



Diseño e Implementación de una Solución Tecnológica Usando Etiquetas Pasivas RFID para el Control de Robos de los Motores Fuera de Borda de las Embarcaciones Menores Pesqueras

J. Helguero, R. Estrada
Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación
Escuela Superior Politécnica del Litoral
Cda. Los Esteros Mz. 16 A2 villa 20, EC090114, Guayaquil, Ecuador
jhelguer@espol.edu.ec, restrada@espol.edu.ec

Resumen

Este artículo presenta el diseño e implementación de una solución para el control de robos de los motores fuera de borda de las embarcaciones menores pesqueras. La falta de un control de inventario de motores fuera de borda, identificación in-situ y sobre todo los robos han llevado al uso de etiquetas pasivas RFID como posible solución de los problemas mencionados con anterioridad. Los equipos que formen parte de la solución deberán ajustarse a las condiciones adversas en las que tendrán que trabajar: salinidad, altas temperaturas, vibraciones e interferencias externas, en particular las provenientes del mismo motor fuera de borda. Lo fundamental en el presente trabajo son las pruebas realizadas que permitirán conocer el verdadero alcance y recepción de los datos mediante el uso de RSSI (Received Signal Strength Indication) y el uso de modelos de propagación (Forward and Reverse Link).

Palabras Claves: *RFID, motor fuera de borda, etiqueta pasiva RFID, Forward Link, Reverse Link, RSSI.*

Abstract

This paper presents the design and implementation of a solution to control theft of outboard motors of small fishing boats. The lack of control of outboard motors inventory, in-situ identification and especially thefts have come up with a possible solution of the problems mentioned before by using passive RFID tags. The RFID equipment that is part of the solution should adjust to adverse conditions where they will work: salinity, high temperatures, vibrations and external interferences particularly those that come from the outboard motor. The essentials in this paper are the specific tests that will provide the knowledge of the real coverage and reception of data using RSSI (Received Signal Strength Indication) and the use of propagation models in the forward and reverse link.

1. Introducción

La tecnología RFID (Radio Frequency Identification), la cual ha sido usada por muchos años en distintas aplicaciones, es una tecnología en constante crecimiento y desarrollo que basa su funcionamiento en la radio frecuencia. Esta tecnología es usada básicamente en operaciones automáticas, no requiere de línea de vista para operar, puede funcionar en variedad de condiciones ambientales, y provee altos niveles de seguridad.

En este artículo se presenta una aplicación única de RFID enfocado en el control de robos de motores fuera de borda de las embarcaciones menores pesqueras en las costas ecuatorianas mediante el uso de etiquetas pasivas RFID. Se mencionan los problemas que actualmente se presentan para evitar este tipo de robos y el modelo propuesto para la solución del problema. Para una mejor comprensión del verdadero desempeño del sistema, se procedió a efectuar dos tipos de pruebas. La primera prueba fue llevada a cabo para poder entender el comportamiento del ruido de un motor fuera de borda en la frecuencia de operación de la etiqueta pasiva RFID y sus posibles efectos de en el desempeño del sistema. La segunda prueba fue realizada para poder determinar las pérdidas de potencia usando la RSSI en el instante que una etiqueta es adherida a un motor fuera de borda que está apagado, encendido, en movimiento, y al grabar 34 bytes de datos en el banco de memoria User Data.

2. Descripción del problema

Uno de los problemas que afronta la Armada Nacional del Ecuador, a través de la Dirección Nacional de Espacios Acuáticos, es la incidencia de robo de motores fuera de borda. Según datos estadísticos que se proporcionan en [1], los motores fuera de borda se utilizan en alrededor 15.406 embarcaciones menores pesqueras matriculadas para navegar en las costas ecuatorianas. Recalcando que aproximadamente 20 robos de motores ocurren cada mes y que los costos de cada motor oscilan entre los \$7.000 y \$12.000, generando una pérdida total que oscila entre \$140.000 y \$240.000 dólares mensuales.

Todas las inspecciones in-situ realizadas por la Armada del Ecuador son visuales y siempre verificando los datos que llegue a presentar el dueño de la embarcación pesquera tales como factura de compra del motor fuera de borda, título de propiedad, etc. Sin embargo, a pesar de que existan tales documentos, no hay la garantía suficiente para garantizar que determinada persona sea propietaria de determinado motor.

La solución se enfoca en la identificación in-situ del motor fuera de borda. La identificación será realizada al leer el ID de la etiqueta pasiva que está en el motor fuera de borda y compararla con una base de datos. El dato proporcionado por el lector deberá concordar con la información que el oficial de guardia esté revisando, tales como la información personal del dueño de la embarcación, la marca del motor y el nombre de la embarcación.

3. Metodología

3.1. Ruido de un motor fuera de borda

La primera prueba de laboratorio fue realizada para poder entender del ruido generado por un motor fuera de borda en la frecuencia de operación de la etiqueta RFID y sus posibles efectos en el desempeño del sistema. El ruido fue examinado usando el analizador SMR-3000 [2] en dos rango de frecuencia. El primer rango es 902-928 MHz, el cual es típico rango de operación de una etiqueta pasiva RFID. El segundo rango es 890-994.63 MHz. Este último rango fue usado para analizar si el ruido sólo aparece en el primer rango de frecuencias mencionado.

Un motor Mercury de 40 HP fue usado para las pruebas de laboratorio. La distancia de separación entre la antena del analizador de espectros SMR-3000 y el motor fue de 25 cm. En cada una de estas situaciones, se varía la velocidad del motor empezando desde el encendido hasta la que alcance su máxima velocidad.



Figura 1. Motor fuera de borda de 40 HP.

3.2. Received Signal Strength Indication (RSSI)

El lector RFID estima la RSSI basado en la amplitud de la onda que la etiqueta pasiva RFID envía de regreso al lector RFID. Esta onda reflejada en sistemas RFID pasivos, es una señal ASK de acuerdo a los estándares ISO-6A/B/C [3, 4].

Se analizan tres tipos de etiquetas pasivas RFID que son diseñadas para ser adheridas a superficies metálicas.

Tabla 1. Etiquetas pasivas RFID usadas

Etiqueta pasiva	Rango de Lectura (m)
Alien H3 Metal Mount Brick	9
Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag	10
Gen 2 Multi Purpose Metal Tag	6

El equipo requerido para la segunda prueba fue:

- Lector fijo RFID INfinty 510.
- Antena de 12 dBi con polarización circular: 3 dB beamwidth 43° horizontal/38° vertical.
- Antena de 12 dBi con polarización lineal: 3 dB beamwidth 65° horizontal/30° vertical.

La separación entre las antenas fue de 2.30 metros. La altura de la embarcación que se muestra en la Fig. 2 en donde se ubicaron las antenas es de 1.96 metros respecto del agua. El hecho de escoger un lector fijo y antenas de mayor ganancia es para que este lector sea usado en embarcaciones guardacostas de mayor tamaño y así poder tener rangos de lectura mayores evitando posibles pérdidas debido al metal y al agua. La potencia de transmisión se fijó en 33 dBm, dando como resultado 45 dBm EIRP. El INfinity 510 permite seleccionar la región de operación. En este caso, se seleccionó la FCC, en la subregión FCC_A. Esta subregión trabaja en la banda de 902.3 a 912.1 MHz usando 50 canales de 200 KHz cada uno.

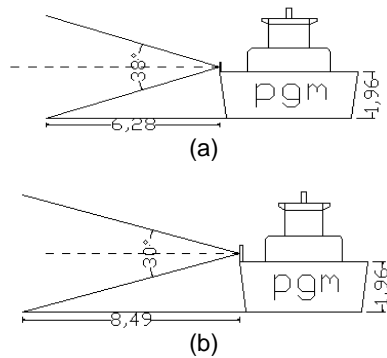
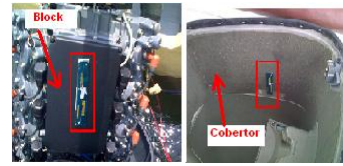
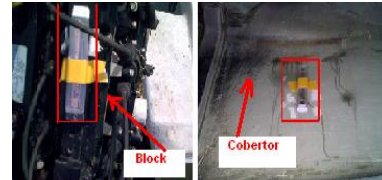


Figura 2. (a) Vista lateral de la embarcación guardacostas y una antena de 12 dBi con polarización circular. (b) Vista lateral de la embarcación guardacostas y una antena de 12 dBi con polarización circular.

Las etiquetas fueron ubicadas verticalmente ya sea en el cobertor, en una superficie metálica o en una superficie plástica cercana a una metálica. Las Fig. 2(a). y (b). muestran las ubicaciones de las etiquetas en los motores usados.



(a)



(b)

Figura 3. (a) Gen 2 Surface Independent Epoxy tag y un motor fuera de borda de 150 HP. (b) Alien H3 Metal Mount Brick y un motor fuera de borda de 75 HP.

4. Análisis teórico: Forward Link – Reverse Link

Estos enlaces son modelos de propagación que permiten realizar un análisis para poder estimar la potencia recibida teóricamente tanto en la etiqueta como en el lector. En el caso del enlace lector-etiqueta (forward link), se requiere que la potencia recibida esté por encima de la sensibilidad de la etiqueta y en el caso etiqueta-lector se necesita que la potencia recibida sea mayor a la sensibilidad del lector (reverse link). En este caso se comparó ambos enlaces en condiciones de espacio libre e ideales, además de realizar cálculos matemáticos respetando los 4 W EIRP según regulaciones de la FCC [5, 6] y excediendo las mismas. En [7] se muestran los modelos de propagación que rigen una comunicación de una etiqueta RFID pasiva que trabaja en UHF y el significado de cada término dentro de la ecuación. En (1) se muestra la potencia recibida por la etiqueta en el enlace lector-etiqueta y en (2) la potencia recibida por el lector en el enlace etiqueta-lector.

$$P_{tag} = P_{reader_{tx}} + G_{reader_{tx}} + G_{tag_{ideal}} - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) - 20 \log_{10}(d) \quad (1)$$

$$P_{reader_{rx}} = P_{reader_{tx}} + G_{reader_{tx}} + G_{reader_{rx}} + G_{tag_{ideal}} + 10 \log_{10} \left(\frac{\sigma}{4\pi} \right) - 20 \log_{10} \left(\frac{4\pi}{\lambda} \right) - 40 \log_{10}(d) \quad (2)$$

En cuanto al Radar Cross Section [8] se asume que hay máxima transferencia (Teorema de la Máxima Transferencia de Potencia) de potencia por lo que la impedancia de entrada de la antena debe ser igual a la conjugada compleja de la impedancia del chip [9].

Bajo esta condición podemos escribir el Radar Cross Section como

$$\sigma = \frac{\lambda^2 G^2}{4\pi} \quad (3)$$

donde λ es la longitud de onda de la frecuencia usada, G es la ganancia de la antena de la etiqueta RFID.

En la Tabla II se muestra un resumen de las potencias calculadas bajo regulaciones de la FCC y excediendo las mismas. Bajo las regulaciones de la FCC se realizan los cálculos usando una potencia de transmisión de 30 dBm, 6 dBi para la ganancia de la antena del lector, y 2 dBi para la ganancia de la antena de la etiqueta. Excediendo las regulaciones se trabaja con una potencia de transmisión de 33 dBm, 12 dBi para la ganancia de la antena del lector, y 2 dBi para la ganancia de la antena de la etiqueta.

Tabla 2. Cálculo de potencias bajo condiciones ideales

Bajo Regulaciones de la FCC		
Distancia (m)	Potencia recibida en la etiqueta (dBm)	Potencia recibida en el lector (dBm)
5	-7.58	-45.18
6	-9.16	-48.34
7	-10.50	-51.02
8	-11.66	-53.34
9	-12.68	-55.39
10	-13.60	-57.22
Excediendo las Regulaciones de la FCC		
Distancia (m)	Potencia recibida en la etiqueta (dBm)	Potencia recibida en el lector (dBm)
5	1.42	-30.18
6	0.16	-33.24
7	-1.50	-36.02
8	-2.66	-38.34
9	-3.68	-40.39
10	-4.60	-42.22

5. Resultados

5.1. Ruido de un motor fuera de borda

Las pruebas de laboratorio muestran que el ruido proveniente de un motor fuera de borda de 40 HP, es aleatorio tanto en frecuencia como en amplitud. A pesar que el aumento de velocidad supondría un aumento en la amplitud del ruido, esto no sucede y se lo puede verificar en las Fig. 4 (a) y (b) al realizar pruebas en tiempo real.

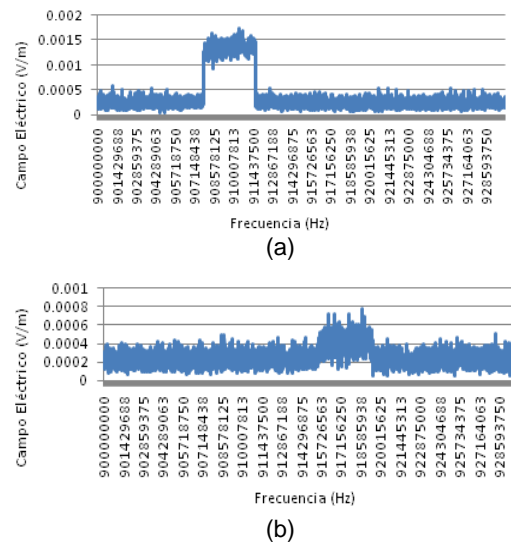
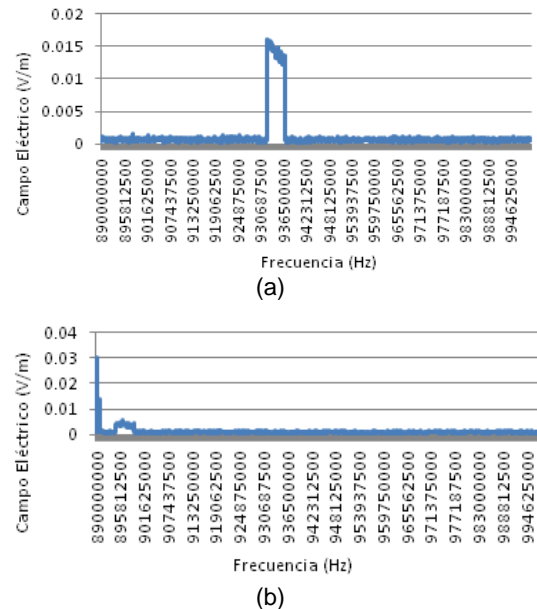


Figura 4. (a) Ruido del motor fuera de borda con una amplitud de 0.0015 V/m. (b) Cambio en amplitud y velocidad debido a un aumento en velocidad.

A continuación se modifica el rango de frecuencias (890 MHz – 994.63 MHz) para poder verificar si el ruido también está presente fuera del rango de trabajo de la etiqueta pasiva. En la Fig. 5 (b) se aumenta la velocidad dando como resultado un desplazamiento en frecuencia y reducción de amplitud en comparación con la Fig. 5 (a). En la Fig. 5 (c) se disminuye nuevamente la velocidad. El efecto es un aumento de la amplitud con un desplazamiento en frecuencia.



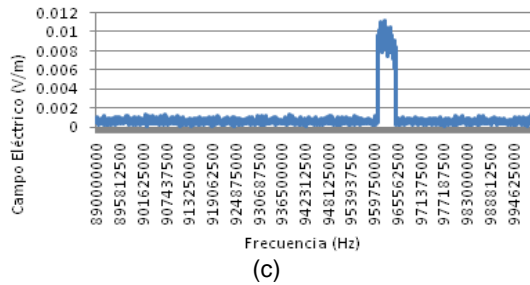


Figura 5. (a) Ruido del motor fuera de borda con amplitud de 0.015 V/m. (b) La amplitud y la frecuencia cambiaron cuando la velocidad disminuyó. (c) Cambio de la amplitud y la frecuencia al aumentar nuevamente la velocidad.

5.2. Received Signal Strength Indication (RSSI)

A continuación se presentan las tablas que muestran la RSSI promedio de tres tipos de etiquetas RFID ubicadas en dos tipos de motores fuera de borda. Las distancias mostradas en metros corresponden a la separación entre la lancha pesquera y la embarcación guardacostas.

En las tablas mostradas a continuación se muestra cómo la RSSI varía dependiendo de la distancia y de la ubicación de la etiqueta dentro del motor fuera de borda. Por ejemplo, al usar la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick sin información adherida al cobertor del motor fuera de borda de 75 HP, vemos cómo la RSSI disminuye de -701.5 ddBm a -735.6 ddBm conforme la distancia aumenta de 5 a 9 metros.

Los valores de la RSSI dependen de la etiqueta usada, a pesar que las tres etiquetas se les proporcionan teóricamente la misma potencia según la ecuación (1). Por ejemplo, a 5 metros se reciben -663.1 ddBm usando la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag y -741.05 ddBm con la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick sin información almacenada. En ambos casos se trabaja bajo las mismas condiciones, es decir el mismo motor, igual ubicación, además de recibir cada etiqueta teóricamente, de acuerdo al enlace lector-etiqueta, una potencia igual a 1.42 dBm (Tabla 2).

Es necesario recalcar el hecho de que en la mayoría de los casos, no se registró potencia alguna cuando el motor estaba en movimiento a una velocidad de 20 km/h y la etiqueta esta adherida a una superficie metálica.

Tabla 3. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick mientras el motor estaba apagado

Motor apagado			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	MERCURY 75 HP	5	-701.5
		7	-702.7
		9	-735.6
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-741.05
		7	-734.65
		9	-736.1

Tabla 4. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick mientras el motor estaba encendido

Motor encendido			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	5	-620
		7	-659.35
		9	-680.6
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-709.3
		7	-723.9
		9	-739.95

Tabla 5. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick mientras el motor en movimiento

Motor en movimiento			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	MERCURY 75 HP	5	-705.1
		7	-702.25
		9	-705.15
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-
		7	-
		9	-

Tabla 6. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick con 34 bytes almacenados en el banco de memoria User Data mientras el motor estaba apagado

Motor apagado			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	5	-654.6
		7	-679.5
		9	-691.8
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	5	-681.8
		7	-702.8
		9	-738.15

Tabla 7. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick con 34 bytes almacenados en el banco de memoria User Data mientras estaba el motor encendido

Motor encendido			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	5	-625
		7	-663.15
		9	-729.05
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	5	-711.65
		7	-698.85
		9	-721.5

Tabla 8. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick con 34 bytes almacenados en el banco de memoria User Data mientras el motor estaba en movimiento

Motor en movimiento			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	5	-675.3
		7	-697.15
		9	-709.75
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	5	718.05
		7	-719.9
		9	-714.8

Tabla 9. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag mientras el motor estaba apagado

Motor apagado			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	6	-482.15
		8	-520.7
		10	-510.85
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	6	-509.95
		8	-545.8
		10	-549.4

Tabla 10. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag mientras el motor estaba encendido

Motor encendido			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	6	-477.1
		8	-521.55
		10	-516.55
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	6	-539.3
		8	-539.15
		10	-545.3

Tabla 11. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag mientras el motor estaba en movimiento

Motor en movimiento			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (ddBm)
Cobertor	YAMAHA 150 HP	6	-518.5
		8	-483.25
		10	-535.1
Superficie plástica cercana a una metálica	YAMAHA 150 HP	6	-
		8	-
		10	-

Tabla 12. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag mientras el motor estaba apagado

Motor apagado			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (dBm)
Cobertor	MERCURY 75 HP	5	-629.85
		6	-641.75
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-663.1
		6	-660

Tabla 13. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag mientras el motor estaba encendido

Motor encendido			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (dBm)
Cobertor	MERCURY 75 HP	5	-632.5
		6	-634.95
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-664.95
		6	-660.35

Tabla 14. Mediciones de la RSSI para la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag mientras el motor estaba en movimiento

Motor en movimiento			
Ubicación	Motor	Distancia (m)	RSSI promedio (dBm)
Cobertor	MERCURY 75 HP	5	-612.2
		6	-623.05
Superficie metálica	MERCURY 75 HP	5	-
		6	-

6. Conclusiones

Un sistema RFID que trabaja en la banda de UHF puede ser usado en aplicaciones marinas donde el agua es el punto medio entre la etiqueta RFID y las antenas del lector RFID. Las condiciones adversas donde las etiquetas deben trabajar, en este caso en particular, muestran que esta tecnología puede ser usada en procesos en que los ambiente es son favorable.

Una etiqueta pasiva RFID que trabaja en la banda de UHF puede ser leída al ser adherida a un motor fuera de borda que esté encendido, inclusive superando interferencias provenientes del motor. La RSSI medida depende de la ubicación de la etiqueta dentro del motor, de la distancia, y del estado del motor. Dependiendo del material al cual la etiqueta está adherido y de los parámetros de diseño de la etiqueta como el tamaño, IC, substrato, etc. la etiqueta

proveerá mayor o menor intensidad de la señal en el enlace etiqueta-lector.

Este artículo presenta dos pruebas que aseguran que una aplicación enfocada en el control de robos de motores fuera de borda usando etiquetas pasivas RFID funcione correctamente.

En el caso del ruido de un motor fuera de borda se realizó el respectivo análisis y se concluye que no afecta en gran medida el desempeño del sistema RFID propuesto, esto es, debido a la aleatoriedad de este tipo de ruido se pueden asegurar lecturas de etiquetas RFID cuando un motor fuera de borda esté encendido.

En el caso de las pruebas que tienen que ver con la RSSI, nos muestra cuáles deben ser las condiciones más óptimas para el correcto funcionamiento de un sistema RFID enfocado en esta tipo de aplicaciones, tales como, ubicación de la etiqueta RFID dentro del motor fuera de borda, tipo de etiqueta RFID, tamaño de datos a ser grabados. La RSSI mostrada en las pruebas realizadas advierte pérdidas de potencia al adherir etiquetas RFID en superficies metálicas o al adherirlas a superficies plásticas cercanas a otras de características metálicas. La RSSI muestra que las pérdidas de potencia son notorias al realizar mediciones con etiquetas pasivas RFID que involucran diseños distintos e inclusive al grabar datos en el banco de memoria User Data poseen las etiquetas RFID.

7. Referencias

- [1] G. Astudillo, S. Herrera, C. Monsalve, "Análisis Predictivo de las Perspectivas de Uso de Identificadores por Radiofrecuencia (RFID) en el Ecuador," Jordanas de Sistemas de Telecomunicaciones 2008, Quito, May 2008.
- [2] Narda Safety Test Solutions, SMR-3000 Selective Radiation Meter Operation Manual Pfullingen, Germany, 2007.
- [3] D. Coleman, D. Westcott, CWNA: Certified Wireless Network Administrator Official Study Guide, Wiley Publishing, Inc., Indianapolis, Indiana, 2009, pp.86-90.
- [4] C. Maity, M. Vijaybabu, "RTLS in Passive RFID System," Proceedings of ASCNT – 2009, CDAC, Noida, India, pp. 194 – 203.
- [5] Mieloo & Alexander, "RFID/EPC™ in Europe," 2006, pp. 7.
- [6] M. Brown, S. Patidia, S. Dua, Comptia RFID+ Certification, Mc Graw Hill Companies, United States of America, 2007, pp. 265-267.
- [7] J. Griffin, G. Durgin, A. Haldi, B. Kippelen, "RF tag antenna Performance on Various Materials using Radio Link Budgets," Antennas and Wireless Propagation Letters, IEEE, Vol. 5, No. 1, December 2006, pp. 247-250.



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL CENTRO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA



- [8] P. Nikitin, K. V. S. Rao, "Theory and Measurement of Backscattering from RFID tags," Antennas and Propagation Magazine, IEEE, Vol. 48, No. 6, December 2006, pp. 212-218.
- [9] H. Loo et al., "Chip impedance Matching for UHF RFID Tag antenna Design," Progress In Electromagnetics Research, PIER 81, 2008, pp. 365.