

El Comportamiento del Canal de Radio RFID en el Control Vehicular

Ricardo Meneses¹, Laura Montes² and Roberto Linares³

RESUMEN. La mayoría de los sistemas de comunicación terrestre opera en ambientes que presentan una multitud de problemas de propagación de RF. El Sistema de Identificación de Radio Frecuencia, que es un sistema de comunicación inalámbrica, aplicado al control vehicular, es un típico sistema de comunicación punto a punto, el cual, el radio enlace está formado entre el lector, que trabaja al mismo tiempo como estación base y como un sitio final de usuario, y la etiqueta, el sitio intermedio, el cual está expuesto a perturbaciones electromagnéticas, debido a reflexiones de objetos en el ambiente. De tal forma que cualquier desalineamiento entre las antenas en el lector y la etiqueta resulta en un desacoplamiento en la polarización, lo que resulta en que el sistema observe una reducción en su eficiencia.

El enfoque de este artículo está orientado a la pérdida en la trayectoria del sistema de comunicación RFID aplicado al control vehicular, debido a un desacoplamiento entre la polarización de las antenas y a las reflexiones en la superficie. Mediciones experimentales fueron llevadas a cabo en campo y en el laboratorio de compatibilidad electromagnética.

PALABRAS CLAVE: Tecnología RFID, Pérdida en la Trayectoria, Control Vehicular, Función de Transferencia de Antena, Polarización.

I. INTRODUCCIÓN

Las características del ambiente radio eléctrico y geométrico influyen en el Canal de Radio, el cual ha sido analizado de forma extensa en diferentes trabajos, pero ninguno de ellos ha analizado la tecnología RFID aplicada al control vehicular. Esto es motivo de análisis del ambiente de propagación en ambientes exteriores para sistemas RFID.

El sistema RFID usa el concepto de acoplamiento electromagnético de campo cercano y lejano para la detección de objetos. Un enlace de comunicación inalámbrica está formado entre un transpondedor remoto (antena y circuito integrado), mejor conocido como la etiqueta, y un interrogador o lector, tal como se muestra en la figura 1. Las principales funciones que realiza un lector es la demodulación del dato que ha sido retransmitido por la etiqueta, la decodificación del dato recibido, energizando en el caso de etiquetas pasivas y semi-pasivas, y como una antena radiando por encima de una superficie con pérdidas [1].

La Tecnología RFID trabaja en las bandas de frecuencia baja, alta, ultra alta y súper alta. La norma 18006-C establece los requerimientos de los niveles lógicos y físicos, donde el lector inicia la comunicación en el sistema RFID, operando en el rango de frecuencia de 860-960 MHz [2], [3].

Recientemente, esta tecnología es aplicada al control vehicular con objeto de tener toda la información del automóvil, por ejemplo, datos como el nombre del propietario, placas, multas, etc. Es una aplicación típica de radio móvil, tal como lo muestra la figura 2, donde el lector está instalado en

^{1, 2, 3} ESIME-Zacatenco, Instituto Politécnico Nacional, Edif. 5, Col. Lindavista, CP 07738 México DF
E-mail: rmenesesg@ipn.mx

una posición fija, sujeto a un poste fijo, siendo el transmisor, y la etiqueta se encuentra adherida en el automóvil, siendo ésta, un receptor móvil, y la cual, inicia la transmisión de regreso al lector, conviviendo de forma muy cercana con otros sistemas de comunicación, en un ambiente electromagnético complejo y violento. En esta aplicación el lector RFID está basado en una configuración de antena mono estática, con una antena transmisora y una antena receptora [4], donde un acoplador direccional es usado como un aislador, el cual, introduce una pérdida en la trayectoria por atenuación. Formando el medio de propagación, se encuentra el espacio libre, las reflexiones debido a la superficie [5], [6], la cual está constituida por material isotrópico y homogéneo con propiedades lineales, tal como, la permitividad eléctrica ϵ_r , la permeabilidad magnética μ_r , y las reflexiones de varios obstáculos, algunos de ellos estáticos, y/o algunos de ellos en continuo movimiento.

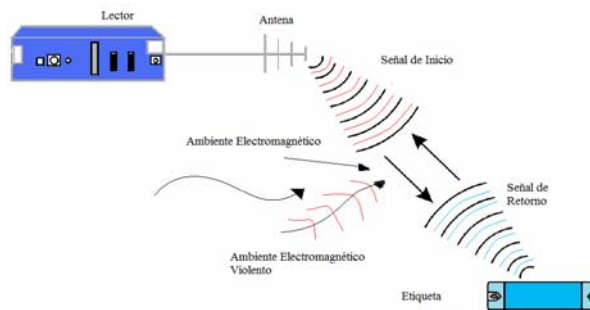


Fig.1. El Canal de Identificación por Radio Frecuencia

La polarización es una consideración importante para las antenas del lector en RFID. Para maximizar el rango de la etiqueta, la polarización de la antena de la etiqueta debe de estar acoplada a la de la antena del lector. En RFID aplicado a control vehicular, la alineación entre la antena del lector y la antena de la etiqueta es una situación difícil, debido al movimiento del móvil, lo que resulta en un desacoplamiento en polarización agregando pérdida en la trayectoria.

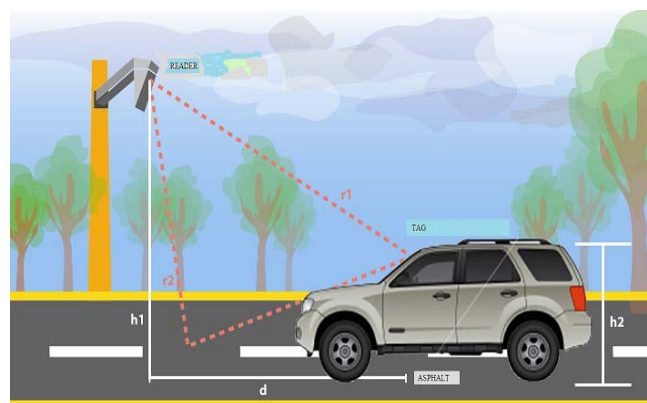


Fig.2. La tecnología RFID aplicada al control vehicular.

La figura muestra los componentes del canal de radio, el rayo directo y el rayo reflejado por la superficie.

II. ESTABLECIMIENTO DEL PROBLEMA

A. DESACOPLAMIENTO EN POLARIZACIÓN

Durante las pruebas, una antena Yagi fue usada como antena del lector, y es instalada formando un ángulo con el poste. Por otra parte un dipolo horizontal es usado como antena de la etiqueta, la cual se encuentra instalada sobre el parabrisas del automóvil.

Con objeto de obtener el máximo campo eléctrico en la antena de la etiqueta, ésta debe de estar acoplada con la antena del lector, pero en tanto como el móvil se aproxima al lector, un desacoplamiento en la polarización entre las antenas se presenta. El desacoplamiento en polarización agrega una pérdida extra. La eficiencia de polarización mutua se expresa de la forma siguiente [7]:

$$P = \frac{1 + |\hat{\rho}_1|^2 |\hat{\rho}_2|^2 + 2|\hat{\rho}_1| |\hat{\rho}_2| \cos(\theta_1 - \theta_2)}{(1 + |\hat{\rho}_1|^2)(1 + |\hat{\rho}_2|^2)} \quad (1)$$

donde:

θ_1 , fase de la razón de polarización de la antena del lector

θ_2 , fase de la razón de polarización de la antena de la etiqueta

$\hat{\rho}$, razón de polarización compleja

La ecuación 1 representa la correlación entre la polarización de las antenas, y es una pérdida debido al desacoplamiento en polarización. θ_1 and θ_2 son las fases de las razones de polarización de las antenas, de la antena de la etiqueta y la onda incidente de la antena Yagi. Las eficiencias en polarización máximas y mínimas, ocurren cuando $\theta_1 - \theta_2$ es igual a 0° y a 180° respectivamente. La eficiencia en polarización se convierte en:

$$P_{\max/\min} = \frac{(1 \pm |\hat{\rho}_1| |\hat{\rho}_2|)^2}{(1 + |\hat{\rho}_1|^2)(1 + |\hat{\rho}_2|^2)} \quad (2)$$

Por otra parte, el factor de pérdida en polarización, PLF, puede ser expresado como:

$\overline{E}_i = \hat{a}_w E_i$, campo eléctrico incidente

$\overline{E}_a = \hat{a}_a E_a$, campo eléctrico en la antena receptora

Así entonces, el factor de pérdida en polarización se expresa de la forma siguiente:

$$PLF = |\hat{a}_w \cdot \hat{a}_a^*|^2 = |\cos \theta_p|^2 \quad (3)$$

donde:

θ_p , ángulo entre los dos vectores unitarios

Figs. 3a and 3b muestran la geometría formada por la posición de las antenas durante las pruebas.

Un ángulo de 45° se forma entre la antena Yagi y la vertical. Conforme el móvil se acerca a la estación fija, la distancia entre ellas se acorta y el ángulo de polarización cambia, como se expresa en la ecuación (4).

$$\theta_p = \tan^{-1} \left[\frac{h_1 - h_2}{d} \right] \tag{4}$$

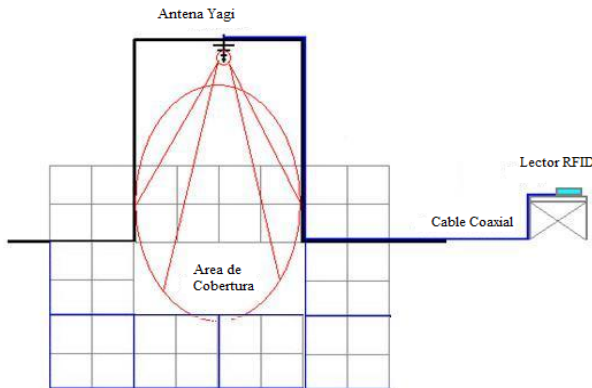


Fig.3a. Vista Frontal de la Geometría de la Polarización de las Antenas

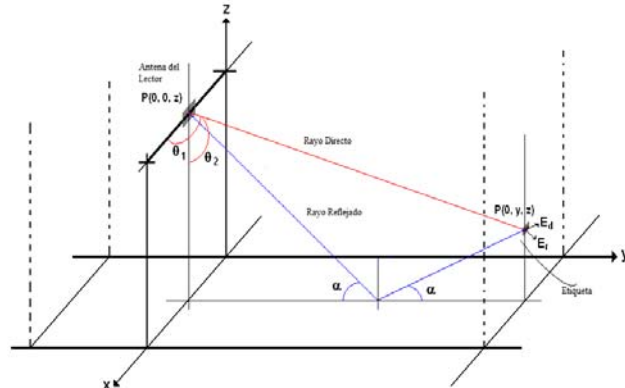


Fig. 3b. Vista Lateral de la Geometría de la Polarización de las Antenas.

B. REFLEXIONES SOBRE LA SUPERFICIE

Por otra parte, el modelo de dos rayos [8] considera la onda directa y la onda reflejada, y el coeficiente de reflexión está basado en las propiedades eléctricas de la superficie reflector y el ángulo de incidencia. Así que, debido a la contribución del factor de pérdida de contribución, ahora la potencia recibida puede ser expresada de la forma siguiente:

$$P_r = P_t G_t G_r (PLF) \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} \exp(-jkr_1) + \sum_{i=1}^N \Gamma(\alpha_i) \frac{1}{r_i} \exp(-jkr_i) \right|^2 \tag{5}$$

donde:

- P_t , Potencia de transmisión
- G_t , Ganancia de la antena del transmisor
- G_r , Ganancia de la antena del receptor
- d , Distancia entre el transmisor y receptor
- r_1 , Distancia del rayo directo
- r_i , Distancia del rayo reflejado
- $\Gamma(\alpha)$, Coeficiente de reflexión

siendo:

$$r_1 = \sqrt{d^2 + (h_1 - h_2)^2} = \sqrt{d^2 + h_1^2 + h_2^2 - 2h_1h_2}$$

$$r_2 = \sqrt{d^2 + (h_1 + h_2)^2} = \sqrt{d^2 + h_1^2 + h_2^2 + 2h_1h_2} \quad (6)$$

y:

$$\sin \alpha = \frac{\sqrt{d^2 + (h_1^2 + h_2^2)}}{(h_1 + h_2)}$$

donde:

α , ángulo de incidencia

La primera parte de la expresión (5) corresponde al rayo directo, ahora afectado por el factor de pérdida de polarización, y la segunda parte dentro del módulo, representa los rayos reflejados.

El coeficiente de reflexión depende del ángulo de incidencia, la polarización de la señal y la permitividad relativa de la superficie reflectora. Así que, debido a la contribución del factor de pérdida de polarización en el coeficiente de reflexión, en cada caso, está dado por [13]:

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\varepsilon_r' \cos(90 - \alpha) - \sqrt{\varepsilon_r' - \sin^2(90 - \alpha)}}{\varepsilon_r' \cos(90 - \alpha) + \sqrt{\varepsilon_r' - \sin^2(90 - \alpha)}}$$

Polarización Vertical

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\cos(90 - \alpha) - \sqrt{\varepsilon_r' - \sin^2(90 - \alpha)}}{\cos(90 - \alpha) + \sqrt{\varepsilon_r' - \sin^2(90 - \alpha)}} \quad (7)$$

Polarización Horizontal

donde:

σ , conductividad de la superficie reflectora (asfalto $\sigma = 0.005$)

Y la permitividad eléctrica está dada por [9]:

$$\varepsilon_r = 15 - j60\sigma\lambda$$

Para $\varepsilon_r = 5$, superficie seca, la permitividad eléctrica relativa [10], la potencia recibida para polarización vertical, se muestra en la figura 4, y de la misma forma para $\varepsilon_r = 15$, permitividad eléctrica relativa para superficie mojada [10], la potencia recibida es mostrada en la figura 5.

La contribución constructiva de las ondas reflejadas en la potencia recibida (curva de color verde y azul cielo), es mostrada en las gráficas 4 y 5.

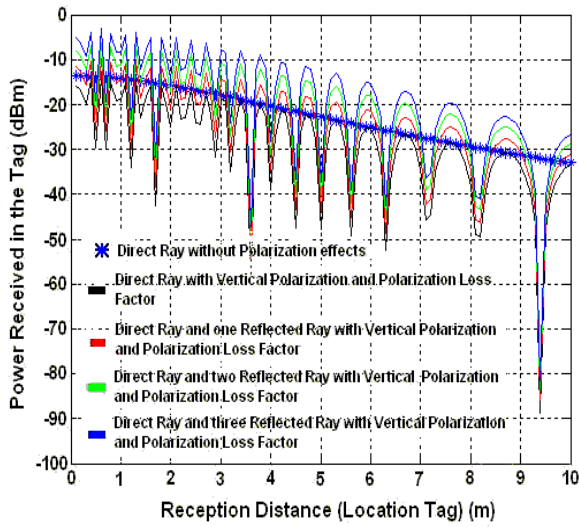


Fig 4. Potencia Recibida en la Etiqueta, $\epsilon_r = 5$ para Polarización Vertical.

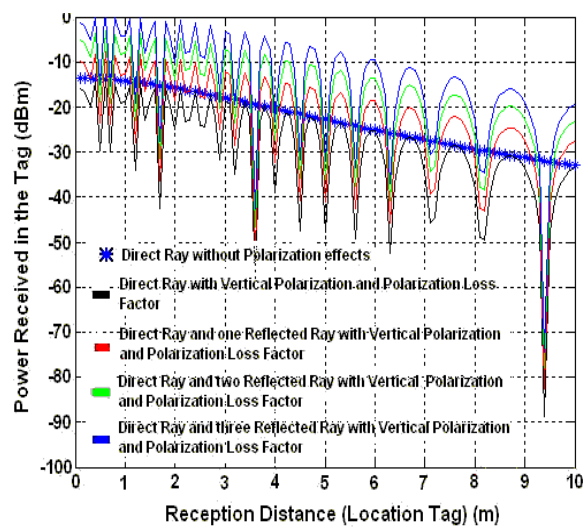


Fig 5. Potencia Recibida en la Etiqueta, $\epsilon_r = 15$ para Polarización Vertical.

Los hechos hablan por sí mismos, acerca de las contribuciones constructivas y destructivas de las reflexiones. La figura 6 muestra uno de los varios experimentos y mediciones hechas en campo.



Fig.6. Mediciones en campo.

III. CONCLUSIÓN

La Propagación Multitrayectoria, el desacoplamiento en la polarización de las antenas, la velocidad del móvil, la velocidad de los objetos entorno al canal, las reflexiones en la superficie y el ancho de banda de transmisión de la señal, son los más importantes factores físicos que influyen en el canal

de propagación de radio. Para aplicaciones de radio móvil, el canal RFID es variante en el tiempo entre el transmisor y el receptor y da como resultado cambios en la trayectoria de propagación.

Un modelo de propagación nos permite predecir la potencia recibida, la distribución espacial del campo eléctrico, y el estado de polarización del campo eléctrico, con objeto de optimizar la operación del receptor.

REFERENCIAS

- [1] Finkenzeller, K., *RFID Handbook: Radio-Frequency Identification Fundamentals and Applications*, 2nd edition, Wiley, New York, 2003.
- [2] International Standard ISO/IEC 18043-6, *Information Technology-Radio Frequency Identification Device Performance Tests Methods*, 1th edition 2007-09-15.
- [3] *860MHz – 930MHz Class I Radio Frequency Identification Tag Radio Frequency & Logical Communication Interface Specification Candidate Recommendation*, version 1.0.1. Auto-Id Center
- [4] M. Reynolds and C. Weigand, “*Design considerations for embedded software-defined RFID readers*”, Emerging Technology, August 2005.
- [5] S. Sa-e, M. Chamchoy and S. Promwong, “*Study on Propagation Path Loss and BER Performance for Fixed Broadband WiMax*”, Proceedings of Asia-Pacific Conference on Communications 2007.
- [6] Dolukhanov, M. “*Propagation of Radio Waves*”, MIR Publishers, Moscow, USSR, 1971.
- [7] Thomas A. Milligan, “*Modern Antenna Design*”, IEEE Press.
- [8] H.S. Kim and R.M. Narayanan, “*A New Measurement Technique for Obtaining the Complex Relative Permittivity of Terrain Surfaces*”, IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2002.
- [9] Anderson, H. A. “*A Ray Tracing Propagation Model for Digital Broadcast Systems in Urban Areas*”, IEEE Transaction on Broadcasting Vol. 39, No. 3, September 1993.
- [10] Parsons, J. D. “*The Mobile Radio Propagation Channel*”, 2nd Edition John Wiley & Sons, England 2000.
- [11] P. V. Nikitin and Rao, K.V.S., “*Antennas and Propagation in UHF RFID Systems*”, IEEE RFID 2008 Conference Proceedings (Las Vegas, NV, April 16-17, 2008).
- [12] P. V. Nikitin, K. V. S. Rao, and S. Lazar, “*An overview of near field UHF RFID*”, IEEE RFID Conference, pp.167-174, 2007.
- [13] Xia H.H., Bertoni H.L., Maciel L.R., Lindsay-Stewart A. and Rowe R., “*Radio Propagation Characteristics for Line-of-Sight Microcellular and Personal Communications*”, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 41, pp. 1439-1446, 1993.
- [14] T. Rappaport, “*Wireless Communications Principles and Practice*”, Prentice Hall, New Jersey 1996.
- [15] K. I. Blackard, M. J. Feuerstein, T. S. Rappaport, S. Y. Seidel. And H. H. Xia, “*Path loss and delay spread models as function of antenna height for microcellular system design*”, Proceedings of the 1992 IEEE Vehicular Technology Conference, Denver, CO, pp. 333-337, May 1992.