

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

“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”

INFORME DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Previo a la obtención del Título de:

**INGENIERO EN ELECTRÓNICA Y
TELECOMUNICACIONES**

Presentado por:

Jorge Luis Helguero Cruz

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2009

AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi pilar fundamental y
la que logró que llegue a este punto
en mi vida: mi mamá.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

Ing. Jorge Aragundi

SUB-DECANO DE LA FIEC

PRESIDENTE

Ing. Rebeca Estrada

DIRECTOR DE TESIS

Ing. Alberto Tama

DELEGADO POR EL DECANO

DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido de este Proyecto de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”

(Reglamento de Graduación de la ESPOL)

Jorge Luis Helguero Cruz

RESUMEN

El presente trabajo consiste en el 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. La solución surgió como consecuencia de la falta de un control de inventario de motores fuera de borda, identificación in-situ y sobre todo la gran cantidad de robos de motores a este tipo de embarcaciones menores pesqueras.

La investigación se enmarca en el estudio y el uso de tecnología RFID (por sus siglas en Inglés significa Identificación por Radio Frecuencia) como posible solución de los problemas mencionados con anterioridad. Para ello se ha realizado un análisis exhaustivo sobre las condiciones en que la solución de funcionar. Los equipos fueron seleccionados de tal forma que se ajusten a las condiciones adversas a las que van a estar expuestos como son salinidad, temperatura, vibraciones e interferencias, además para su futura ubicación en las respectivas embarcaciones guardacostas y pesqueras.

El parte fundamental del proyecto son las distintas pruebas realizadas que permitirán medir el alcance y recepción de datos una vez que los equipos que forman parte de la solución sean instalados.

ÍNDICE GENERAL

| | |
|--|-----------|
| RESUMEN | V |
| ÍNDICE GENERAL | VI |
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA | 2 |
| 1.1. Antecedentes | 2 |
| 1.2. Justificación | 3 |
| 1.3. Planteamiento del problema | 5 |
| 1.4. Modelo propuesto para la solución del problema. | 6 |
| 2. TECNOLOGÍA RFID | 10 |
| 2.1. Definición de RFID. | 10 |
| 2.2. Frecuencias en que RFID opera..... | 18 |
| 2.3. Tipos de etiquetas que forman parte de un sistema RFID..... | 20 |
| 2.3.1. Etiquetas Activas | 21 |
| 2.3.2. Etiquetas Pasivas | 22 |
| 2.3.3. Etiquetas Semi-Pasivas..... | 23 |
| 2.4. Estándares internacionales que intervienen en un sistema RFID.... | 25 |
| 2.4.1. International Organization for Standardization (ISO)..... | 26 |
| 2.4.2. Electronic Product Code Global (EPCGlobal)..... | 30 |
| 3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN | 38 |
| 3.1. Descripción técnica de los lectores RFID..... | 38 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 3.1.1. | Lector fijo RFID para etiquetas pasivas | 39 |
| 3.1.2. | Lector móvil RFID para etiquetas pasivas..... | 45 |
| 3.2. | Operación del sistema | 47 |
| 3.2.1. | Ubicación de los lectores RFID en las diferentes embarcaciones guardacostas | 47 |
| 3.2.2. | Ubicación de las etiquetas RFID en los motores fuera de borda en las embarcaciones menores pesqueras | 53 |
| 4. | PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS..... | 54 |
| 4.1. | Pruebas sobre el ruido proveniente de un motor fuera de borda usando un analizador espectral | 54 |
| 4.1.1. | Pruebas de laboratorio..... | 55 |
| 4.1.2. | Pruebas de campo | 58 |
| 4.2. | Pruebas para el análisis del alcance y recepción de datos desde las etiquetas una vez ubicadas en los motores fuera de borda..... | 64 |
| 4.2.1. | Pruebas de laboratorio..... | 64 |
| 4.2.1.1. | Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado | 66 |
| 4.2.1.2. | Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido | 68 |
| 4.2.1.3. | Análisis de resultados..... | 71 |
| 4.2.2. | Pruebas de campo | 74 |

| | |
|---|----|
| 4.2.2.1. Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado de una embarcación guardacostas | 74 |
| 4.2.2.2. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado de una embarcación pesquera..... | 81 |
| 4.2.2.3. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido y sin movimiento de una embarcación pesquera. | 88 |
| 4.2.2.4. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido y en movimiento de una embarcación pesquera | 91 |
| 4.2.2.5. Análisis de resultados mediante el uso de modelos de propagación en los enlaces lector-etiqueta y etiqueta-lector..... | 93 |

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ANEXOS

ANEXO A: Especificaciones de las antenas usadas

ANEXO B: Especificaciones de las etiquetas RFID usadas

ANEXO C: Tablas de lectura proporcionadas por el lector INFINTY 510 de la frecuencia de operación y de la RSSI de un motor fuera de borda apagado de una embarcación pesquera (adjuntas en CD)

ANEXO D: Tablas de lectura proporcionadas por el lector INFINITY 510 de la frecuencia de operación y de la RSSI de un motor fuera de borda encendido y sin movimiento de una embarcación pesquera (adjuntas en CD)

ANEXO E: Tablas de lectura proporcionadas por el lector INFINITY 510 de la frecuencia de operación y de la RSSI de un motor fuera de borda encendido y en movimiento de una embarcación pesquera (adjuntas en CD)

GLOSARIO

BIBLIOGRAFÍA

ÍNDICE DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1.1: Robo de motores por jurisdicción en el 2008 | 6 |
| Figura 1.2: Robo de motores por mes durante el año 2008..... | 6 |
| Figura 1.3: Sistema RFID con una lancha guardacostas y una pesquera..... | 7 |
| Figura 1.4: Sistema RFID con una lancha guardacostas y dos pesqueras..... | 8 |
| Figura 1.5: Lancha pesquera hecha de fibra de vidrio | 8 |
| Figura 1.6: Lancha pesquera hecha de madera | 8 |
| Figura 1.7: Embarcación guardacostas del tipo PGO | 8 |
| Figura 1.8: Embarcación guardacostas del tipo PGM..... | 9 |
| Figura 1.9: Embarcación guardacostas del tipo UTB | 9 |
| Figura 1.10: Embarcación guardacostas del tipo ALBATROS | 9 |
| Figura 1.11: Posible ubicación de una etiqueta pasiva RFID | 9 |
| Figura 2.1: Componentes de una etiqueta RFID (6) | 12 |
| Figura 2.2: Ejemplo de estructura de una etiqueta pasiva (7) | 14 |
| Figura 2.3: Acoplamiento inductivo | 15 |
| Figura 2.4: Acoplamiento capacitivo (8) | 16 |
| Figura 2.5: Lectores fijos RFID (10) | 17 |
| Figura 2.6: Lector portátil RFID (10)..... | 17 |
| Figura 2.7: Etiqueta activa y sus componentes (15) | 22 |
| Figura 2.8: Etiqueta pasiva y sus componentes (15) | 23 |
| Figura 2.9: Etiqueta semi-pasiva y sus componentes (15)..... | 24 |

| | |
|---|----|
| Figura 3.1: Puertos para antenas y puerto LBT | 40 |
| Figura 3.2: Puertos del INfinity 510 y alimentación | 40 |
| Figura 3.3: Indicadores de estado del INfinity 510..... | 41 |
| Figura 3.4: Regiones y subregiones usadas por el INfinity 510 | 42 |
| Figura 3.5: Tipos de instalación dentro del RST | 43 |
| Figura 3.6: Configuración de las antenas del lector usando RCT..... | 44 |
| Figura 3.7: Configuración de frecuencia y potencia del RFS-2001..... | 46 |
| Figura 3.8: Tipos de embarcaciones guardacostas..... | 49 |
| Figura 3.9: Vista lateral de la ubicación de la antena lineal de 12 dBi | 50 |
| Figura 3.10: Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo UTB | 50 |
| Figura 3.11: Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGM | 51 |
| Figura 3.12: Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGO | 51 |
| Figura 3.13: Vista lateral de la ubicación de antena circular de 12 dBi..... | 51 |
| Figura 3.14: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo UTP | 52 |
| Figura 3.15: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGM | 52 |
| Figura 3.16: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGO | 52 |

| | |
|--|----|
| Figura 3.17: Partes más comunes para tres marcas de motores | 53 |
| Figura 4.1: Analizador de espectros junto al motor fuera de borda | 55 |
| Figura 4.2: Espectros en la banda de 900 MHz – 928 MHz en la prueba de laboratorio..... | 56 |
| Figura 4.3: Espectros en la banda de 890 MHz - 996.8 MHz en la prueba de laboratorio..... | 58 |
| Figura 4.4: Motor fuera de borda y el analizador de espectros SMR-3000 | 59 |
| Figura 4.5: Espectros en la prueba de campo sin presencia de equipos de comunicaciones | 60 |
| Figura 4.6: Espectros en la prueba de campo con presencia de equipos de comunicacione | 63 |
| Figura 4.7: Tag Performance y sus opciones de lectura | 65 |
| Figura 4.8: Lecturas en el caso de un motor fuera de borda apagado durante las pruebas de laboratorio | 67 |
| Figura 4.9: Motor fuera de borda usado y ubicaciones de la etiqueta RFID durante las pruebas de laboratorio con el motor encendido | 69 |
| Figura 4.10: Lecturas correspondientes al motor encendido durante las pruebas de laboratorio..... | 71 |
| Figura 4.11: Posición de las antenas usando lanchas ALBATROS | 76 |
| Figura 4.12: Lanchas ALBATROS y equipos RFID..... | 76 |
| Figura 4.13: Selección de antenas a usar..... | 77 |
| Figura 4.14: Ubicación de la etiqueta en el motor fuera de borda de 150 HP | 77 |

| | |
|--|----|
| Figura 4.15: Ubicación de la etiqueta en el motor fuera de borda de 115 HP | 78 |
| Figura 4.16: Lecturas durante las pruebas de campo usando lanchas guardacostas (sin cobertor) | 79 |
| Figura 4.17: Lecturas durante las pruebas de campo usando lanchas guardacostas (con cobertor)..... | 80 |
| Figura 4.18: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor apagado | 82 |
| Figura 4.19: Selección de protocolos usando el Reader Setup Wizard | 84 |
| Figura 4.20: Tag Report | 84 |
| Figura 4.21: Potencia de transmisión fijada en 330 ddBm usando RCT | 85 |
| Figura 4.22: Ubicación de la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag en un motor YAMAHA de 150 HP | 85 |
| Figura 4.23: Ubicación de la Alien H3 Metal Mount Brick en un motor YAMAHA de 150 HP | 86 |
| Figura 4.24 Ubicación de la Alien H3 Metal Mount Brick en un motor MERCURY de 75 HP | 86 |
| Figura 4.25: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor encendido | 89 |
| Figura 4.26: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor encendido y en movimiento..... | 91 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla I: Frecuencias en que RFID opera y sus características | 20 |
| Tabla II: Clasificación de las etiquetas RFID definidas por EPCGlobal | 33 |
| Tabla III: Ángulos Azimuth y de Elevación para antenas de 12 dBi | 50 |
| Tabla IV: Distancias a analizar para cada etiqueta RFID | 81 |
| Tabla V: Variaciones en la RSSI para motores apagados | 87 |
| Tabla VI: Variaciones en la RSSI para motores encendidos | 90 |
| Tabla VII: Variaciones en la RSSI para motores en movimiento..... | 93 |
| Tabla VIII: Cálculo de potencias bajo condiciones ideales..... | 96 |

INTRODUCCIÓN

La tecnología RFID (Identificación por Radio Frecuencia), es una tecnología en constante crecimiento y desarrollo que basa su funcionamiento en la radio frecuencia. Es una tecnología fácil de usar, sobre todo para operaciones automáticas ya que no requiere de línea de vista para operar, puede funcionar en variedad de condiciones ambientales, y provee altos niveles de seguridad.

El presente trabajo expone una aplicación distinta 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.

Primero se mencionan los problemas que actualmente se presentan para evitar este tipo de robos y el modelo propuesto para la solución del problema. Luego se realiza un estudio de la tecnología RFID analizando sus conceptos básicos. A continuación, se presentan las pruebas en las se analiza el ruido proveniente de un motor fuera de borda en particular, y la RSSI mediante variaciones en distancias entre las embarcaciones que tienen los equipos. Conjuntamente, se realizará el respectivo análisis teórico de niveles de potencia usando modelos de propagación.

CAPÍTULO 1

1. DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA

1.1. Antecedentes

La Armada Nacional del Ecuador, a través de La Dirección Nacional de los Espacios Acuáticos, DIRNEA, cumple con diversas tareas de control en los espacios acuáticos, uno de los problemas que afronta es la incidencia de robo de motores fuera de borda que se utilizan en alrededor de 15.406 embarcaciones menores pesqueras (1) matriculadas para navegar en las costas ecuatorianas.

La identificación de los motores fuera de borda a través de la utilización de tecnologías de punta es de vital importancia para disminuir la incidencia de los robos de estos equipos y facilitar el control que ejerce la Autoridad Marítima en sus áreas de responsabilidad.

Esta investigación marcará un ahorro futuro y un control más estricto que permita conocer en todo momento el estado de las embarcaciones y detectar robos que ocurren en las costas de nuestro país, considerando que aproximadamente 20 robos de motores ocurren cada mes y que los costos de cada motor oscilan entre los \$7.000 y \$12.000, se genera una pérdida en total entre las embarcaciones de \$140.000 a \$240.000 dólares mensuales (1).

1.2. Justificación

El proyecto de investigación es conveniente ya que permitirá establecer un control de todos los motores fuera de borda de las embarcaciones pesqueras registradas para navegar en aguas ecuatorianas. El objetivo fundamental es identificar el origen, propietario y embarcación que pertenece cada motor a fin de ejercer el control sobre los espacios acuáticos de nuestro país y disminuir la incidencia de robo de motores fuera de borda en las áreas de responsabilidad.

El gran beneficio que dará este proyecto será mejorar los controles que la Autoridad Marítima, en este caso la DIRNEA, realiza en las costas ecuatorianas, puesto que la forma como lo realiza hoy en día es ineficiente. Los guardacostas hacen rondas de inspecciones por las

costas. Al encontrar una embarcación pesquera realizan un acercamiento para una primera inspección y determinación de alguna novedad o actividad sospechosa. En caso de no presentar alguna anomalía, la embarcación sigue su trayectoria planificada. Caso contrario, el guardacostas se pega a la embarcación para hacer una revisión. Cabe recalcar que toda esta inspección es solamente visual y queda a consideración de la revisión además de la respuesta que proporcionan los pescadores de la embarcación a los guardacostas.

Para la DIRNEA resulta complicado poder tener un control sobre la identificación de los motores, visto que de fábrica el único dato que viene registrado es una etiqueta con un número de serie, que es fácilmente desplegable, y que una vez quitada esta identificación, es imposible determinar quién es el verdadero propietario del motor, a no ser que presenten documentos notariados como títulos de propiedad, factura de compra, 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. De igual manera, se dan problemas cuando los guardacostas encuentran motores y los tienen en las capitanías. Si una persona va a reclamar alguno, resulta muy complicado determinar la veracidad de la

información que presenta comparada con lo que el motor tiene físicamente como registro de serie.

Por los diversos casos presentados anteriormente, este proyecto va enmarcado en la creación de un nuevo instrumento para recolectar datos o analizarlos; es decir recolección, verificación y análisis de los mismos.

1.3. Planteamiento del problema

Para tener un mejor entendimiento sobre el gravísimo problema que afronta el sector pesquero por los robos de motores fuera de borda, este capítulo presenta estadísticas sobre los robos de motores fuera de borda en las cinco provincias del Litoral ecuatoriano. A continuación se muestran datos estadísticos proporcionados por la DIRNEA sobre los robos ocurridos durante el año 2008 (2):

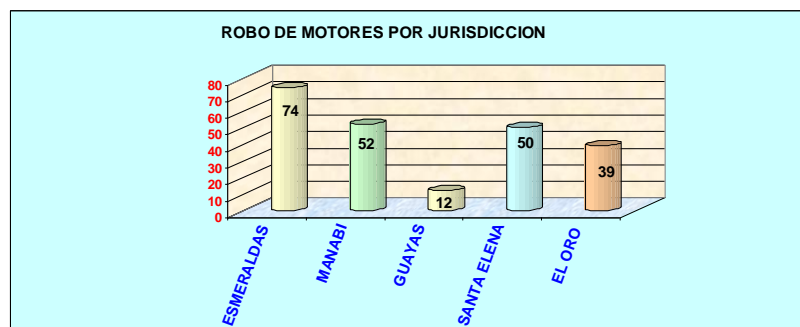


Figura 1.1: Robo de motores por jurisdicción en el 2008

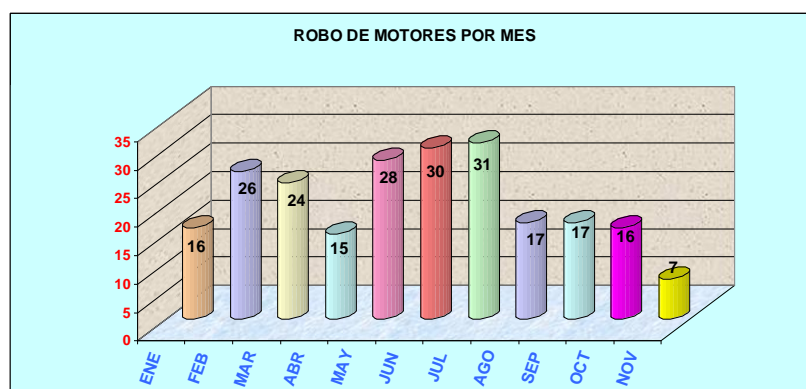


Figura 1.2: Robo de motores por mes durante el año 2008

1.4. Modelo propuesto para la solución del problema.

El modelo propuesto para la solución del problema se basa en la tecnología RFID. En sí la solución consta de un lector RFID fijo, un lector móvil y etiquetas pasivas. Ambos, lectores y etiquetas, trabajan en la banda UHF. Se optó por etiquetas pasivas ya que éstas ofrecen mayor tiempo de vida. Por el contrario, las etiquetas activas no ofrecen este tipo de ventajas. Además, éstas últimas tienen un tiempo de vida mucho menor de alrededor ya que la batería que llevan incorporada

tendría que ser cambiada y su costo es elevadísimo comparado con el de las pasivas. También se necesitaría que la etiqueta activa tenga un encapsulado especial para soportar el ambiente extremo en el que tendrían que trabajar, con lo que el precio se elevaría aún más para proteger su complejo diseño.

El sistema, como se había mencionado anteriormente, consta de un lector RFID fijo, uno móvil y de etiquetas pasivas. El lector será instalado en las lanchas guardacostas, mientras que la etiqueta será puesta en los motores fuera de borda de las embarcaciones menores pesqueras. En el capítulo 3 se mencionará la ubicación de cada componente con más detalle. A continuación se muestran esquemas y fotos sobre la ubicación de los equipos y que permitirán al lector tener una mejor idea sobre el modelo propuesto para la solución del problema

:

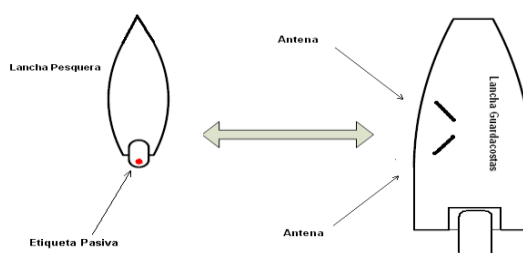


Figura 1.3: Sistema RFID con una lancha guardacostas y una pesquera

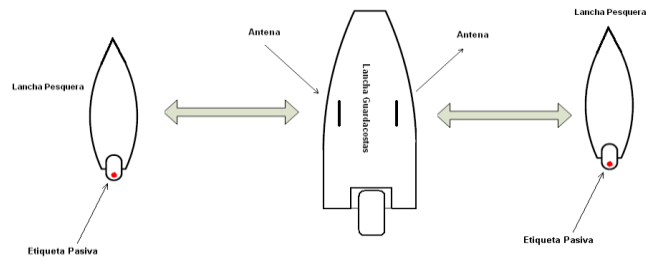


Figura 1.4: Sistema RFID con una lancha guardacostas y dos pesqueras



Figura 1.5: Lancha pesquera hecha de fibra de vidrio



Figura 1.6: Lancha pesquera hecha de madera



Figura 1.7: Embarcación guardacostas del tipo PGO



Figura 1.8: Embarcación guardacostas del tipo PGM



Figura 1.9: Embarcación guardacostas del tipo UTB



Figura 1.10: Embarcación guardacostas del tipo ALBATROS

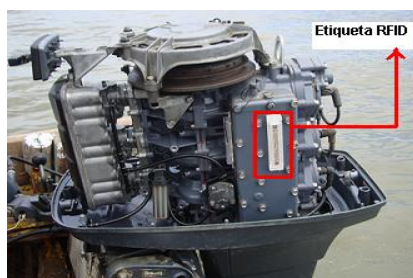


Figura 1.11: Posible ubicación de una etiqueta pasiva RFID

CAPÍTULO 2

2. Tecnología RFID

RFID es una tecnología en evolución cuyas posibilidades de desarrollo son difíciles de calcular. Esta tecnología tuvo sus orígenes en la Segunda Guerra Mundial y ya han pasado más de sesenta años desde su nacimiento y finalmente ha empezado a ganar popularidad, primeramente por la reducción en tamaño y costos de sus componentes así como también por la sofisticada funcionabilidad. Con el objetivo de ofrecer una comprensión general de esta tecnología, en este capítulo se describe los conceptos básicos de esta nueva tecnología.

2.1. Definición de RFID.

RFID hace referencia a un tipo de tecnología de intercambio inalámbrico de datos. La lectura y grabación de los datos se realiza a partir de un chip conectado a una antena que recibe señales de radio frecuencia desde un dispositivo de lectura y grabación (denominado lector,

codificador o interrogador). El intercambio de datos se produce automáticamente, sin que ningún operador tenga que intervenir para activar la lectura de RFID (3).

Un sistema RFID se compone básicamente de:

- Etiquetas RFID
- Lectores RFID
- Antenas para los lectores RFID

Etiquetas RFID

Las etiquetas RFID (comúnmente llamadas tags) son los dispositivos que se adhieren a los objetos a los cuales se les quiere dar seguimientos. Las etiquetas RFID transfieren datos al lector usando ondas de radio (4). Estas etiquetas vienen en diferentes formas para distintas aplicaciones y para distintos ambientes.

Componentes de una etiqueta RFID

Las etiquetas RFID son hechas de tres diferentes componentes: el circuito integrado (IC), la antena y el sustrato, como se muestra en la figura 2.1. Estas etiquetas las hay en vario tamaños, diseños, formas, y pueden ser hechas para aplicaciones en específico.

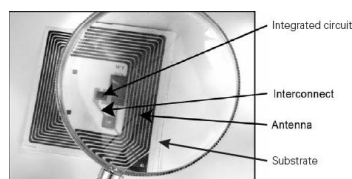


Figura 2.1: Componentes de una etiqueta RFID (6)

El circuito integrado es un dispositivo semiconductor microelectrónico que contiene muchos transistores interconectados y otros componentes (5). El circuito integrado necesita de energía para operar. Esta energía puede venir desde una batería en la etiqueta RFID (en el caso de las etiquetas RFID activas) o puede ser obtenida desde la energía radiada por la antena del lector RFID (en el caso de las etiquetas RFID pasivas). Las etiquetas usan memorias del tipo EEPROM. Este tipo de memorias no necesitan que se les proporcione energía de forma continua para almacenar datos. Por lo tanto, el dato almacenado puede ser retenido por muchos años (6). La mayoría de los fabricantes se enfocan en la implementación de integrados que cumplan con el estándar EPC Class1 Gen2.

La antena es la parte más larga de una etiqueta RFID y es conectada al circuito integrado de la etiqueta. La antena recibe la señal desde el lector, y dependiendo del tipo de etiqueta, transmitirá o reflejará la señal recibida. Para las etiquetas activas, la señal se transmite, y para etiquetas semi-pasivas y pasivas, la señal se refleja. Para las etiquetas

de tipo pasivas, la antena recoge energía desde la onda de radio y la suministra al circuito integrado.

En cuanto al encapsulamiento de la etiqueta el proceso básico consiste primero en el uso de un sustrato el cual puede ser hecho de PVC, polímeros, poliéster, papel, entre otros. El sustrato sostiene todos los componentes de la etiqueta. La antena de la etiqueta es depositada en el sustrato, y luego el circuito integrado es luego adherido a la antena. El sustrato debe proveer durabilidad y estabilidad bajo varias condiciones de operación, protección mecánica para la antena, al circuito integrado y para la conexión entre estos dos. Los fabricantes de circuitos integrados juntan una almohadilla conductiva a cada conexión del circuito integrado. Esta almohadilla es más grande que el circuito integrado y proveen un área más grande para que la antena pueda ser adherida. A la unión de esta almohadilla conductiva con el circuito integrado es llamada *strap*. Finalmente, se tiene lo que se denomina un *inlay*, el cual es prácticamente una etiqueta o *tag*. Un *inlay* consiste de un circuito integrado, una antena, y sustrato. Los *inlays* son comúnmente encapsulados dentro de una envoltura dura. Esta envoltura es hecha de materiales que permitan pasar las ondas de radio, tales como: Polipropileno (PP), Poliacetato (POM), Policarbonato

(PC), entre otros, La función principal de esta envoltura es proteger al *inlay* del medio en el cual se encuentre (6).

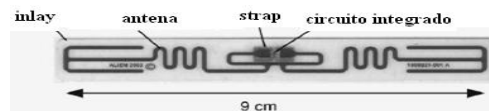


Figura 2.2: Ejemplo de estructura de una etiqueta pasiva (7)

Comunicación de las etiquetas RFID

La tipo de comunicación que emplean las etiquetas RFID depende del tipo. Las etiquetas de tipo activas tienen un transmisor que les permiten comunicarse de otra forma con el lector. Las de tipo pasivas y semi-pasivas usan otros métodos de comunicación con el lector debido a su naturaleza. Según la banda de frecuencia utilizada en la transmisión, la comunicación entre el lector y la etiqueta se realiza de distinta forma:

- Acoplamiento inductivo (Inductive Coupling)
- Acoplamiento capacitivo (Passive Backscatter)

Acoplamiento inductivo

Este tipo acoplamiento es usado con por las etiquetas pasivas que trabajan en las frecuencias bajas y altas, LF y HF respectivamente y basan su funcionamiento en la inducción electromagnética, como en el caso de los transformadores. Para estos tipos de sistemas que operan

bajo acoplamiento inductivo las distancias de lecturas son muy pequeñas. Aproximadamente, la zona de lectura termina para distancias mayores a $\lambda/2\pi$, donde λ es la longitud de onda de la frecuencia de operación. Más allá de esta distancia, el campo magnético es reducido tan rápido que la etiqueta no puede ser alimentada (8). En estos tipos de sistemas no hay propagación electromagnética.

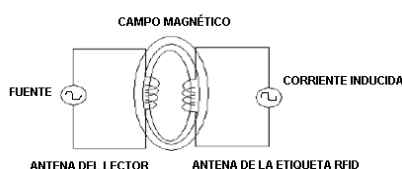


Figura 2.3: Acoplamiento inductivo

Acoplamiento capacitivo

El acoplamiento capacitivo es usado para etiquetas que trabajan en frecuencias ultra altas (UHF) y para las microondas. Estas etiquetas usan similares técnicas de comunicación (AM) que en el acoplamiento inductivo. La gran diferencia es la forma en que la energía es transferida (9). En este tipo de acoplamiento el lector transmite una señal de radiofrecuencia que además de alimentar a la etiqueta, ésta la recibe, modula y refleja de nuevo hacia el lector.

La distancia de lectura es mucho mayor que si se emplea un acoplamiento inductivo, pero el principal problema es que la señal que

proviene del lector también es reflejada por objetos con dimensiones iguales o mayores a media longitud onda (8,9).

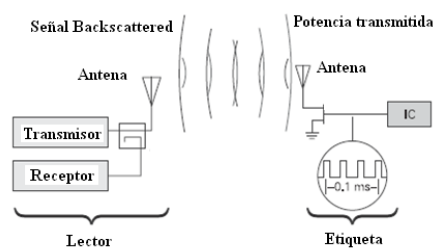


Figura 2.4: Acoplamiento capacitivo (8)

Lectores RFID

Un lector RFID es un dispositivo que puede leer datos almacenados en las etiquetas RFID y también escribirlos. En el caso específico de las etiquetas de tipos pasivas y semi-pasivas, los lectores son los responsables de alimentar o energizar a estas etiquetas (10). Es decir, los lectores RFID identifican y se comunican con las etiquetas.

Tipos de lectores RFID

Básicamente existen dos tipos de lectores RFID, los lectores fijos y los lectores móviles. Los hay en múltiples formatos y dependiendo de la aplicación o el tipo de proyecto que se esté ejecutando su uso será distinto.

Los lectores fijos son usados para aplicaciones en que se necesitan realizar múltiple lecturas en determinado instante de tiempo o cuando de por medio la distancia es un factor fundamental en el proceso de lecturas de etiquetas RFID. Se puede montar un lector fijo para que pueda leer etiquetas que pasan a través de puertas, cintas transportadoras, muelles de carga, portones y en muchas otras áreas.



Figura 2.5: Lectores fijos RFID (10)

Los de tipo portátiles son usados para leer o escribir etiquetas que se encuentran en lugares remotos o de difícil acceso para que puedan ser leídos por un dispositivo fijo. Son usados para con más frecuencia para lecturas o escrituras de cantidades bajas. Hay que recalcar que la distancia de lectura es mucho menor a la de lectores fijos.



Figura 2.6: Lector portátil RFID (10)

Antenas de lectores RFID

Cada etiqueta RFID tiene su antena y cada lector tiene una antena integrada o una de tipo externa. Una antena de un lector RFID tiene dos funciones (11):

- Transmitir la señal de radio hacia la etiqueta RFID.
- Recibir la señal codificada transmitida o reflejada por la etiqueta RFID.

Las antenas de los lectores RFID son también llamadas elementos acopladores porque crean un campo electromagnético que permitirá la comunicación (acoplamiento) con la etiqueta RFID. Por lo tanto, un correcto posicionamiento de las antenas es esencial para obtener lecturas más precisas, además de tener conocimiento de los parámetros de diseño, tales como impedancia y VSWR, patrón de radiación, polarización y la ganancia.

2.2. Frecuencias en que RFID opera

Las etiquetas RFID son categorizadas según la frecuencia a la cual son diseñados. Cuatro son las principales frecuencias localizadas por varias autoridades gubernamentales para usar sistemas RFID:

- Frecuencia Baja (LF)
- Frecuencia Alta (HF)
- Frecuencia Ultra Alta (UHF)
- Microondas

Todos estos rangos de frecuencias son parte de las bandas de frecuencias llamadas ISM, las cuales fueron originalmente reservadas para uso no comercial. La tabla I da una breve explicación de cada frecuencia de trabajo (12,13).

Tabla I: Frecuencias en que RFID opera y sus características

| Frecuencia de Operación | Rango de Frecuencia usado en RFID | Rango de Lectura | Características Generales |
|-------------------------|--|---|---|
| LF | 125 KHz y 134 KHz (Rango de frecuencias aceptado mundialmente) | < 0.5 m | Las etiquetas son de tipo pasivas. Usan acoplamiento inductivo. Tienen una tasa de transferencia de datos baja. Tienen un buen desempeño al trabajar en ambientes que contienen metales y líquidos. |
| HF | 13.56 MHz (Rango de frecuencias aceptado mundialmente) | < 1.5 m | Las etiquetas son de tipo pasivas. Usan acoplamiento inductivo. Tienen una tasa de transferencia de datos baja, pero mejor que en LF. Tienen un buen desempeño en presencia de líquidos y metales. |
| UHF | 433 MHz y 860-960 MHz (El rango de frecuencias no están bien definido) | < 12 m | Se usan etiquetas activas (433 MHz), semipasivas y pasivas (860-960 MHz). Estas últimas trabajan con acoplamiento capacitivo. Tienen una alta transferencia de datos, pero un mal desempeño en presencia de metales y líquidos. |
| Microondas | 2.4 GHz y 5.8 GHz | <12 m (pasivas), < 30 m (semi-pasivas), < 100 m (activas) | Se usan etiquetas activas, semi-pasivas y pasivas. Tienen buen desempeño frente a metales, pero son susceptibles a interferencias. |

2.3. Tipos de etiquetas que forman parte de un sistema RFID

Las etiquetas RFID pueden ser clasificadas de distintas formas. Por ejemplo, por la frecuencia de operación que usan como ya se ha visto.

También pueden ser categorizadas de acuerdo al acceso a la memoria. Esto quiere decir que pueden ser de sólo lectura (RO), escritas una vez y múltiples lecturas (WORM) y finalmente, escritura y lectura múltiple. Pero sin duda alguna la clasificación más común depende de cómo las etiquetas obtienen la alimentación para su funcionamiento y desde luego cómo la usan. Según esto las etiquetas RFID se clasifican en:

- Etiquetas Activas
- Etiquetas Pasivas
- Etiquetas Semi-Pasivas

2.3.1. Etiquetas Activas

Este tipo de etiquetas tienen su alimentación propia, usualmente una batería y un transmisor activo (14). La batería es usada para energizar su circuito integrado y para la transmisión. El hecho de tener una batería hace que este tipo de etiquetas sean más grandes, pesadas y costosas. No necesitan energía procedente del lector para la transmisión de sus datos y algunos casos no necesitan un lector. Su rango de lectura es de aproximadamente 90 a 225 metros. El rango de lectura depende de la batería y del tipo de transmisor. Las etiquetas activas pueden comunicarse con otras etiquetas activas con o sin la presencia de un lector y no se comunican con etiquetas pasivas o semi-pasivas. Pueden

ser configuradas para que trabajen en modo de reposo en el cual se usa muy poca energía de la batería y no transmiten datos y al momento de recibir una señal en específico, se activa y transmite sus datos. Un microchip, una antena, la alimentación y la tarjeta electrónica son las partes de este tipo de etiquetas, como se puede apreciar en la figura 2.7.

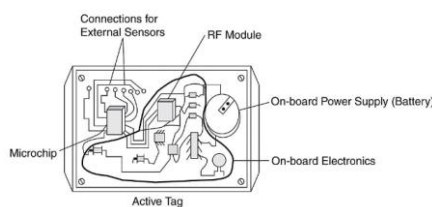


Figura 2.7: Etiqueta activa y sus componentes (15)

2.3.2. Etiquetas Pasivas

Una etiqueta pasiva no tiene su propia fuente de energía y por lo tanto no tiene una batería. La etiqueta obtiene la energía de las ondas de radio que provienen del lector. Esta energía es pequeña, lo suficiente para energizar su circuito integrado, por lo que sus funcionalidades son limitadas. El punto a favor de la ausencia de un transmisor es que las etiquetas pasivas no contribuyen al nivel de ruido (14). Para comunicarse con el lector, operan a bajas y altas frecuencias usando acoplamiento inductivo, mientras que las que operan por encima de las

frecuencias altas usan acoplamiento capacitivo. Constan básicamente de un circuito integrado y una antena.

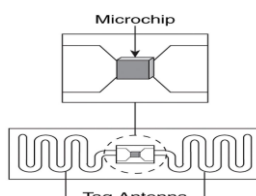


Figura 2.8: Etiqueta pasiva y sus componentes (15)

Cuando una etiqueta pasiva no está dentro de la zona de cobertura de las antenas, la etiqueta no tiene energía para operar y no hace nada. Son de diseño sencillo y más barato si las comparamos con las etiquetas activas y semi-pasivas.

2.3.3. Etiquetas Semi-Pasivas

Las etiquetas semi-pasivas también son llamadas etiquetas semi-activas, etiquetas pasivas asistidas por batería. Este tipo de etiquetas tienen una batería que alimenta al circuito integrado. Al igual que las etiquetas pasivas no tienen un transmisor activo. Usan acoplamiento capacitivo (backscatter) para comunicarse con el lector. Debido a que no tienen un transmisor, no contribuyen al nivel de ruido (14). Proveen un mayor rango de lectura que una etiqueta pasiva y pueden incluir sensores.

El factor limitante para un rango de lectura más grande en las etiquetas pasivas es cuán lejos están de la antena del lector. Teniendo este en mente, si se añade una batería para energizar al circuito integrado, se puede extender el rango de lectura. Este es la principal razón por la cual las etiquetas semi-pasivas usan una batería. La segunda razón es que se pueden añadir un sensor ambiental. Este tipo de sensores requieren que se suministre una alimentación continua y más alta que la que se proporciona al circuito integrado. Los sensores pueden tomar datos y transmitirlos cuando la etiqueta pretenda ser leída por el lector. Pueden permitir tomar datos de temperatura, presión, humedad relativa, aceleración, vibración, movimiento, altitud. La batería crea problemas a este tipo de etiquetas como mayor peso, mayor tamaño, mayor costo, tiempo de vida corto y sensible a la temperatura.

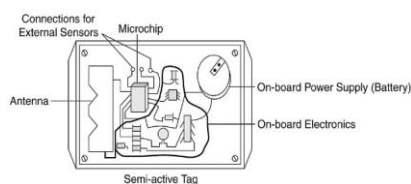


Figura 2.9: Etiqueta semi-pasiva y sus componentes (15)

Hay tipo de etiquetas semi-pasivas que tienen integrada la batería. En este caso si la etiqueta deja de funcionar quiere decir que la batería también lo ha hecho. Si la batería es reemplazable, significará que la etiqueta será más grande y pesada. Las baterías en este tipo de

etiquetas tienen un tiempo de vida de 2 a 7 años, pero si son usadas con frecuencia, el tiempo de vida puede ser menor.

2.4. Estándares internacionales que intervienen en un sistema RFID

En los primeros días RFID, existía la idea errónea de que RFID se trataba de una tecnología que carecía de normas. Actualmente hay numerosas normas que garantizan la diversidad de frecuencias y aplicaciones. La Organización Internacional de Estándares (ISO) y EPCglobal Inc. son dos de las organizaciones de normas más importantes en RFID. Los estándares se los puede clasificar en cuatro tipos (16):

- Protocolos de interfaz de aire, que describen la manera en que los lectores y las etiquetas se comunican unos con otros. ISO 18000.
- El contenido de los datos, que describen cómo los datos están organizados.
- Conformidad, que contienen las pruebas que garanticen que los equipos de RFID cumplen las normas.

- Aplicaciones, las cuales explican cómo éstas son usadas en un sistema RFID.

2.4.1. International Organization for Standardization (ISO)

Estándares de protocolos de interfaz aérea:

ISO 18000: Define estándares para la interfaz aérea entre el lector y las etiquetas en varias frecuencias.

Estándares para el contenido de dato:

ISO/IEC 15424: Portadora de datos/Identificador de simbología.

ISO/IEC 15418: Identificadores de identificación y de datos.

ISO/IEC 15434: Sintaxis para medios ADC de alta capacidad.

ISO/IEC 15459: Placa para la transportación (licencia).

ISO/IEC 24721: Identificación única.

ISO/IEC 15961: Protocolo de datos: Interfaz para aplicación.

ISO/IEC 15962: Protocolo de datos: Reglas para la codificación de datos y funciones de memoria lógica.

ISO/IEC 15963: Identificación única para etiquetas de radio frecuencia.

Estándares de conformidad:

ISO/IEC 18046 y 18047: Métodos de pruebas para el desempeño de dispositivos RFID.

Estándares para aplicaciones:

ISO 10374 y 18185: Contenedores de carga.

ISO 11784: Identificación por radio frecuencia para animales (estructura de código).

ISO 11785: Identificación por radio frecuencia para animales (conceptos técnicos).

ISO 14223-1: Identificación por radio frecuencia para animales: Transpondedores avanzados parte 1: Interfaz aérea.

ISO 21007-1 y 21007-2: Cilindros de gas.

ISO 122/104 JWG: Aplicaciones para la cadena de suministros usando RFID.

Serie ISO 18000 para la definición de la interfaz aérea

La serie ISO/IEC 18000 tiene 7 partes y trata protocolos de interfaz aérea. La interfaz aérea comprende algoritmos de anticollisión que hacen frente a ambientes congestionados así como también modulaciones y demodulaciones. Abarcan las principales frecuencias utilizadas en los sistemas RFID en todo el mundo. Las siete partes son (17,18):

ISO 18000–1: Establece los parámetros genéricos para todas las frecuencias de RFID globalmente aceptados.

ISO 18000–2: Especifica parámetros para la interfaz aérea entre el lector y la etiqueta por debajo de los 135 kHz de frecuencia. En este estándar hay dos tipos de etiquetas: la Tipo-A y la Tipo-B. El Tipo A, operan usando comunicación FDX y trabajan a 125 kHz. El Tipo B opera a 134,2 kHz usando comunicación HDX.

ISO 18000-3: Este estándar provee parámetros para la interfaz de comunicación aérea en la frecuencia de 13,56 MHz. y tiene dos modos no interoperables de funcionamiento y ambos requieren una licencia de propiedad intelectual.

ISO 18000-4: Este estándar define el protocolo de comunicaciones usado en la interfaz aérea para dispositivos RFID que trabajan a 2.45 GHz. También dispone de 2 modos de funcionamiento - uno para el modo pasivo, donde el lector habla primero y uno para el modo activo donde la etiqueta habla primero. El modo pasivo está por debajo de los 3 pies ó 1 metro mientras que el modo activo tiene 100 veces más alcance.

ISO 18000-5: Este estándar define el protocolo de comunicaciones usado en la interfaz aérea para dispositivos RFID que operan a 5.8 GHz, pero debido al poco uso y el poco interés en usar sistemas RFID que trabajen a esta frecuencia, este estándar fue retirado.

ISO 18000-6: Este estándar describe la interacción física entre el lector y la etiqueta, los protocolos y comandos para sistemas RFID que operan dentro de la banda 860 - 960 MHz. Permite la utilización de diferentes frecuencias en las diferentes regiones de todo el mundo. Este estándar

describe tres tipos no compatibles: A, B y C. Las versiones A y B dan cabida a una amplia gama de aplicaciones y la versión C es equivalente al estándar EPC Class 1 Gen 2.

ISO 18000-7: Define la interfaz aérea etiquetas activas que trabajan en la banda de 433 MHz. Tiene un uso muy limitado y es utilizado actualmente por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos para el seguimiento de contenedores y la Unión Postal Universal. Esta frecuencia tiene un rango muy largo (más de 90 metros) y es de muy alto en costo, en parte debido al bajo número de implementaciones.

2.4.2. Electronic Product Code Global (EPCGlobal)

EPCGlobal una organización sin fines de lucro basada en el consenso que funciona como un consorcio de compañías tecnologías. Lidera el desarrollo de la industria a escala mundial de normas para el Código Electrónico de Producto (EPC por sus siglas en inglés) para poder dar soporte al uso de la tecnología RFID a nivel mundial de forma ética y responsable.

Código Electrónico de Producto (EPC)

Brevemente, el EPC (Electronic Product Code) es el código numérico estandarizado que identifica de forma unívoca un objeto. Este código no contiene ninguna información específica sobre el objeto al que etiqueta; toda la información asociada a un código EPC se encuentra en la “EPCGlobal Network”, accesible sólo a los usuarios autorizados (19). Al igual que el Código Universal de Productos (UPC) del código de barras, el Código Electrónico de Producto (EPC) es el código utilizado para identificar el fabricante y la versión de un producto. Se podría decir que es la evolución del código UPC.

Estructura del Código Electrónico de Producto (EPC)

La estructura del Código Electrónico de Producto (EPC) está formada por 4 campos (escritos en el sistema hexadecimal), los cuales son una secuencia de bits. Los campos que forman la estructura del código EPC son (20):

- Header: Identifica la longitud, el tipo, la estructura, la versión y la generación del código EPC.
- EPC Manager: Identifica la compañía.

- Object Class: Identifica el producto, similar al número de referencia SKU. Por ejemplo, una cola de dieta en versión americana.
- Serial Number: El cual es único, nos puede decir, por ejemplo, exactamente a cuál lata de 330 ml de alguna bebida nos estamos refiriendo.

Clases de etiquetas definidas por EPCGlobal

EPCGlobal define clases de etiquetas de acuerdo a la habilidad que tienen éstas para leer o escribir datos (21,22):

Tabla II: Clasificación de las etiquetas RFID definidas por EPCGlobal

| Clase | Características Generales |
|--------------|--|
| Clase 0 | Es una etiqueta pasiva, sólo de lectura. Es fabricada con un código EPC único. |
| Clase 0+ | Tiene las mismas características que la Clase 0 con la diferencia que incluyen la opción de poder ser escritas una vez y leídas muchas veces o WORM |
| Clase 1 | Es una etiqueta pasiva que se comunica usando acoplamiento capacitivo. Las que pertenecen a la Generación 1 son etiquetas de tipo WORM y las correspondiente a la Generación 2 son etiquetas WMRM. |
| Clase 2 | Son etiquetas pasivas que funcionan usando acoplamiento capacitivo como las de la Clase 0 y Clase 1. Tienen más capacidad de memoria de hasta 65 KB para lectura/escritura. |
| Clase 3 | Son etiquetas semi-pasivas. Tienen capacidad de hasta 65 KB para lectura/escritura. |
| Clase 4 | Son etiquetas activas. |
| Clase 5 | Son etiquetas activas que tienen la habilidad de comunicarse con otros dispositivos y con las mismas etiquetas de la Clase 5. También permiten establecer comunicación con todas las otras clases. |

EPCGlobal Generación 1

La Generación 1 hace referencia a la etiquetas Clase 0 y Clase 1 mencionadas anteriormente. La documentación de relacionada con los estándares nunca fue completamente desarrollada o ratificada por EPCGlobal.

Esta Generación hace hincapié en la simplicidad y el bajo costo. La Generación 1, también llamada Gen 1, proveyó las pautas para las

características de funcionamiento de los lectores y las etiquetas, frecuencias, las normas de emisiones, métodos anti-colisión (para hacer frente a la discordia cuando se consideran varias etiquetas vistas simultáneamente por el lector), y prácticas de transmisión de datos segura (23).

Las etiquetas Clase 0 y la Clase 1 no eran compatibles entre sí y no había camino a seguir para hacer etiquetas de clase superior que tengan la compatibilidad con versiones anteriores, además no eran compatible con los estándares ISO (24,25). Al mismo tiempo, algunos usuarios estaban sugiriendo que las especificaciones para la Clase 0 y la Clase 1 eran insuficientes para sus necesidades. Así que EPCGlobal decidió pasar a una siguiente generación de etiquetas EPC, con lo que prácticamente la Generación 1 ha sido abandonada y poca gente la sigue usando.

EPCGlobal Generación 2

Este estándar es también llamado Gen 2, C1G2 (Clase 1 Generación 2). Fue desarrollado por EPCGlobal Inc. y fue aprobado como estándar ISO18000 6-C en Julio del 2006. Este estándar define parámetros para la interfaz aérea (comunicación entre la etiqueta RFID y el lector) para la operación de etiquetas dentro del rango de frecuencias de 860-960

MHz, con lo que la etiqueta será capaz de operar en cualquier parte del mundo dentro de esa banda (17).

Dependiendo de la banda de frecuencia, el nivel de potencia, la tecnología de transmisión, todas ellas usados por el lector RFID que trabaje bajo este estándar, cambiarán. Por ejemplo, en Europa y África, el rango de frecuencia es 865-868 MHz, 2 W ERP, usando la técnica de comunicación LBT. En Estados Unidos, el rango de operación es 902-928 MHz, a 4 W EIRP, bajo la técnica de transmisión llamada FHSS (26).

Las etiquetas que trabajen bajo este estándar deben entender tres esquemas de modulación. Uno de estos esquemas será seleccionado por el lector y enviado a la etiqueta. La selección se hará en base a los propios parámetros de operación del lector, como regulaciones, ruido recibido o incluso de acuerdo a lo establecido por el operador del lector.

Los tres esquemas son:

- DSB-ASK
- SSB-ASK
- PR-ASK

El dato enviado a la etiqueta por el lector es codificado usando el esquema conocido como PIE, el cual permite cambiar la duración del bit 0, también llamado Tari. La duración del bit 1 es 50% más largo. Esto permite variar la tasa de datos hasta 640 kbits (27). Las etiquetas son identificadas dentro de un conjunto de etiquetas, usando protocolos de anticolisión, el cual es llamado el protocolo Q (17).

La etiqueta responde al lector usando dos esquemas de modulación, ASK o PSK (Phase Shift Keying). Cualquier esquema puede ser seleccionado por el operador del lector. El esquema para codificar los datos son FM0, la cual es más rápida, pero cuando el ruido aumenta se puede cambiar a la codificación Miller, la cual optimiza el funcionamiento cuando hay mucho ruido en el ambiente o muchos lectores RFID presentes, pero hará que el número de etiquetas leídas por segundo disminuya (17, 27).

La memoria de la etiqueta es dividida en 4 bancos (17):

- Memoria Reservada (Banco 0): Este banco contiene claves de acceso y aniquilamiento para la etiqueta.

- Memoria para el código EPC (Banco 1): Contiene Chequeo de Redundancia Cíclica (CRC-16), un Protocolo de Control (PC) y el código EPC.
- Memoria para TID (Banco 2): Contiene el TID. Tiene un identificador basado en el estándar ISO 15963. Este banco no es re escribible.
- Memoria para datos del usuario (Banco 3): Aquí se permiten grabar datos ingresados por el usuario.

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO DE LA SOLUCIÓN

El diseño de la solución está enfocado en el uso de equipos RFID que trabajan dentro de la banda de las frecuencias ultra altas (UHF) en el espectro radio eléctrico mediante el uso de lectores fijos, móviles y etiquetas que trabajan en dichas frecuencias. A continuación se presentará una breve descripción de los lectores RFID seleccionados además de sus respectivas ubicaciones tanto para los lectores en las embarcaciones guardacostas como para las etiquetas pasivas en los motores fuera de borda de las embarcaciones menores pesqueras.

3.1. Descripción técnica de los lectores RFID

La descripción se realiza en base a criterios básicos como las características de hardware, y software de ambos lectores, así como también las especificaciones de cada uno de ellos. Es necesario

establecer todos estos parámetros para así tener una mejor comprensión del funcionamiento de los equipos.

3.1.1. Lector fijo RFID para etiquetas pasivas

El lector fijo usado para la lectura de etiquetas pasivas RFID en la banda de UHF es el INfinity 510. El INfinity 510 es diseñado por la empresa SIRIT Inc., la cual es empresa líder en el diseño de lectores para identificación por radio frecuencia. El INfinity 510 tiene un excelente desempeño en distintas pruebas en las que se compara el funcionamiento de este lector versus lectores fijos de otras (28). Este lector es uno de los mejores en el mercado hoy en día.

Descripción General

Las características básicas de hardware y software del INfinity 510 son descritas para un mejor conocimiento del funcionamiento de este lector, ya que en el capítulo 4, éstas son usadas en la obtención de las respectivas mediciones usando este equipo. Todas ellas fueron tomadas del manual (29).

Hardware

El INfinity 510 es un sistema de RFID que opera en la banda UHF de 860-960 MHz. Este lector soporta hasta cuatro antenas para la transmisión/recepción y una antena LBT, además de ser equipado con interfaces serial y Ethernet. También incluye entrada o salidas digitales de propósito general.



Figura 3.1: Puertos para antenas y puerto LBT



Figura 3.2: Puertos del INfinity 510 y alimentación

Posee cuatro indicadores de estado (LEDs). Un indicador (POWER) permite conocer si está energizado. FAULT indica si ha ocurrido una falla. TRANSMIT indica si el transmisor del lector está funcionando. SENSE indica si el lector ha detectado alguna etiqueta.



Figura 3.3: Indicadores de estado del INfinity 510

Entre las características eléctricas y ambientales el INfinity 510 necesita un voltaje de entrada de 12 a 24 Vdc (consumo de 60 W) y opera en un rango de temperatura de -20 °C a 55 °C bajo una humedad relativa del 5% al 95 % (sin condensación).

Software

El INfinity 510 tiene dos aplicaciones de software que pueden ser usadas para configurar y controlar este lector. Estas aplicaciones son:

- Reader Startup Tool (RST)
- Embedded Reader Configuration Tool (RCT)

Reader Startup Tool (RST)

La aplicación Reader Startup Tool es una aplicación de Microsoft Windows que se instala en el computador. Esta aplicación permite ver los lectores en la red y modificar las configuraciones de la misma. Las características principales que posee esta aplicación y las usadas dentro de la adquisición de datos son:

- Seleccionar las regiones y subregiones: Por ejemplo la región FCC o ETSI. Dentro de la FCC tenemos 4 subregiones, las cuales son FCC_A, FCC_B, FCC_C y FCC_Dense. Cada subregión usa 50 canales de 200 KHz cada uno. Lo que difiere es el rango de frecuencia en el que se trabaja. Cada subregión será usada de acuerdo al nivel de interferencia presente en el ambiente.

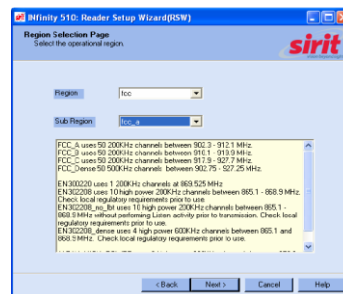


Figura 3.4: Regiones y subregiones usadas por el INfinity 510

- Permite seleccionar el tipo de instalación según el tipo de mediciones que se pretende hacer o la que más se ajusta a las circunstancias. Estos tipos de instalación son: Portal, Conveyor Belt, Point of Sale y Label Applicator.

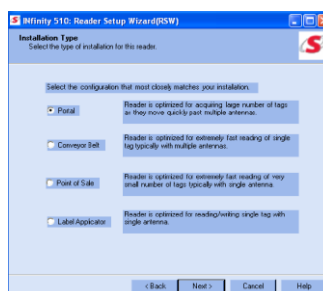


Figura 3.5: Tipos de instalación dentro del RST

- Opción a seleccionar dos tipos de protocolos: ISOC-EPC1 Gen2 e ISOB.
- Opción para seleccionar las antenas con las cuales se desea trabajar y el número aproximado de etiquetas a ser leídas.
- Muestra el número de veces que una o varias etiquetas fueron leídas. Esta aplicación presenta dos opciones, Scan Operation y Polling. En la primera se establece un tiempo de lectura. En la segunda se puede establecer el tiempo de lectura o establecer una lectura continua y detenerla cuando el usuario desee. La gran diferencia entre Scan Operation y Polling es que ésta segunda opción permite lecturas en tiempo real, mientras que la primera las muestra una vez que el tiempo de lectura ha terminado.

- Lectura de los campos de la memoria de una etiqueta: Kill Code, Access Code, Tag Id, TID, User Data.
- Capacidad para recibir información específica de una etiqueta, como por ejemplo la potencia que una etiqueta envía de regreso al lector (RSSI) en ddBm¹, la frecuencia usada para la comunicación y la potencia fijada en el lector.

Embedded Reader Configuration Tool (RCT)

Esta es una aplicación embebida que permite al usuario acceder al lector a través del Internet. Esta aplicación permite realizar las mismas opciones que la aplicación RST mencionada anteriormente. Unas de las opciones que permite hacer con mayor facilidad es la configuración de las antenas del lector.

| Name | Value | ? |
|-------------------|-------|---|
| Detected Antennas | 1234 | ? |
| Print Count | 4 | ? |
| Max Sequence | 1234 | ? |

1 2 3 4

This table provides information related to a selected antenna.

| Name | Value | ? |
|--------------------------|-------|---|
| Conducted Power | 0 | ? |
| Attenuation | 0 | ? |
| Cable Loss | 19 | ? |
| Gain | 50 | ? |
| Gain Units | dbdc | ? |
| Computed Conducted Power | 319 | ? |

Figura 3.6: Configuración de las antenas del lector usando RCT

¹ Para convertir de dBm a ddBm se debe multiplicar por 10. Para convertir de ddBm a dBm se debe dividir para 10

En la figura 3.6 se muestra la interfaz que permite la configuración de las antenas. El INfinity 510 permite que el usuario ingrese la potencia suministrada a las antenas (Conducted Power) o que el mismo lector calcule esta misma potencia (Computed Conducted Power). Cuando el lector calcula la potencia, es necesario que se ingrese la atenuación (Attenuation), pérdida de los cables coaxiales (Cable Loss), la ganancia de las antenas (Gain) y la unidad de esta ganancia (Gain Units). Una vez ingresado estos datos, el lector calculará la potencia de acuerdo a la región y subregión que se haya seleccionado previamente. El INfinity 510 tiene la habilidad de compensar pérdidas del sistema y puede suministrar a cada antena hasta 33 dBm (2 W) cuando los parámetros anteriormente mencionados son configurados apropiadamente.

3.1.2. Lector móvil RFID para etiquetas pasivas

El lector móvil RFS-2001 es un lector de uso comercial que permite realizar lecturas/escrituras. Trabaja en la banda de UHF bajo el estándar EPC Gen2 e ISO 18000-6B. Por su característica de ser un lector portable facilita el control de inventarios y bienes en centro de almacenamientos y cadena de suministros.

Descripción General

Las características más relevantes de hardware y software serán descritas a (30).

Hardware y Software

El lector RFS-2001 es un lector portátil RFID que trabaja en el banda 865-956 MHz de UHF. Trabaja usando el esquema de modulación FHSS. Tiene la opción de fijar la frecuencia de trabajo mediante software, con la cual permite al usuario trabajar usando una sola portadora o dentro de un rango de frecuencias. La potencia puede ser ajustada por el usuario vía software, con la capacidad de variarla desde de 20 a 30 dBm.

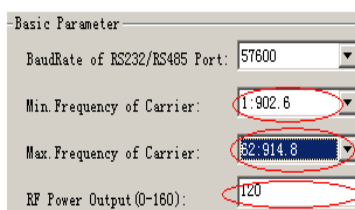


Figura 3.7: Configuración de frecuencia y potencia del RFS-2001

Opera bajo alimentación de baterías de Litio recargable que proporcionen un voltaje de 3.7 V. Otra de las características más relevantes es que es a prueba de polvo y agua, ya está diseñado bajo el

estándar IP54. El rango de temperatura a la cual puede trabajar es de 0 y 50 °C, bajo humedad relativa del 95 %.

3.2. Operación del sistema

La operación del sistema consiste en la descripción de la ubicación de los lectores RFID dentro de las embarcaciones guardacostas, ya sea para el lector portátil como para el lector fijo. La operación del sistema también se fundamenta en la localización que se dará a las etiquetas pasivas RFID dentro de los motores de borda, basado en las partes más comunes de éstos y en los que presenten mayores ventajas para las lecturas desde las embarcaciones guardacostas.

3.2.1. Ubicación de los lectores RFID en las diferentes embarcaciones guardacostas

Dependiendo del tipo de embarcación guardacostas, la ubicación de los lectores RFID será distinta. El primer tema a ser tratado será la ubicación de los lectores para luego realizar un análisis de la ubicación de las antenas de estos lectores.

Ubicación de los lectores RFID

Dentro de las embarcaciones que forman parte del cuerpo de guardacostas de la DIRNEA tenemos las del tipo ALBATROS, UTB, PGM y PGO.

El lector portátil RFID será empleado por las embarcaciones de tipo ALBATROS. Este tipo de embarcaciones presenta la gran ventaja de ser lanchas rápidas y de tamaño mucho menor a las mencionadas anteriormente. El acercamiento de una lancha de este tipo a una pesquera no presenta mayor peligro para ambas. Este tipo de lectores portátiles presenta rango de lecturas cortas, en el caso del lector RFS-2001 no supera los 1.5 metros.

La ubicación para el lector fijo RFID es para las embarcaciones guardacostas de mayor envergadura. Así pues, este lector será instalado en los guardacostas de tipo UTB, PGM y PGO. El lector deberá ser ubicado basado en las especificaciones eléctricas correspondientes. Para ello se deberá conectar el suministro de energía de 15 Vdc al lector previamente habiendo hecho lo mismo con el suministro de 100-240 Vac, ya sea a 50-60 Hz.

Ubicación de las antenas para lectores RFID

Antes de establecer las ubicaciones de las antenas para el lector fijo RFID, es necesario establecer las características básicas, en cuanto a medidas se refiere, de las embarcaciones guardacostas UTB, PGM y PGO. Estas medidas son las distancias que hay entre la superficie marina y la cubierta de cada embarcación. La figura 8 representa dichas embarcaciones. La escala usada es 1:5000 y las medidas están en metros. Para las vistas superiores el largo de la embarcación UTB, PGM y PGO es 15 m, 36m y 40 m respectivamente.

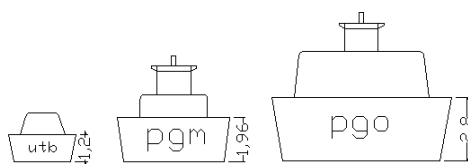


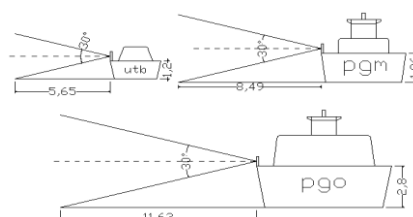
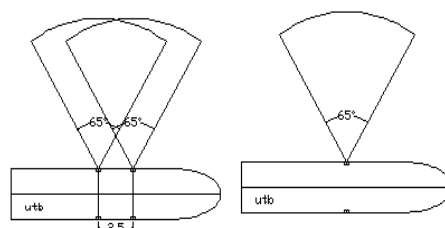
Figura 3.8: Tipos de embarcaciones guardacostas

La siguiente condición a considerar es el patrón de radiación basado en el ángulo (3 dB beamwidth) Azimuth y de Elevación de las antenas a ser usadas como parte del sistema solución. En este caso vamos a tomar como ejemplo antenas de 12 dBi con polarización lineal y circular (ver Anexo A).

Tabla III: Ángulos Azimuth y de Elevación para antenas de 12 dBi

| Ganancia | Polarización | Ángulo Azimuth | Ángulo de Elevación |
|----------|--------------|----------------|---------------------|
| 12 dBi | Lineal | 65° | 30° |
| 12 dBi | Circular | 43° | 38° |

Habiendo considerado la altura de las antenas y los ángulos de Azimuth y de Elevación, en seguida se presenta un esquema de la ubicación de dichas antenas. Las ubicaciones se las realizan en la banda de cada una de las embarcaciones. Además se muestran las distancias para las cuales el haz intercepta la superficie marina.

**Figura 3.9:** Vista lateral de la ubicación de la antena lineal de 12 dBi**Figura 3.10:** Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo UTB

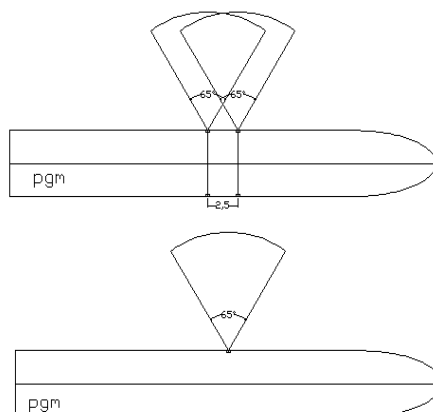


Figura 3.11: Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGM

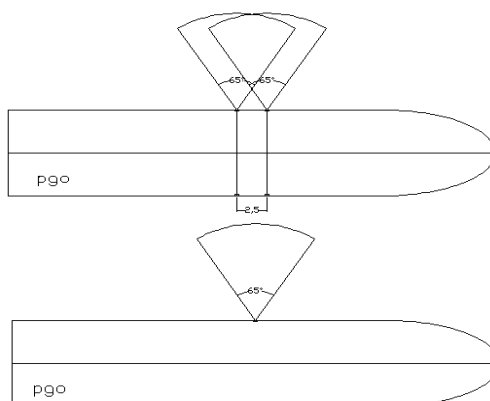


Figura 3.12: Vista superior de la antena lineal de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGO

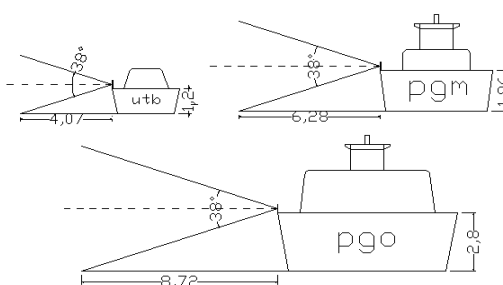


Figura 3.13: Vista lateral de la ubicación de antena circular de 12 dBi

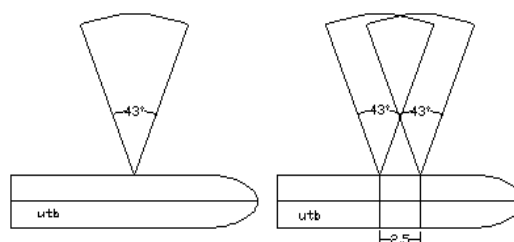


Figura 3.14: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo UTP

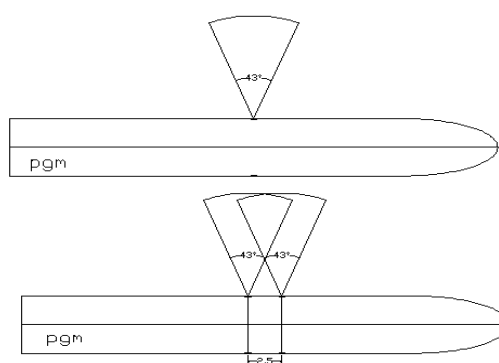


Figura 3.15: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGM

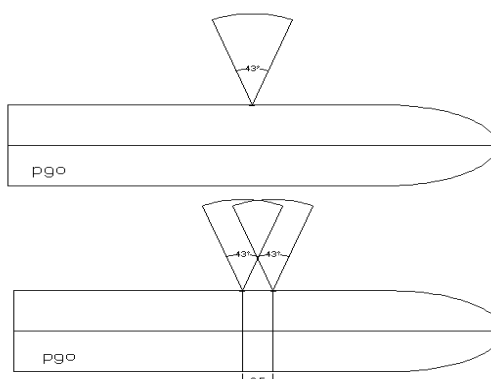


Figura 3.16: Vista superior de la antena circular de 12 dBi ubicada en la embarcación tipo PGO

3.2.2. Ubicación de las etiquetas RFID en los motores fuera de borda en las embarcaciones menores pesqueras

Debido a la gran variedad de diseño de motores fuera de borda, el análisis de la ubicación de las etiquetas RFID se centra en las dos partes más comunes: el block y el cobertor. La figura 3.17 muestra tres marcas de motores fuera de borda y un claro ejemplo de lo que se ha puesto en manifiesto.

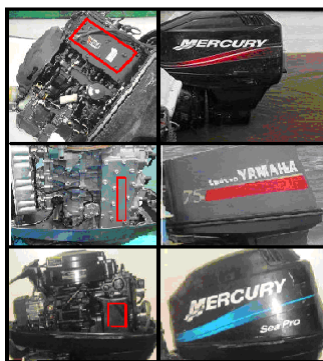


Figura 3.17: Partes más comunes para tres marcas de motores

CAPÍTULO 4

4. Pruebas y Análisis de Resultados

4.1. Pruebas sobre el ruido proveniente de un motor fuera de borda usando un analizador espectral

Como parte inicial de una serie de pruebas realizadas para analizar el desempeño del sistema, se decidió analizar el ruido proveniente de un motor fuera de borda. En este análisis veremos qué tipo de comportamiento tiene el ruido proveniente de un motor fuera de borda en específico en la banda de frecuencia de trabajo de la etiqueta pasiva que forma parte del sistema.

4.1.1. Pruebas de laboratorio

En esta parte, se realizan pruebas de laboratorio para analizar el ruido proveniente de un motor fuera de borda de 40 HP de la marca MERCURY. Las pruebas fueron realizadas en las inmediaciones de la FACULTAD DE INGENIERÍA EN ELECTRICIDAD Y COMPUTACIÓN DE LA ESPOL. Para el análisis en el dominio de la frecuencia del ruido fue usado el analizador de espectros SMR-3000. Los resultados que se muestran a continuación son propios del motor mencionado anteriormente.

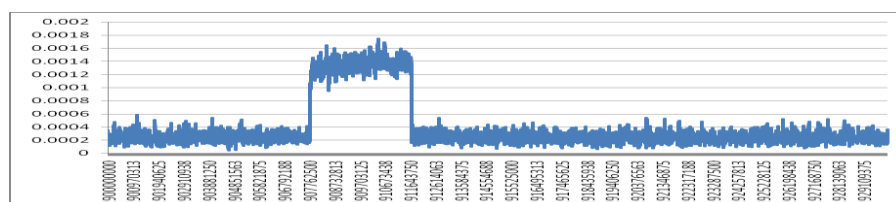


Figura 4.1: Analizador de espectros junto al motor fuera de borda

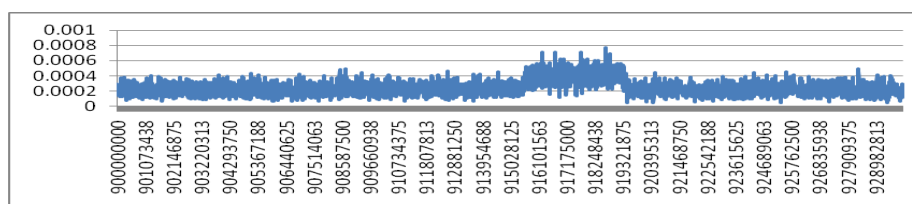
A continuación se presenta el espectro electromagnético del ruido proveniente de un motor fuera de borda MERCURY de 40 HP. La distancia de separación entre la antena del analizador de espectros SMR-3000 y el motor es de 25 cm. Hay que advertir al lector que las unidades que se manejan en los gráficos siguientes están dados en V/m vs. Hz.

Con el Analizador de Espectros en modo Tiempo Real se toman mediciones variando la velocidad del motor en la banda de 900 MHz – 928 MHz.

En las figuras 4.2 (a) y (b) el motor se encuentra encendido y a su máxima velocidad. En la figura 4.22 (a) el ruido tiene forma de pulso rectangular con una amplitud de 0.0016 V/m y ubicado en la banda de 907-911 MHz. En la figura 4.2 (b) debido a la variación en la velocidad era de esperarse un cambio en el espectro. En este caso el pulso ha cambiado su posición en el espectro (915-919 MHz) y también su amplitud (0.0007 V/m).



(a)



(b)

Figura 4.2: Espectros en la banda de 900 MHz – 928 MHz en la prueba de laboratorio

A continuación se modifica el rango de frecuencias (890 MHz - 996.8 MHz) para poder verificar si el ruido también está presente fuera del rango de trabajo de la etiqueta pasiva.

En la figura 4.3 (a) el motor se encuentra encendido trabajando a velocidad media. Vemos que el motor origina un pulso en la banda de: 932-936 MHz con amplitud aproximada de 0.016 V/m. Esta medición se la realizó instante después del arranque. En la figura 4.3 (b) el motor se encuentra encendido trabajando a su máxima velocidad, existe un pulso de amplitud aproximada de 0.005 V/m. En la figura 4.3 (c) el motor se encuentra encendido trabajando a velocidad media. La amplitud es ahora de 0.01 V/m y el pulso se ha desplazado en frecuencia en la banda de 961-964 MHz.

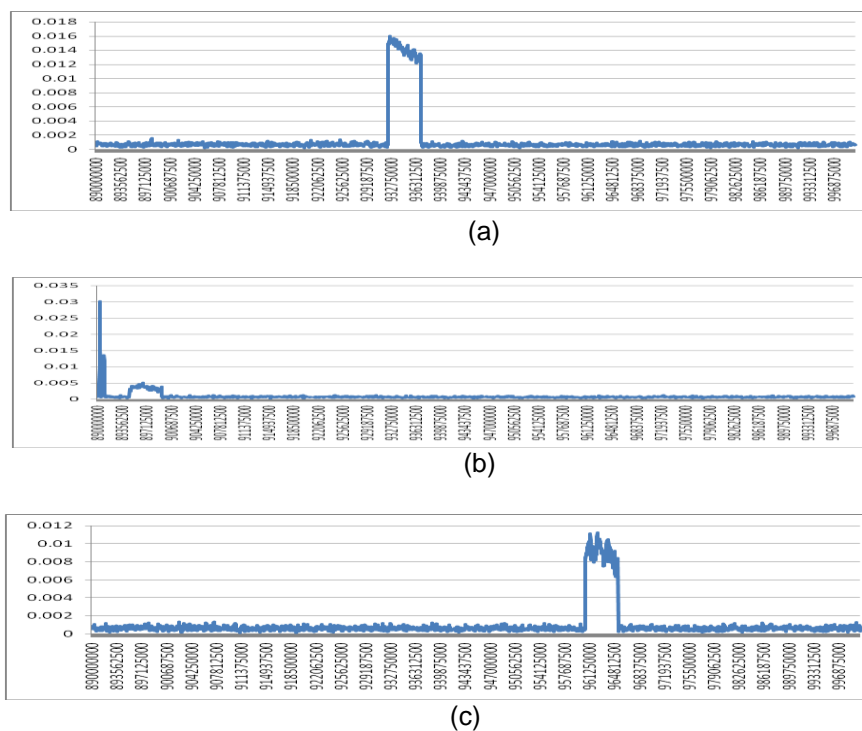


Figura 4.3: Espectros en la banda de 890 MHz - 996.8 MHz en la prueba de laboratorio

4.1.2. Pruebas de campo

La presente prueba permitirá examinar el ruido proveniente de un motor fuera de borda en movimiento YAMAHA de 150 HP y de las zonas frecuentadas por la guardia costera en los manglares a nivel de la provincia del Guayas (Ramales del Estero Salado). El análisis también incluye el uso de teléfonos celulares y del equipo de radio comunicaciones guardacostas. Cabe enfatizar que el análisis siguiente el relativo a la zona donde las mediciones fueron hechas y por ende los

resultados serán distintos dependiendo de lugar elegido para tomar datos de este tipo.



Figura 4.4: Motor fuera de borda y el analizador de espectros SMR-3000

La distancia entre el motor y la antena del analizador de espectros SMR-3000 es aproximadamente 30 cm. Hay que señalar al lector que las unidades que se manejan en los gráficos siguientes están dados en V/m vs. Hz. Con el Analizador de Espectros en modo Tiempo Promedio se toman mediciones durante todo el trayecto.

En las figuras 4.5 (a), (b) y (c) el motor se encuentra encendido y acelerado: En las figuras 4.5 (a) y (b) hay presencia de ruido del ambiente más una portadora cuya frecuencia de 920 MHz no corresponde a ninguna operadora celular. En la figura 4.5 (c) el ruido no puede ser atribuido al motor, ya que en dos mediciones anteriores no teníamos la presencia de estas nuevas señales.

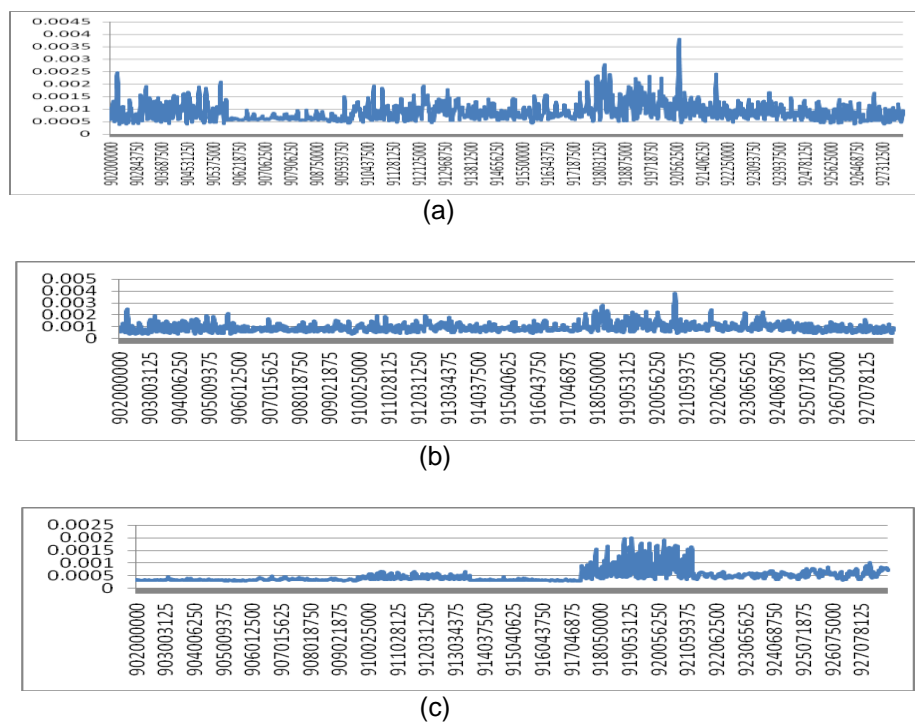


Figura 4.5: Espectros en la prueba de campo sin presencia de equipos de comunicaciones

Con el Analizador de Espectros en modo “Tiempo Promedio” se toman mediciones durante todo el recorrido en la embarcación. En esta parte también se incluye el uso de los equipos de comunicaciones usados por la guardia costera y de teléfonos celulares.

En la figura 4.6 (a), (b), (c) y (d) el motor se encuentra encendido y acelerado. En la figura 4.6 (a) sólo se encuentra encendido el equipo de comunicación de la guardia costera: La presencia de estos equipos de comunicación no causó mayor incidencia en el espectro. Esto puede ser

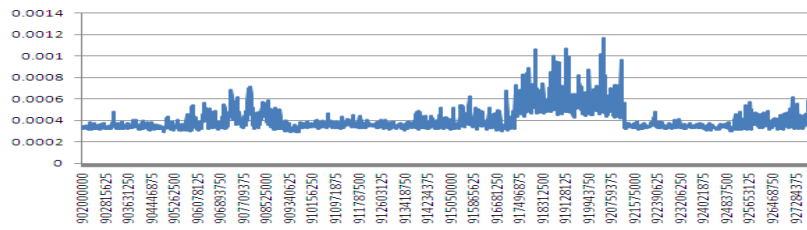
corroborado ya que esta medición y la anterior (ver figura 4.5 (c)) no sufren mayores cambios.

En la figura 4.6 (b) cinco teléfonos celulares se encuentran encendidos. La presencia de los teléfonos celulares afectó de gran manera el espectro. Esta medición nos muestra gran cantidad de ruido más la presencia de posibles portadoras, que en caso de serlo no corresponderían a ninguna operadora celular. Un claro ejemplo es la que se encuentra en la frecuencia de 916.5 MHz.

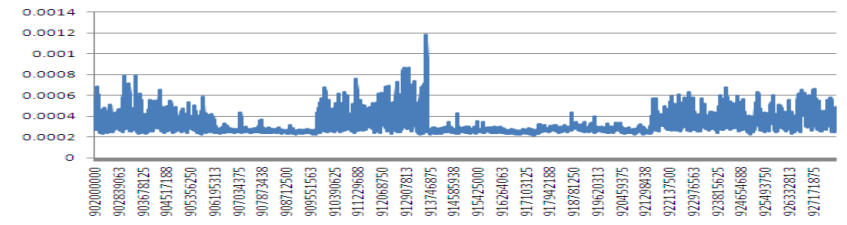
En la figura 4.6 (c) Cinco teléfonos celulares se encuentran encendidos además del equipo de radio comunicaciones. Al mantener encendidos estos dispositivos, hay mayor presencia de ruido. Aparentemente hay una portadora en la frecuencia de 911 MHz.

En la figura 4.6 (d) se quitaron los teléfonos celulares y el equipo de radio comunicaciones. Vemos cómo el espectro ha cambiado una vez que los celulares y el equipo de radio comunicaciones fueron apagados si comparamos esta medición con la anterior (ver figura 4.6 (c)). Ésta presenta mayor ruido debido a la presencia de estos artefactos. Una vez retirado, el espectro presenta menos interferencia proveniente de los dispositivos de comunicaciones.

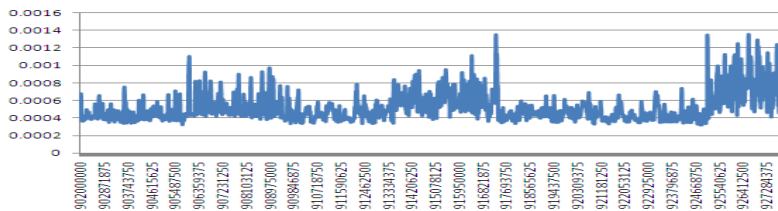
En la figura 4.6 (e) el motor se encuentra encendido y a baja velocidad: Sin la presencia de dispositivos que usen radio frecuencia y el motor trabajando a baja velocidad, se puede apreciar de mejor manera el ruido proveniente del motor. Este ruido se encuentra en la banda de 917 – 921 MHz, 921 – 925 MHz.



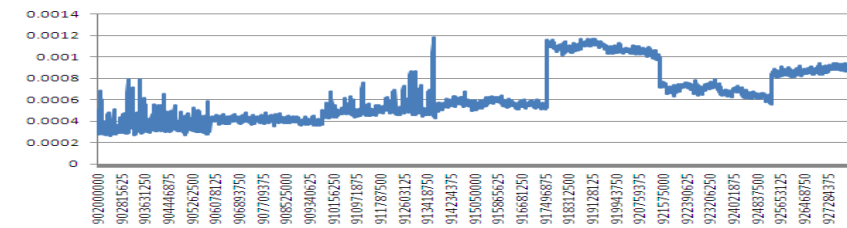
(a)



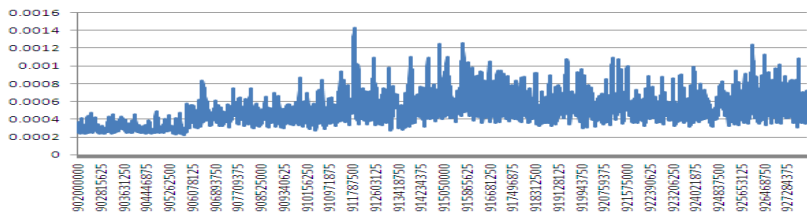
(d)



(b)



(e)



(c)

Figura 4.6: Espectros en la prueba de campo con presencia de equipos de comunicacion

4.2. Pruebas para el análisis del alcance y recepción de datos desde las etiquetas una vez ubicadas en los motores fuera de borda

En esta parte se incluyen las distintas pruebas realizadas con el fin de analizar el desempeño del sistema RFID mediante pruebas de laboratorio y de campo. En estas pruebas se tomarán mediciones, las cuales proporcionarán información sobre cuántas veces la etiqueta pasiva RFID pudo ser leída bajo determinadas condiciones de lectura. Además se procederá a tomar datos relacionados a la intensidad de la señal recibida proveniente de la etiqueta pasiva RFID. Todos los escenarios serán puestos en manifiesto según sea el caso.

4.2.1. Pruebas de laboratorio

Para el desarrollo de estas pruebas, se procedió a ubicar la etiqueta pasiva de acuerdo a los requerimientos de la DIRNEA en distintos puntos dentro del motor fuera de borda. Una vez colocada la etiqueta se realizaron lecturas usando el lector fijo RFID a distintas distancias desde las antenas hasta el motor (1 metro, 3 metros, 5 metros, 7 metros y 9 metros). La separación de las antenas y su distancia respecto del piso para cada medición fueron respectivamente: 1 y 2.05 metros. La distancia promedio medida desde la ubicación de la etiqueta en el motor

hasta el suelo fue de 1.36 metros. Además se usan 2 antenas de 7 dBi (ver Anexo A) y la etiqueta RFID pasiva Alien H3 Metal Mount Brick (ver Anexo B).

En cuanto a las lecturas, se usó la modalidad *Scan Operation* la cual proporciona el número de lecturas hechas por el INfinity 510 cada vez que se selecciona *Scan Tags*. Cada lectura se la repitió 15 veces para cada distancia. El tiempo para cada lectura fue de 5 segundos. Además se escogió la opción *Portal* para el tipo de instalación.

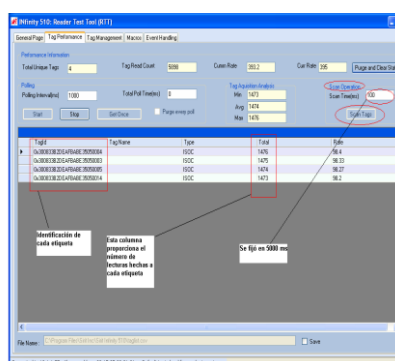
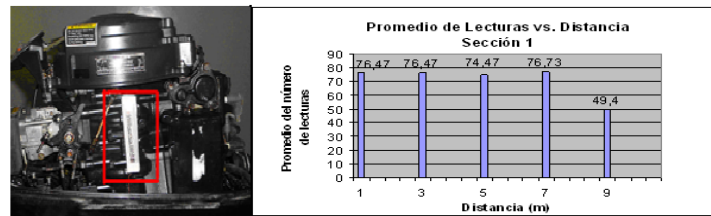


Figura 4.7: Tag Performance y sus opciones de lectura

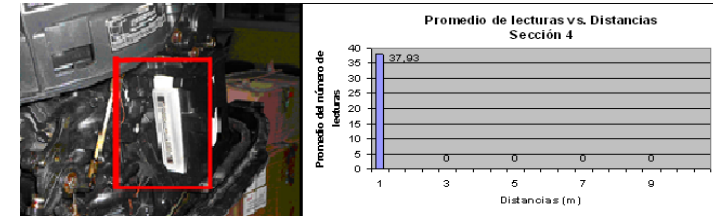
4.2.1.1. Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado

Ubicaciones de la etiqueta RFID y estadísticas

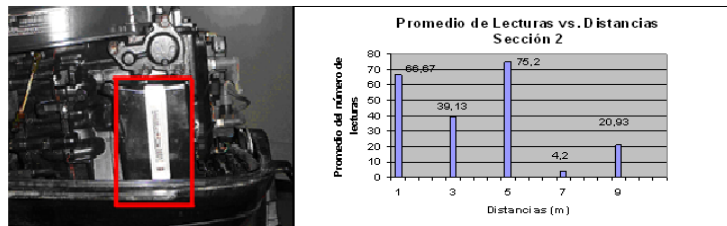
Desde la figura 4.8 (a) a la figura 4.8 (f) se muestran las distintas ubicaciones de la etiqueta RFID dentro del motor fuera de borda de 40 HP y las respectivas lecturas en cada sección. En la figura 4.8 (b) En esta Sección a partir de los 5 metros se cambió ligeramente la posición del motor para obtener una mejor lectura. En la figura 4.8 (c) En esta sección la etiqueta no estuvo de frente a las antenas del lector fijo.



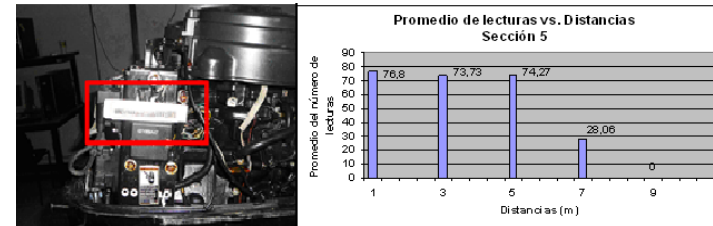
(a)



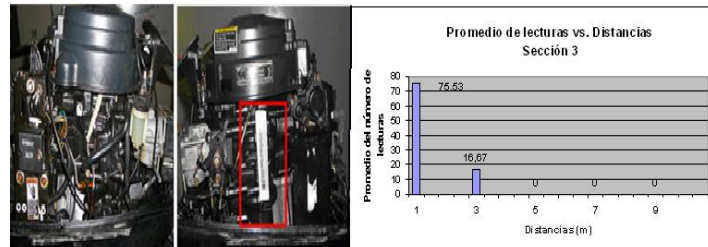
(d)



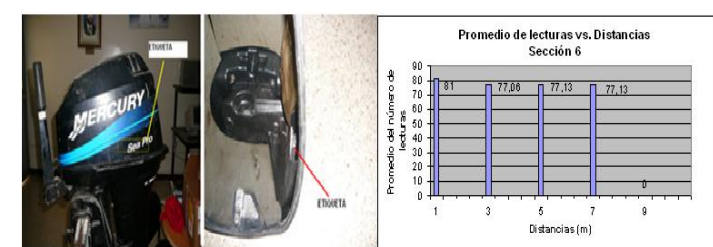
(b)



(e)



(c)



(f)

Figura 4.8: Lecturas en el caso de un motor fuera de borda apagado durante las pruebas de laboratorio

En 4.2.1.3 se realiza el respectivo análisis de resultados de los gráficos mostrados.

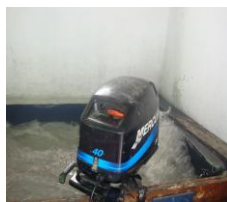
4.2.1.2. Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido

En esta parte, se realizaron pruebas en la maestranza de motores fuera de borda en las instalaciones de COGUAR²².

Ubicaciones de la etiqueta RFID

Desde la figura 4.9 (a) a la figura 4.9 (f) se muestra el motor fuera de borda usado y las ubicaciones de la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick en dicho motor.

²² Cuerpo de Guardacostas de la Armada del Ecuador



(a) Motor fuera de borda en el estanque del taller de COGUAR



(b) Motor fuera de borda con la etiqueta ubicada en la Sección 1



(c) Etiqueta ubicada en la Sección 2

Figura 4.9: Motor fuera de borda usado y ubicaciones de la etiqueta RFID durante las pruebas de laboratorio con el motor encendido

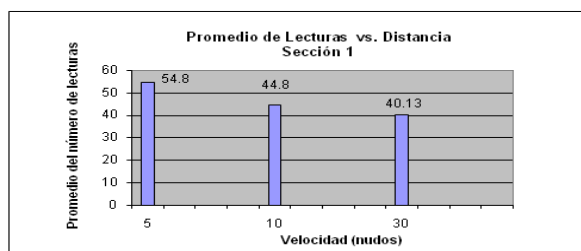
Gráficos estadísticos

Para la figura 4.10 (a) se realizaron lecturas de la etiqueta ubicada en la Sección 1 (figura 4.9 (b)) con el motor encendido dentro del taller de maestranza de motores fuera de borda (figuras 4.9 (a)). Se varió la velocidad a 5, 10 y 30 nudos. La distancia entre las antenas y la

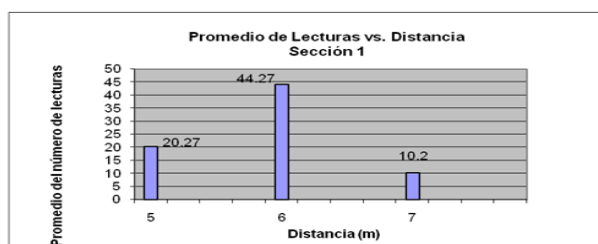
etiqueta fue aproximadamente de 3 metros. Se usó el cobertor del motor fuera de borda.

Para la figura 4.10 (b) se realizaron lecturas de la etiqueta ubicada en la Sección 1 (figura 4.9 (b)) con el motor encendido en las afueras del taller de maestranza de motores fuera de borda (figuras 4.9 (b)). Se varió la distancia entre las antenas y la etiqueta. *La velocidad del motor se mantuvo al mínimo durante las lecturas debido a fallas en el sistema de enfriamiento del motor.* Se usó el cobertor del motor fuera de borda.

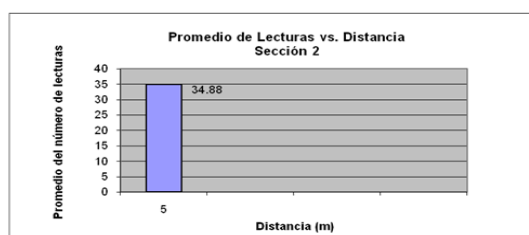
Para la figura 4.10 (c) se realizaron lecturas de la etiqueta ubicada en la Sección 2 (figura 4.9 (c)) con el motor encendido en las afueras del taller de maestranza de motores fuera de borda. *Se alcanzó a tomar sólo 8 lecturas a 5 metros ya que el motor presentó sobrecalentamiento debido a fallas en el sistema de enfriamiento.* Se usó el cobertor del motor fuera de borda.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.10: Lecturas correspondientes al motor encendido durante las pruebas de laboratorio

4.2.1.3. Análisis de resultados

Resumiendo toda la información descrita anteriormente mediante gráficos estadísticos se llega al siguiente análisis:

Dependiendo de la ubicación de la etiqueta en el motor las lecturas serán distintas. Si la etiqueta es ubicada en una superficie metálica regular, entonces la lectura se ve afectada considerablemente. Por

ejemplo, al ubicar la etiqueta en la Sección 1 (figura 4.8 (a)) cuya superficie es irregular las lecturas mantuvieron un patrón de lectura hasta los 7 metros. Por el contrario, en la Sección 2 (figura 4.8 (b)) las lecturas fueron totalmente desproporcionadas a medida que la distancia aumentaba.

Si la etiqueta pretende ser leída por el lado opuesto de donde se encuentra ubicada, que es lo que ocurrió en la Sección 3 (figura 4.8 (c)), el lector no podrá proporcionar dato alguno a distancias superiores a 3 metros usando este motor ya que las ondas de radio frecuencia en la banda de UHF se reflejan si encuentran en su camino superficies metálicas.

Si la etiqueta es ocultada de manera parcial por superficies metálicas (Sección 4 de la figura 4.8 (d)), las lecturas a partir de 1 metros empiezan a ser nulas debido al alto efecto reflexivo de este tipo de superficies.

Al colocar la etiqueta en el cobertor del motor las lecturas mejoraron de manera considerable. En la figura 4.8 (f) se muestra que las lecturas se mantuvieron en el rango de 81 a 77,13.

En secciones como la 5 y la 6 (figuras 4.8 (e) y 4.8 (f) respectivamente) no hubo lectura a los 9 metros. Esto se debe a las pérdidas de la señal a medida que la distancia aumenta ya que se empieza a salir de la zona de cobertura de las antenas, además de los problemas de reflexión debido a las superficies metálicas propias del motor fuera de borda.

A medida que la velocidad del motor aumenta, las lecturas disminuyen, pero no de forma considerable cuando la etiqueta está adherida a una superficie metálica irregular (Sección 1 de la figura 4.9 (b)). Así pues, a 5 nudos de velocidad se obtuvo un promedio de lecturas de 54.8 y a 30 nudos de velocidad 40.13.

Al incrementar la distancia de lectura sobre una etiqueta ubicada en una superficie metálica irregular con el motor fuera de borda encendido y trabajando a su mínima velocidad, las lecturas son posibles. Si comparamos los resultados de las figuras 4.10 (b) y 4.10 (c) a 5 metros de distancia, vemos que los resultados del promedio de lecturas difieren en aproximadamente 14 puntos. Los resultados de la figura 4.10 (c) son mejores ya que la etiqueta fue ubicada de manera horizontal y por ende es mucho más visible para las antenas.

4.2.2. Pruebas de campo

A continuación se incluyen las pruebas de campo realizadas con el fin de analizar el desempeño del sistema en situaciones reales. En estas pruebas, al igual que en las de laboratorio, se tomarán mediciones, las cuales proporcionarán información sobre cuántas veces la etiqueta pasiva RFID pudo ser leída dada determinada posición dentro del motor fuera de borda de la embarcación. También se procederá a tomar datos de intensidad de señal recibida (RSSI) usando embarcaciones de tipo pesqueras. Los escenarios para la adquisición de datos son básicamente con el motor apagado, encendido y también movimiento tratando que las condiciones sean lo más cercanas posibles a la realidad.

4.2.2.1. Lecturas de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado de una embarcación guardacostas

Para el desarrollo de esta prueba de campo, se procedió a ubicar la etiqueta pasiva en superficie plástica de un motor fuera de borda apagado de 150 HP o de 115 HP (dependiendo de la disponibilidad de las lanchas). Una vez colocada la etiqueta se realizaron lecturas usando el lector fijo RFID a distintas distancias desde las antenas hasta el motor (1 metro, 3 metros, 5 metros, 7 metros y 9 metros). Además se usan 2

antenas de 7 dBi (ver Anexo A) y la etiqueta RFID pasiva Alien H3 Metal Mount Brick (ver Anexo B).

Se usaron dos etiquetas: una que tenga información grabada por el usuario y otra que no. En cuanto a la información ingresada a la etiqueta, fue de 22 bytes de un total de 64 bytes disponibles en el banco de memoria del usuario. El dato grabado se lo realizó en base a los requerimientos de la Dirección General de Espacios Acuáticos (DIRNEA). Estos requerimientos son los siguientes:

La matrícula de la embarcación se compone al inicio con la clase de matrícula que pueden ser las letras: B, P, AI, C, CN, DA, R, TI, TN, V. Después de la matrícula viene el puerto de registro, el cual es un número de dos cifras.

Luego del puerto de registro hay un número secuencial de 5 cifras.

Por último está el número del armador o propietario, el cual es un número secuencial de 10 dígitos.

Un ejemplo de lo anteriormente mencionado es la matrícula: TN-09-02480-9999999999. Hay que recalcar que cada dato está separado por un guión. La matrícula del ejemplo fue la que se ingresó a la etiqueta ya

que es el tipo de matrícula con mayor cantidad de datos posible que se pueda formar.

Con respecto a las antenas, en todo instante se las hizo apuntar a la etiqueta, ya que las lanchas guardacostas del tipo ALBATROS 730 son hechas de metal. Al realizar mediciones con dos antenas, estas estuvieron separadas 30 centímetros una de la otra y posicionadas de tal forma que el haz de las dos siempre se concentre en un solo punto (la etiqueta). La altura de las antenas respecto del agua es 1.60 metros. A continuación se muestra un esquema de la posición de las antenas y de las lanchas guardacostas usadas:

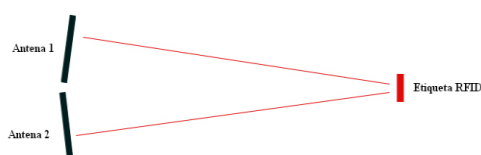


Figura 4.11: Posición de las antenas usando lanchas ALBATROS

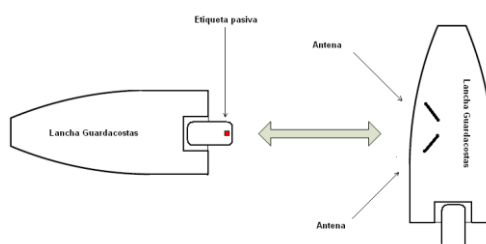


Figura 4.12: Lanchas ALBATROS y equipos RFID

En cuanto a las lecturas, se usó la modalidad Scan Operation la cual proporciona el número de lecturas hechas por el lector RFID-INfinity 510 cada vez que se selecciona Scan Tags. Cada lectura se la repitió 10 veces para cada distancia. El tiempo para cada lectura fue de 5 segundos. Para el tipo de instalación se escogió la opción Conveyor Belt y dependiendo del uso de una o dos antenas (figura 4.13) el número de lecturas hechas a la etiqueta variarán.

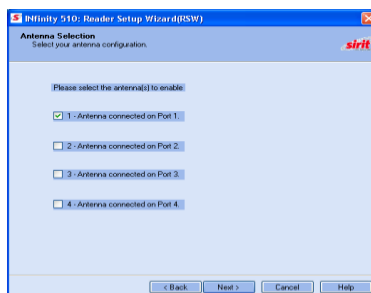


Figura 4.13: Selección de antenas a usar

Ubicaciones de la etiqueta RFID

Por disponibilidad de las embarcaciones, se usaron dos motores fuera de borda distintos en esta prueba. En las dos situaciones la etiqueta fue adherida a superficies plásticas.



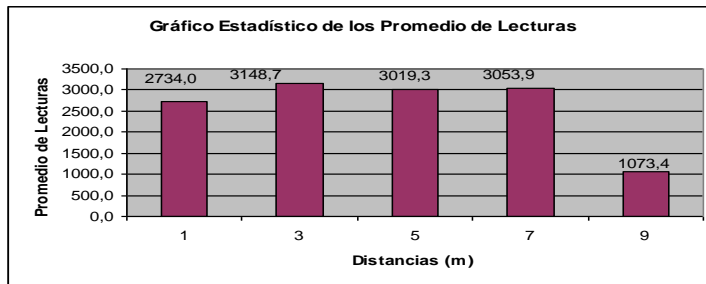
Figura 4.14: Ubicación de la etiqueta en el motor fuera de borda de 150 HP



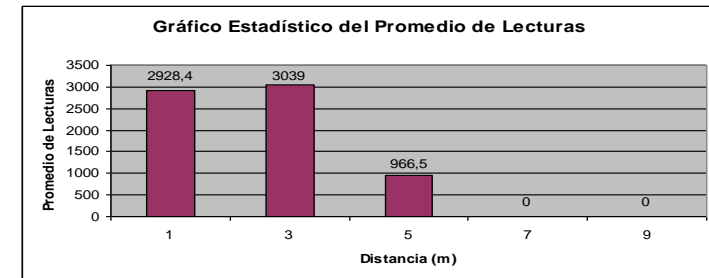
Figura 4.15: Ubicación de la etiqueta en el motor fuera de borda de 115 HP

Gráficos estadísticos

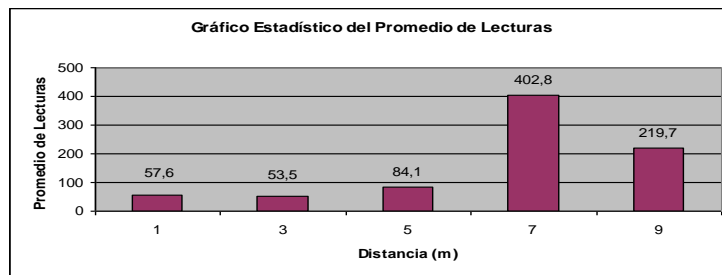
A continuación se muestran las lecturas registradas de acuerdo a las condiciones de medición establecidas, ya sea usando una o dos antenas, el tipo de motor, si éste se encuentra encendido o no, además del uso del cobertor. También se debe tomar en cuenta si la etiqueta RFID tiene o no información grabada. Para la figura 4.17 (c) Las mediciones a 9 metros fueron suspendidas debido a desperfectos en la batería de la embarcación que tenía la etiqueta RFID.



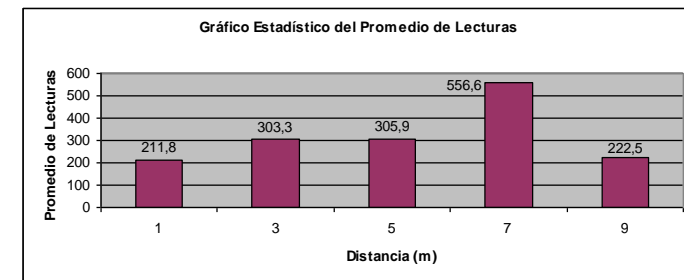
(a) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y sin cobertor – usando 1 antena – la etiqueta está sin información ubicada en un motor de 150 HP.



(c) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y sin cobertor – usando 1 antena – la etiqueta está con información ubicada en un motor de 150 HP.

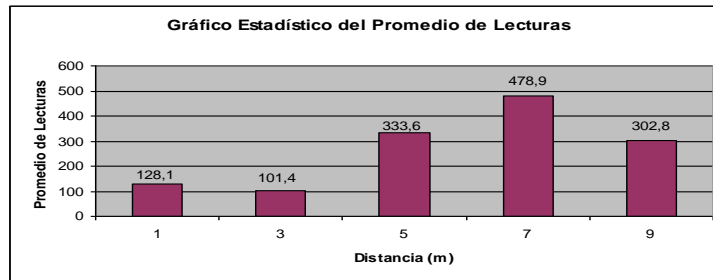


(b) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y sin cobertor – usando 2 antenas – la etiqueta está con información ubicada en un motor de 115 HP.

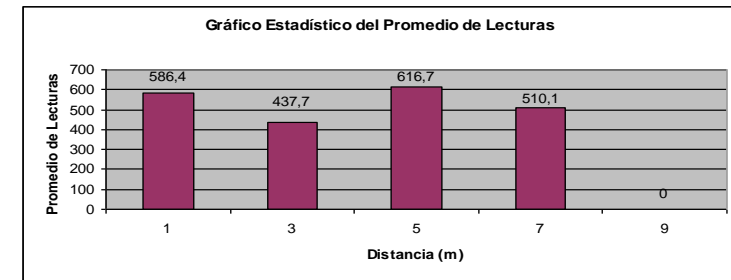


(d) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y sin cobertor – usando 2 antenas – la etiqueta está sin información ubicada en un motor de 115 HP.

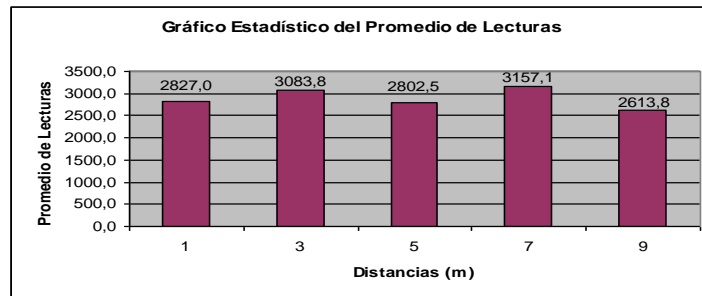
Figura 4.16: Lecturas durante las pruebas de campo usando lanchas guardacostas (sin cobertor)



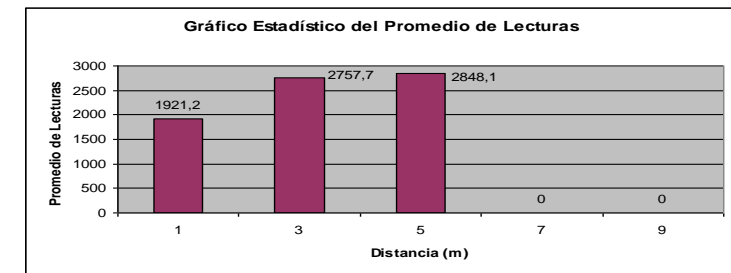
(a) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y con cobertor – usando 2 antenas – la etiqueta está con información ubicada en un motor de 115 HP.



(c) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y con cobertor – usando 2 antenas – la etiqueta está sin información ubicada en un motor de 115 HP.



(b) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y con cobertor – usando 1 antena – la etiqueta está sin información ubicada en un motor de 150 HP



(d) Embarcaciones sin movimiento – motor apagado y con cobertor – usando 1 antena – la etiqueta está con información ubicada en un motor de 150 HP

Figura 4.17: Lecturas durante las pruebas de campo usando lanchas guardacostas (con cobertor)

4.2.2.2. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda apagado de una embarcación pesquera

Para el desarrollo de esta prueba se usó un motor de la marca Mercury de 75 HP y un Yamaha de 150 HP (en cada tabla se indicará el respectivo motor usado). Se usan dos antenas de 12 dBi con polarización lineal y circular (ver Anexo A) y tres tipos de etiquetas RFID (ver Anexo B). Para cada etiqueta RFID se analizan las siguientes distancias:

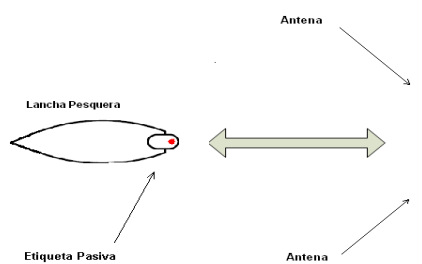
Tabla IV: Distancias a analizar para cada etiqueta RFID

| Etiqueta RFID | Distancia a analizar |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| Alien H3 Metal Mount Brick | 5, 7 y 9 metros |
| Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag | 6, 8 y 10 metros |
| Gen 2 Multi Purpose Metal Tag | 5 y 6 metros |

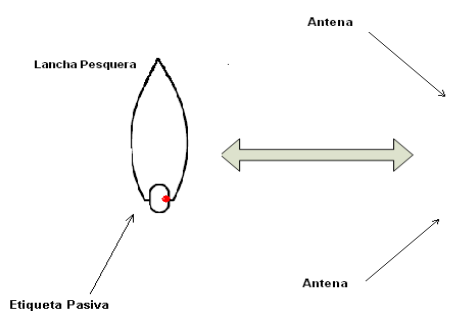
Las distancias mencionadas en la tabla IV son aquellas medidas entre las embarcaciones usadas, en este caso un de tipo PGM, y la lancha pesquera. La separación entre las antenas fue de 2.30 metros.

Las figuras 4.18 (a) y (b) representan las ubicaciones de la etiqueta respecto de las antenas del lector fijo al usar ambos motores. La figura

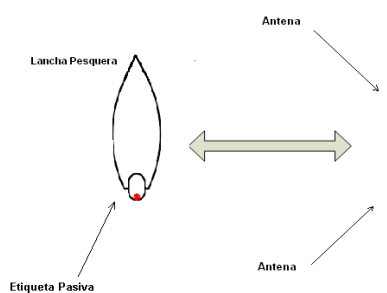
4.18 (c) representa la ubicación de la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick con información grabada por el usuario.



(a) Ubicación de la etiqueta RFID en el block



(b) Ubicación de la etiqueta RFID en el cobertor



(c) Ubicación de la etiqueta RFID Alien H3 Metal Mount Brick al ubicarla en el block del motor de 150 HP

Figura 4.18: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor apagado

A la etiqueta de Alien H3 Metal Mount Brick se le procedió a guardar datos previamente ingresados por el usuario en el banco de memoria User Data. El tamaño de los datos usados para las pruebas fue de 34 bytes, según requerimientos de la DIRNEA. Estos requerimientos son el número de serie del motor, nombre del propietario, tipo y nombre de la embarcación. El ejemplo usado para el almacenamiento es:

634245-JUAN-RODRIGUEZ-F/B_ALBACORA

Sólo se procedió a grabar datos en las etiquetas Alien H3. La etiqueta tipo Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag presentó fallas y el almacenaje fue imposible. La etiqueta tipo Gen 2 Multi Purpose Metal Tag no presenta banco de memoria alguno para el almacenamiento del dato presentado anteriormente.

En cuanto a las lecturas, se escogió la opción para que el lector trabaje en la subregión FCC_A. Para el tipo de instalación la opción Conveyor Belt fue elegida, además del uso de dos antenas. En la selección de protocolos se escogen los protocolos EPC1 Gen2 e ISO B (figura 4.19).

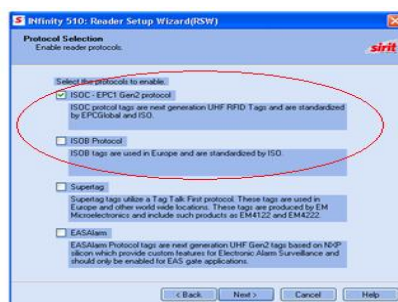


Figura 4.19: Selección de protocolos usando el Reader Setup Wizard

En todo instante se usan las dos antenas de 12 dBi. Mediante la herramienta RDT (Reader Diagnostic Tool) en la opción Tag Report (figura 4.20) se podrá conocer qué antena fue usada durante la comunicación. Con el uso de esta misma herramienta se toman datos concernientes a la frecuencia de operación y la intensidad de la señal enviada de regreso por la etiqueta RFID. La potencia de transmisión del lector fijo se establece en 330 ddBm (figura 4.21) usando la herramienta RCT (Reader Configuration Tool) en la opción Setup Antenna/Cables.

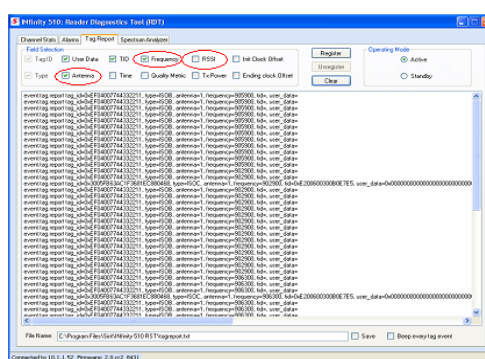


Figura 4.20: Tag Report

| Name | Value | ? |
|-------------------|---------|---|
| Detected Antennas | 1 2 3 4 | ? |
| Port Count | 4 | ? |
| Mux Sequence | 1 2 3 4 | ? |

1 2 3 4

This table provides information related to a selected antenna.

| Name | Value | ? |
|--------------------------|-------|---|
| Conducted Power | 0 | ? |
| Attenuation | 0 | ? |
| Cable Loss | 19 | ? |
| Gain | 60 | ? |
| Gain Units | dbdc | ? |
| Computed Conducted Power | 319 | ? |

Se fija en 330 ddBm

Figura 4.21: Potencia de transmisión fijada en 330 ddBm usando RCT

Ubicación de la etiqueta RFID

Las etiquetas RFID fueron ubicadas en el cobertor, en una superficie metálica o en una contigua a una superficie de este tipo (dependiendo del diseño del motor). En todo instante las etiquetas fueron ubicadas verticalmente. A continuación se muestra las partes de los motores que fueron de borda usadas.



Figura 4.22: Ubicación de la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag en un motor YAMAHA de 150 HP



Figura 4.23: Ubicación de la Alien H3 Metal Mount Brick en un motor YAMAHA de 150 HP

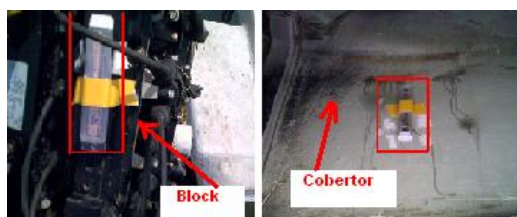


Figura 4.24 Ubicación de la Alien H3 Metal Mount Brick en un motor MERCURY de 75 HP³

Promedios

En la tabla VII se muestra los promedios de lectura de cada tabla mostrada en el Anexo C:

³ Esta ubicación también se le dio a la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag

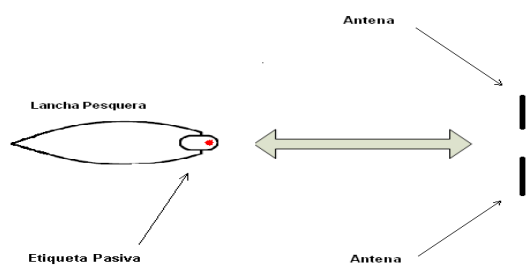
Tabla V: Variaciones en la RSSI para motores apagados

| Etiqueta | Información guardada | Ubicación | Motor usado | Distancia (m) | Frecuencia Promedio de Operación (KHz) | RSSI promedio (ddBm) |
|-------------------------------------|----------------------|--|---------------|---------------|--|----------------------|
| Alien H3 Metal Mount Brick | 0 bytes | Cobertor | MERCURY 75 HP | 5 | 909460 | -701.5 |
| | | | | 7 | 904100 | -702.7 |
| | | | | 9 | 903500 | -735.6 |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | 904300 | -741.05 |
| | | | | 7 | 902780 | -734.65 |
| | | | | 9 | 903100 | 736.1 |
| Alien H3 Metal Mount Brick | 34 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 5 | 905100 | -654.6 |
| | | | | 7 | 902820 | -679.5 |
| | | | | 9 | 905940 | -691.8 |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 5 | 906560 | -681.8 |
| | | | | 7 | 910100 | -702.8 |
| | | | | 9 | 908440 | -738.15 |
| Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag | 0 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 6 | 905660 | -482.15 |
| | | | | 8 | 907930 | -520.7 |
| | | | | 10 | 907990 | -510.85 |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 6 | 905500 | -509.95 |
| | | | | 8 | 905170 | -545.8 |
| | | | | 10 | 906530 | -549.4 |
| Gen 2 Multi Purpose Metal Tag | 0 bytes | Cobertor | MERCURY 75 HP | 5 | 903140 | -629.85 |
| | | | | 6 | 904300 | -641.75 |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | 907100 | -663.1 |
| | | | | 6 | 906100 | -660 |

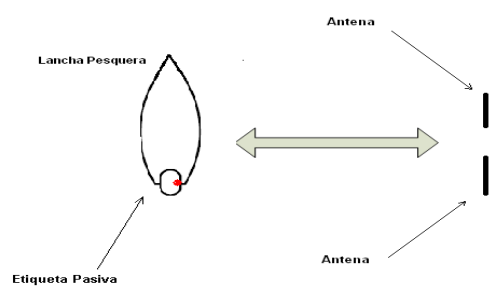
4.2.2.3. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido y sin movimiento de una embarcación pesquera.

Las condiciones de medición, tales como la distancia entre embarcaciones, los motores, las antenas y las etiquetas usadas son las mismas que en 4.2.2.2.

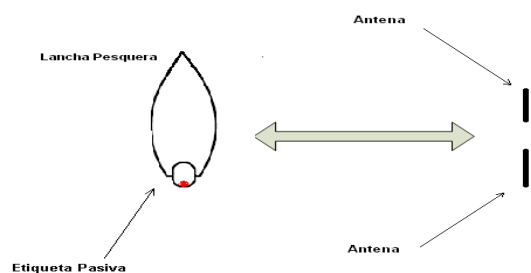
Las figuras 4.25 (a), (b) y (c) representan las ubicaciones de la etiqueta respecto de las antenas del lector fijo al usar ambos motores. La figura 4.25 (c) representa la ubicación de la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick con información grabada por el usuario.



(a) Ubicación de la etiqueta RFID en el block



(b) Ubicación de la etiqueta RFID en el cobertor



(c) Ubicación de la etiqueta RFID Alien H3 Metal Mount Brick al ubicarla en el block del motor de 150 HP

Figura 4.25: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor encendido

Las opciones de medición usadas durante esta prueba fueron las mismas que en 4.2.2.2.

Ubicación de la etiqueta RFID y tabla de promedios

Las ubicaciones usadas son las mismas que en 4.2.2.2. En la tabla VI se muestra los promedios de lectura de cada tabla mostrada en el Anexo D.

Tabla VI: Variaciones en la RSSI para motores encendidos

| Etiqueta | Información guardada | Ubicación | Motor usado | Distancia (m) | Frecuencia Promedio de Operación (KHz) | RSSI promedio (ddBm) |
|-------------------------------------|----------------------|--|---------------|---------------|--|----------------------|
| Alien H3 Metal Mount Brick | 0 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 5 | 910700 | -620 |
| | | | | 7 | 910500 | -659.35 |
| | | | | 9 | 907220 | -680.6 |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | 904500 | -709.3 |
| | | | | 7 | 908100 | -723.9 |
| | | | | 9 | 906100 | -739.95 |
| Alien H3 Metal Mount Brick | 34 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 5 | 911700 | -625 |
| | | | | 7 | 907300 | -663.15 |
| | | | | 9 | 907820 | -729.05 |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 5 | 909120 | -711.65 |
| | | | | 7 | 903500 | -698.85 |
| | | | | 9 | 909740 | -721.5 |
| Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag | 0 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 6 | 905900 | -477.1 |
| | | | | 8 | 905230 | -521.55 |
| | | | | 10 | 904800 | -516.55 |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 6 | 905220 | -539.3 |
| | | | | 8 | 905560 | -539.15 |
| | | | | 10 | 903710 | -545.3 |
| Gen 2 Multi Purpose Metal Tag | 0 bytes | Cobertor | MERCURY 75 HP | 5 | 903500 | -632.5 |
| | | | | 6 | 907460 | -634.95 |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | 905100 | -664.95 |
| | | | | 6 | 902540 | -660.35 |

4.2.2.4. Mediciones de la intensidad de la señal recibida (RSSI) y de la frecuencia de operación de una etiqueta pasiva ubicada en un motor fuera de borda encendido y en movimiento de una embarcación pesquera

Las condiciones de medición, tales como la distancia entre embarcaciones, los motores, las antenas y las etiquetas usadas son las mismas que en 4.2.2.2. Las figuras 4.26 (a) y (b) representan las ubicaciones de la etiqueta respecto de las antenas del lector fijo al usar ambos motores. La lancha pesquera pasó enfrente de la embarcación guardacostas PGM a una velocidad aproximada de 20 km/h. La guardacostas tipo PGM estuvo estática en todo momento.

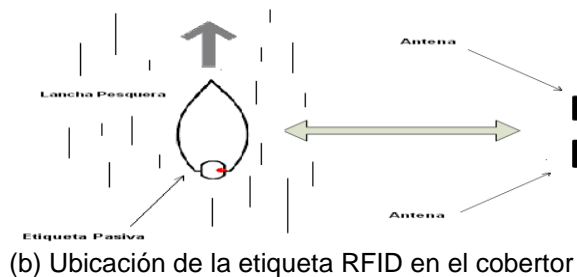
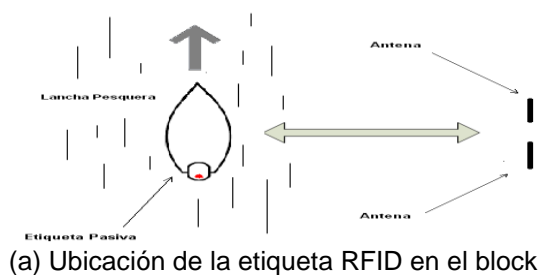


Figura 4.26: Ubicaciones de las etiquetas usadas para las pruebas de campo con el motor encendido y en movimiento

Las opciones de medición usadas durante esta prueba fueron las mismas que en 4.2.2.2.

Ubicación de la etiqueta RFID y tabla de promedios

Las ubicaciones usadas durante esta medición son las mismas que en 4.2.2.2 y se observan los promedios en la tabla VII. Los promedios de lectura corresponden al Anexo E.

Tabla VII: Variaciones en la RSSI para motores en movimiento

| Etiqueta | Información guardada | Ubicación | Motor usado | Distancia (m) | Frecuencia Promedio de Operación (KHz) | RSSI promedio (dBm) | |
|-------------------------------------|----------------------|--|---------------|---------------|--|---------------------|--|
| Alien H3 Metal Mount Brick | 0 bytes | Cobertor | MERCURY 75 HP | 5 | 905100 | -705.1 | |
| | | | | 7 | 908300 | -702.25 | |
| | | | | 9 | 903100 | -705.15 | |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | <i>No hubo lectura</i> | | |
| | | | | 7 | | | |
| | | | | 9 | | | |
| Alien H3 Metal Mount Brick | 34 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 5 | 905290 | -675.3 | |
| | | | | 7 | 905900 | -697.15 | |
| | | | | 9 | 908920 | -709.75 | |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 5 | 909300 | -718.05 | |
| | | | | 7 | 903580 | -719.9 | |
| | | | | 9 | 909100 | -714.8 | |
| Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag | 0 bytes | Cobertor | YAMAHA 150 HP | 6 | 907875 | -518.5 | |
| | | | | 8 | 905740 | -483.25 | |
| | | | | 10 | 905314,3 | -535.1 | |
| | | Superficie plástica cercana a una metálica | YAMAHA 150 HP | 6 | <i>No hubo lectura</i> | | |
| | | | | 8 | | | |
| | | | | 10 | | | |
| Gen 2 Multi Purpose Metal Tag | 0 bytes | Cobertor | MERCURY 75 HP | 5 | 910900 | -612.2 | |
| | | | | 6 | 907300 | -623.05 | |
| | | Superficie metálica | MERCURY 75 HP | 5 | <i>No hubo lectura</i> | | |
| | | | | 6 | | | |

4.2.2.5. Análisis de resultados mediante el uso de modelos de propagación en los enlaces lector-etiqueta y etiqueta-lector

Referente a los gráficos estadísticos mostrados en 4.2.2.1:

Al usar una antena y una etiqueta que no tiene información grabada previamente por el usuario las lecturas son posibles a distancias menores e iguales a 9 metros. En este mismo caso, el cobertor no fue un obstáculo para realizar lecturas ya que éstos son hechos con fibra de vidrio. Podemos ver en la figura 4.17 (b) que a los 9 metros el promedio de lecturas fue superior a las 2000.

Al usar una antena y una etiqueta que tiene información grabada previamente por el usuario las lecturas son posibles a distancias menores e iguales a 5 metros. Al usar el cobertor, las lecturas son mejores a 5 metros de distancias siendo el promedio de lecturas 2848,1 (ver figura 4.17 (d)). Por el contrario, si no se usa el cobertor el promedio de lecturas baja a 966,5 (ver figura 4.16 (c)).

Al usar dos antenas y una etiqueta que tiene información grabada previamente por el usuario las lecturas son posibles a distancias menores e iguales a 9 metros. Si comparamos las figuras 4.17 (a) y 4.16 (b) vemos que el promedio de lecturas para cada distancia son mejores si se usa el cobertor del motor fuera de borda. Al comparar las figuras 4.17 (c) y 4.16 (d), vemos también que el promedio de lecturas es en ciertos casos mayor si se usa el cobertor del motor fuera de borda.

La idea de realizar los siguientes cálculos en los enlaces lector-etiqueta (Forward Link) y etiqueta-lector (Reverse Link) es la de estimar la potencia recibida tanto en la etiqueta como en el lector. 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 [26,31] y excediendo las mismas. En [32] 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)⁴ 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 la Tabla VIII 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

⁴ Para calcular el Radar Cross Section se asume que hay máxima transferencia de potencia [33,34]

dBi para la ganancia de la antena del lector, y 2 dBi para la ganancia de la antena de la etiqueta.

Tabla VIII: 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 |

Las tablas V, VI y VII muestran que la RSSI varía según la distancia de lectura. Además influye mucho el diseño de etiqueta pasiva que se esté usando. Para el primer caso, por ejemplo, tenemos en la tabla V que al ubicar la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag en el cobertor de un motor fuera de borda apagado la RSSI a 5 metros es -629.85 ddBm y a 6 metros es -641.75 ddBm. Para el segundo caso, la tabla V muestra que a 5 metros al usar las etiquetas Alien H3 Metal Mount Brick (sin información grabada) y la etiqueta Gen 2 Multi Purpose Metal Tag la

RSSI de cada etiqueta es distinta y respectivamente -701.5 ddBm y -629.85 ddBm al ubicarlas en el mismo motor y lugar (a pesar de haber recibido ambas teóricamente 1.42 dBm según la tabla VIII).

Las tablas de los Anexos C, D y E muestran que la mayor cantidad de lecturas fueron realizadas por las antenas con polarización lineal de 12 dB. Además, dependiendo de la antena, ya sea está circular o lineal, la RSSI variará.

La ubicación de la etiqueta en un motor fuera de borda influye en la RSSI. En la tabla V al ubicar la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick (sin información guardada) en el cobertor y en una superficie metálica la RSSI a 5 metros es respectivamente -701.5 ddBm y -741.05 ddBm. Vemos que la pérdida debido a la ubicación es de 39.55 ddBm.

El grabar información en el banco de memoria User Data genera cambios en la RSSI recibida en el lector si se la compara con una etiqueta en la que no se ha grabado información alguna. Por ejemplo, al usar el motor YAMAHA de 150 HP y ubicando la etiqueta Alien H3 Metal Mount Brick (con y sin información) en el cobertor se pueden determinar las respectivas pérdidas por grabar información (ver tabla

VI). Así pues, a 5 metros tenemos una pérdida de 5 ddBm, a 7 metros 3.8 ddBm y a 9 metros 48.45 ddBm.

Existen variaciones en la RSSI al estar el motor fuera de borda apagado, encendido, y en movimiento. Por ejemplo, en el caso de la etiqueta Gen 2 Surface Independent Epoxy Tag ubicada en el cobertor de un motor de 150 HP Yamaha, la RSSI a 6 metros con el motor apagado es de -482.15 ddBm (tabla V), -477.1 ddBm con el motor encendido y sin movimiento (tabla VI) y -518.5 ddBm con el motor encendido y en movimiento (tabla VII). Para el caso en que las demás etiquetas estuvieron adheridas a superficie metálica o a una cercana, no hubo registro alguno de potencia recibida (ver tabla VII)

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Las conclusiones son las siguientes:

- 1) El uso de un lector portátil debe ser para embarcaciones de pequeño tamaño, en este caso en embarcaciones guardacostas de tipo ALBATROS. Se recomienda el uso de un lector portátil que incluya una antena externa que permita que el rango de lectura aumente considerablemente, además que emplee la técnica de modulación FHSS, para evitar posibles interferencias con el ruido proveniente del motor fuera de borda a ser identificado.
- 2) En cuanto al lector fijo, éste debe ser usado en embarcaciones de mayor tamaño. Las antenas de este lector deben ser ubicadas en las bandas de cada embarcación. Estas antenas deben ser de de la mayor ganancia posible y fijando la potencia de transmisión del lector al máximo (en el caso del INfinity 510 es 330 ddBm), esto para poder tener el mayor alcance posible. El uso de una antena con polarización lineal (vertical) mejorará considerablemente este alcance, ya que como se vio en 3.2.2 las posiciones posibles para una etiqueta pasiva

RFID son en el block y en el cobertor del motor. Estas dos posiciones permiten a la etiqueta ser ubicada de forma vertical.

- 3) El uso de una antena con polarización lineal conlleva a que la zona de cobertura sea menor, por lo que se recomienda el uso de dos antenas en cada banda de la embarcación que portará el lector fijo. Una antena debe estar separada de la otra 2.5 metros. En 3.2.1 se muestra la zona de cobertura desde la vista superior, bajo las condiciones mencionadas. El uso de una antena con polarización circular hará que la zona de cobertura sea mayor, con la desventaja que la etiqueta a ser leída reciba la mitad de la potencia que si se usara una antena similar con polarización lineal.
- 4) Una etiqueta pasiva RFID que trabaja en la banda de UHF puede ser leída al encontrarse en ambientes marinos y al ser ubicada en un motor fuera de borda que se encuentra encendida o también en movimiento. El ruido proveniente de este tipo de motores tiene un comportamiento aleatorio tanto en frecuencia como en amplitud, como se vio en 4.1.1.
- 5) El diseño del motor y de la etiqueta RFID influye en las mediciones y en el rango de lectura que pueda tener una etiqueta ya sea si se usa

un lector fijo o un lector portátil. En el análisis de resultados de 4.2.2.5 se verifica los cambios de potencia recibida según el motor usado y la etiqueta empleada.

- 6) Las distancias logradas con los tres tipos de etiquetas y las condiciones de transmisión ya mencionadas anteriormente reflejan que las lecturas son posibles para distancias aún mayores a la establecida inicialmente por la DIRNEA (5 metros).

La recomendación es la siguiente:

- 1) La tecnología RFID está en constante avance y desarrollo, por lo que como trabajo a futuro se recomienda el uso de etiquetas pasivas con un diseño apropiado y un rango mucho mayor a los empleados en el presente trabajo.

ANEXOS

**ANEXO A: ESPECIFICACIONES DE LAS ANTENAS
USADAS**

**ANEXO B: ESPECIFICACIONES DE LAS ETIQUETAS
RFID USADAS**

**ANEXO C: TABLAS DE LECTURA
PROPORCIONADAS POR EL LECTOR INFINITY 510
DE LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y DE LA RSSI
DE UN MOTOR FUERA DE BORDA APAGADO DE
UNA EMBARCACIÓN PESQUERA (ADJUNTAS EN CD)**

**ANEXO D: TABLAS DE LECTURA
PROPORCIONADAS POR EL LECTOR INFINITY 510
DE LA FRECUENCIA DE OPERACIÓN Y DE LA RSSI
DE UN MOTOR FUERA DE BORDA ENCENDIDO Y SIN
MOVIMIENTO DE UNA EMBARCACIÓN PESQUERA
(ADJUNTAS EN CD)**

**ANEXO E: TABLAS DE LECTURA PROPORCIONADAS
POR EL LECTOR INFINITY 510 DE LA FRECUENCIA
DE OPERACIÓN Y DE LA RSSI DE UN MOTOR FUERA
DE BORDA ENCENDIDO Y EN MOVIMIENTO UNA
EMBARCACIÓN PESQUERA (ADJUNTAS EN CD)**

GLOSARIO

| | |
|---------|--|
| ADC | Analog Digital Converter |
| AM | Amplitud Modulation |
| CRC-16 | 16 bits Cyclic redundancy check |
| dBm | Decibelio referenciados a 1 miliwatt |
| ddBm | deci dBm |
| DSB-ASK | Double Sideband Amplitude Shift Keying |
| EEPROM | Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory |
| EIRP | Effective isotropic radiated power |
| EPC | Electronic Product Code |
| ERP | Effective radiated power |
| ETSI | European Telecommunications Standards Institute |
| FCC | Federal Communications Commission |
| FDX | Full Duplex |
| FHSS | Frequency Hopping Spread Spectrum |
| HDX | Half Duplex |
| HF | High Frequency |
| IC | Integrated circuit |
| IEC | International Electrotechnical Commission |
| ISM | Industrial, scientific and medical (ISM) radio bands |
| ISO | International Organization for Standardization |
| LBT | Listen Before Talk |
| LF | Low Frequency |
| PC | Protocol Control |
| PC | Polycarbonate |
| PIE | Pulse Interval Encoding |
| POM | Polyacetate |
| PP | Polypropylene |
| PR-ASK | Phase Reversal Amplitud Shift Keying |
| PVC | Polychloride vinyl |

| | |
|---------|---------------------------------------|
| RFID | Radio Frequency Identification |
| RO | Read only |
| RSSI | Received Signal Strength Indicator |
| SKU | Stock Keeping Unit |
| SSB-ASK | Single Sideband Amplitud Shift Keying |
| TARI | Type A Reference Interval |
| TID | Tag Identifier |
| UHF | Ultra High Frequency |
| UPC | Universal Product Code |
| WORM | Write many read many |
| WORM | Write once read many |

BIBLIOGRAFÍA

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, Ecuador, Mayo 2008.
2. DEPARTAMENTO DE OPERACIONES DE LA DIRECCIÓN NACIONAL DE ESPACIOS ACUÁTICOS, Estadísticas de robo de motores fuera de borda a noviembre del 2008.
3. INTERMEC, Conceptos básicos de RFID: Conocimiento y uso de la identificación por radio frecuencia, Intermec white paper, 2007, pp. 2. Disponible en: http://www.intermec.com.mx/learning/content_library/white_papers/localized/wpABC_MX.pdf.
4. INTERMEC, System Manual, 2005, pp. 22. Disponible en http://epsfiles.intermec.com/eps_files/eps_man/936-000.pdf.

5. RFID JOURNAL, Glossary of RFID Terms. Disponible en <http://www.rfidjournal.com/article/glossary/2>>.
6. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia RFID + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 62-69.
7. DOBKIN D., The RF in RFID Passive UHF RFID in Practice, Elsevier, 2008, pp. 37.
8. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia RFID + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 32-36.
9. PRASHANTH M., Study on RFID and UHF Gen 2 Tags, pp. 8-9. Disponible en <http://prashanthm.com/Documents/RFID%20Report.pdf> >.
10. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia RFID + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 105-109.
11. INTERMEC, System Manual, 2005, pp. 40-43. Disponible en http://epsfiles.intermec.com/eps_files/eps_man/936-000.pdf>.

12. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia Rfid + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 77-83.
13. LAHIRI S., RFID Source book, Prentice Hall, 2005, pp. 4-5.
14. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia Rfid + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 71-76.
15. LAHIRI S., RFID Source book, Prentice Hall, 2005, pp. 15-19.
16. INTERMEC, System Manual, 2005, pp. 4-5. Disponible en http://epsfiles.intermec.com/eps_files/eps_man/936-000.pdf.
17. BROWN S., PATADIA S., DUA S., Comptia Rfid + Certification, Mc Graw Hill, 2007, pp. 247-261.
18. SKYRFID, Free RFID Courses. Disponible en <http://www.skyrfid.com>.
19. LIBERA NETWORKS, RFID: Tecnología, Aplicaciones y Perspectivas, Septiembre 2006, pp. 10-12. Disponible en

<<http://www.libera.net/website/tecnologia/whitepapers/Whitepaper%20WP-RFID-001%20Sept%202006.pdf>>.

20.SANGHERA P., RFID+ Study Guide and Practice Exam, Syngress, 2007, pp. 121-123.

21.SANGHERA P., RFID+ Study Guide and Practice Exam, Syngress, 2007, pp. 67-71.

22.SKYRFID, RFID Gen 2 What is it. Disponible en <http://www.skyrfid.com/RFID_Gen_2_What_is_it.php>.

23.ZEBRA TECHNOLOGIES, Managing the EPC Generation Gap, Application White Paper, 2004, pp. 3. Disponible en <<http://www.zebra.com>>.

24.HIGHTECHAID, <http://www.hightechaid.com>.

25.RFID Journal, A Summary of RFID Standards. Disponible en <<http://www.rfidjournal.com/article/view/1335/1/129>>.

26.MIELOO & ALEXANDER, RFID/EPC in Europe, White Paper, 2006.

Disponible en <www.mielooandalexander.com>.

27.AHSON S., ILYAS M., RFID Handbook: Applications, Technology, Security, and Privacy, CRC Press, 2008, pp. 20-22.

28.ODIN TECHNOLOGIES, European RFID Reader Benchmark, 2007,
www.odintechnologies.com

29.SIRIT, INfinity 510 User's Guide, 10 de enero del 2007.

30.SKY RFID, RFS-2001 RFID Reader Module User's Manual.

31.M. Brown, S. Patidia, S. Dua, Comptia RFID+ Certification, Mc Graw Hill Companies, United States of America, 2007, pp. 265-267.

32.J. Griffn, 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.

33.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.

34.H. Loo et al., "Chip impedance Matching for UHF RFID Tag antenna Design," *Progress In Electromagnetics Research, PIER* 81, 2008, pp. 365.