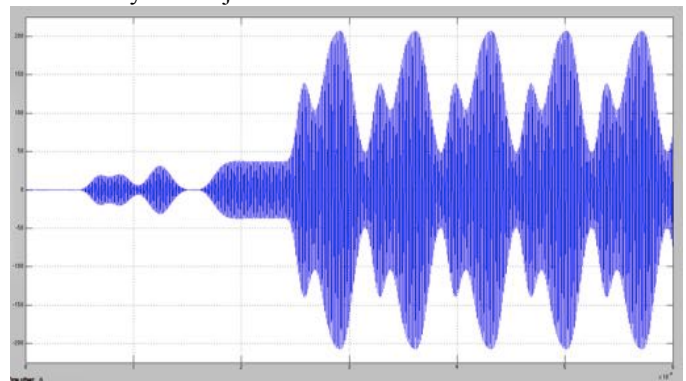


Fig. 19. [SCOPE] Identificación de Etiqueta junto al efecto de acoplamiento directo en el Lector.

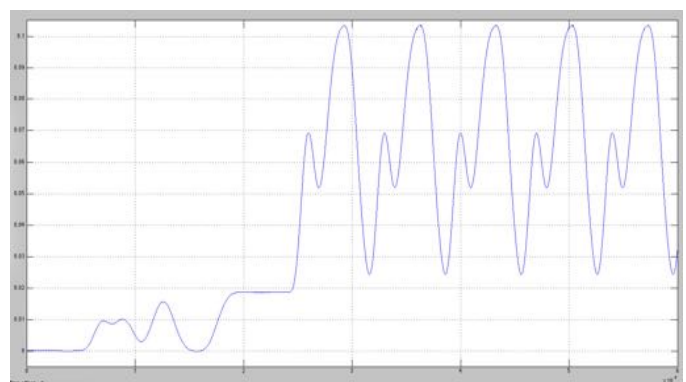


Fig. 20. [SCOPE] La forma de onda desmodulada en el Lector

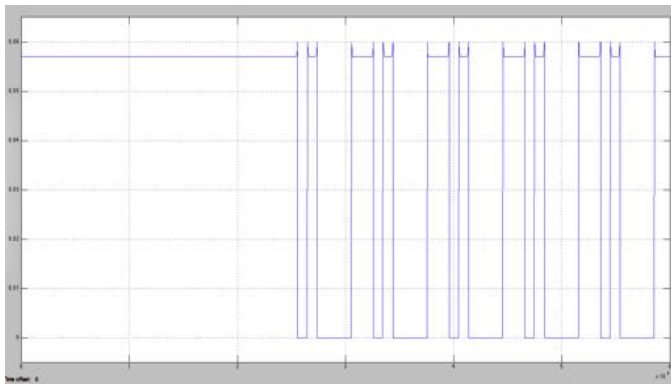


Fig. 21. [SCOPE] Salida del bloque Wrap to Zero para el condicionamiento de señal.

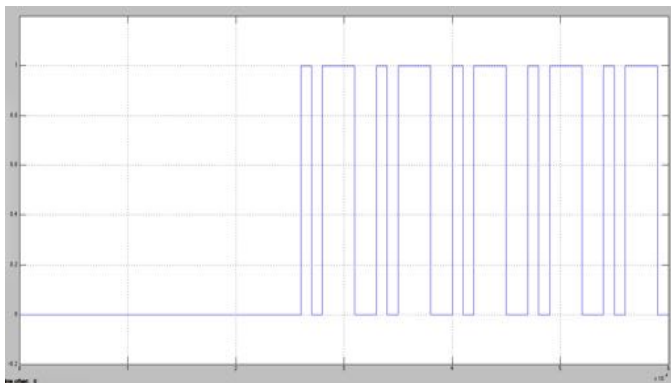


Fig. 22. [SCOPE] La Identificación de Etiqueta reconstruida y convertida en forma Booleana. La Identificación de Etiqueta 10111 se obtiene en el Lector.

Para finalizar, el modelo también se utiliza para calcular la BER. Es así como para poder realizar una estimación de la curva de BER de la simulación del sistema RFID, primero se necesita establecer una potencia de ruido para obtener así un valor de varianza que se pueda modificar en los parámetros del bloque Random Number en el canal, para esto se utiliza la siguiente fórmula:

$$\sigma^2 = \frac{N_o}{2T_b} = \frac{12 \times 10^{-10}}{2(1 \times 10^{-8})} = 0.06$$

Con este valor de varianza, se procede a analizar la probabilidad de error. Esta es hallada con el siguiente subsistema de nuestro proyecto llamado BER. La entrada Tx es la salida del transmisor y la entrada Rx es la salida del bloque Queque en el esquema de la Etiqueta.

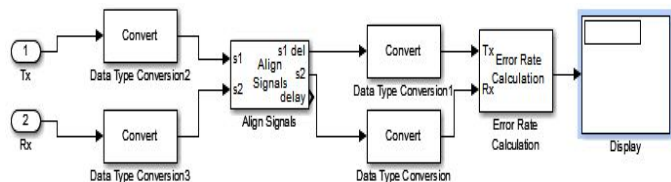


Fig. 23. Subsistema BER (Bit-Error Rate).

El bloque Error Rate Calculation entrega tres valores, el primero es la probabilidad de error, el segundo es el número máximo de errores permitido hasta detener la simulación y el tercero es la cantidad de símbolos analizados.

Para hallar cada punto de la curva BER, primero se simula el modelo con un específico valor de ganancia la salida del transmisor, por ejemplo para una ganancia de 40 la probabilidad de error que nos da el Error Rate Calculation es 0.3017. Seguido esto se observa la forma de onda a la salida del transmisor y se calcula su amplitud máxima:

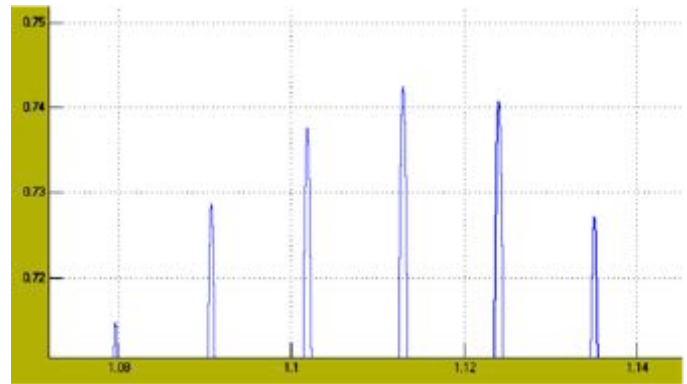


Fig. 23. Amplitud para una ganancia de 40 a la salida del Transmisor.

En la anterior grafica se puede ver que para una ganancia de 40, la amplitud máxima es de 0,7425 volts. Con estos valores se puede calcular la SNR (E_b/N_o) obteniendo así un punto de la curva BER.

$$SNR \left(\frac{E_b}{N_o} \right) = \frac{A^2 * T_b}{N_o} = \frac{(0.7425)^2 * 1 \times 10^{-8}}{12 \times 10^{-10}} = 4.59$$

$$= 6.6_{[dB]}$$

Realizando estos cálculos para diferentes valores de ganancia se obtiene la siguiente tabla, al graficar esta tabla se obtiene la curva de La Tasa de Error de Bits (BER) para nuestro sistema RFID.

GANAN -CIA	Pe	Eb/NO (dB)	Eb	AMPLIT UD (V)	SNR	SNR dB
20	0.4514	1	1.39353 E-09	0.3733	1.16E+0 0	0.6
22	0.4514	1	1.68674 E-09	0.4107	1.41E+0 0	1.5
26	0.4514	3	2.35516 E-09	0.4853	1.96E+0 0	2.9
28	0.4514	4	2.73215 E-09	0.5227	2.28E+0 0	3.6
30	0.4514	4	3.136E- 09	0.56	2.61E+0 0	4.2
31	0.4514	4	3.364E- 09	0.58	2.80E+0 0	4.5
32	0.4514	5	3.6E-09	0.6	3.00E+0 0	4.8
33	0.4015	5	3.79456 E-09	0.616	3.16E+0 0	5.0
36	0.3017	6	4.77619 E-09	0.6911	3.98E+0 0	6.0
38	0.3017	7	6.07776 E-09	0.7796	5.06E+0 0	7.0
40	0.3017	7	5.51306 E-09	0.7425	4.59E+0 0	6.6
46	0.3491	8	7.37366 E-09	0.8587	6.14E+0 0	7.9
48	0.3491	8	8.02816 E-09	0.896	6.69E+0 0	8.3

50	0.2941	9	8.61184 E-09	0.928	7.18E+0 0	8.6
51	0.2941	9	8.96052 E-09	0.9466	7.47E+0 0	8.7
52	0.2941	9	9.31611 E-09	0.9652	7.76E+0 0	8.9
53	0.2941	9	9.65896 E-09	0.9828	8.05E+0 0	9.1
54	0.2941	9	1.00461 E-08	1.0023	8.37E+0 0	9.2
55	0.2941	9	1.04224 E-08	1.0209	8.69E+0 0	9.4
56	0.2941	10	1.08056 E-08	1.0395	9.00E+0 0	9.5
57	0.2941	10	1.11936 E-08	1.058	9.33E+0 0	9.7
58	0.2941	10	1.15907 E-08	1.0766	9.66E+0 0	9.8
59	0.2941	10	1.19924 E-08	1.0951	9.99E+0 0	10.0
60	0.2941	10	1.24033 E-08	1.1137	1.03E+0 1	10.1
61	0.2941	10	1.2821E -08	1.1323	1.07E+0 1	10.3
62	0.2941	10	1.32434 E-08	1.1508	1.10E+0 1	10.4
63	0.2941	11	1.3675E -08	1.1694	1.14E+0 1	10.6
64	0.2941	11	1.41111 E-08	1.1879	1.18E+0 1	10.7
65	0.2941	11	1.45564 E-08	1.2065	1.21E+0 1	10.8
66	0.2941	11	1.50087 E-08	1.2251	1.25E+0 1	11.0
67	0.293	11	1.54654 E-08	1.2436	1.29E+0 1	11.1
68	0.29	11	1.59315 E-08	1.2622	1.33E+0 1	11.2

Tabla. 1. Valores de BER.

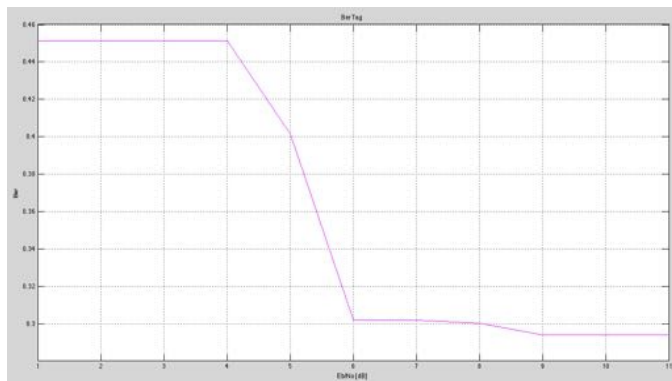


Fig. 22. Tasa de Error de Bit (Bit-Error Rate, BER).

V. CONCLUSIÓN

Luego de la investigación, caracterización y análisis de un modelo RFID simulado mediante MATLAB, es posible concluir que esta es una tecnología de comunicación inalámbrica de fácil uso y aplicación. La flexibilidad de estos sistemas los hacen apropiados para la operación automática.

El presente trabajo presenta un modelo en MATLAB de un sistema RFID teniendo presente alteraciones como el AWGN. Luego, este sistema se analizó y se implementó utilizando

diferentes códigos de prueba en la etiqueta para así comprobar su correcto funcionamiento.

Con el fin de simular las condiciones ambientales reales, se implementó un Bloque de Ruido y mediante este se estudiaron también los efectos del ruido ambiental en el sistema. Por otro lado, se estudió el rendimiento del sistema midiendo la BER.

Se hizo claro que al momento de simular modelos mediante cualquier tipo de software matemático es necesario tener en cuenta todos los parámetros configurables, para el caso de Simulink los parámetros de sus bloques. Esto en mayor parte debido a los tiempos y frecuencias de muestreo de cada bloque.

Aunque la tecnología RFID sigue siendo más costosa que los sistemas de códigos de barras, cada vez se vuelve más accesible y es claro que proporciona muchos beneficios que no se pueden obtener con los sistemas de códigos de barras. Es claro entonces que el futuro de los métodos de identificación automática y captura de datos está en estos sistemas inalámbricos, lo que hace que el campo de desarrollo de aplicaciones RFID eficaces sea cada vez más prometedor.

REFERENCIAS

- [1] T. Datta, Ph.D., A. De, & A. Bhattacharjee "RFID Model and Study its Performances" in *International Journal of Computer Applications* vol. 68-No. 1, April 2013.
- [2] S. Haykin *Communication Systems*. 3rd ed., Wiley, 2001.
- [3] C. C. Song *et al.*, "Study and implementation of a networking information platform for RFID system", *IEEE International Conference on Industrial Technology, ICIT 2008*, pp. 1-6, 2008.
- [4] S. Weis, "RFID (Radio Frequency Identification): Principles and Applications", 2007, MIT CSAIL. [En Línea: <http://www.eecs.harvard.edu/cs199r/readings/rfid-article.pdf>]
- [5] M. Meints, "D3.7 A Structured Collection on Information and Literature on Technological and Usability Aspects of Radio Frequency Identification (RFID)". FIDIS deliverable 3(7), Junio 2007. [En Línea: <http://www.fidis.net/resources/fidis-deliverables/hightechid/int-d3700/>]
- [6] T. Datta *et al.*, "Realization & Simulation of the Hardware for RFID system and its performance study", *IET-UK International Conference on Information and Communication Technology in Electrical Sciences, organized by Dr. M. G. R. University, Chennai, Tamil Nadu*, pp. 697 – 700, 2007