



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

“DISEÑO DE UN PROTOTIPO DE SISTEMA DE PREVENCIÓN  
DE ACCIDENTES PARA VEHÍCULOS INDUSTRIALES  
MEDIANTE LA TECNOLOGÍA DE IDENTIFICACIÓN POR  
RADIOFRECUENCIA”

**TRABAJO DE TITULACIÓN**

Previo a la obtención del Título de:

**MAGÍSTER EN TELECOMUNICACIONES**

RONALD OMAR ALVAREZ URDIALES  
ANGÉLICA SILVANA GARCÍA VILLAMAR

**GUAYAQUIL – ECUADOR**

**AÑO: 2018**

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por haber sido mi guía en todo momento de mi vida. A mi madre Lucía, por el cariño y la formación profesional que con tanto esfuerzo logró proporcionarme. A mi tía Celia quien todos los días con su cariño y dedicación se preocupa de que me encuentre bien. A mis hijos Ronald, Ricardo y Andrés, quienes han sabido motivarme para poder concluir con este trabajo conociendo que el tiempo que dedicaría a esta investigación implicaba disminuir el tiempo de dedicación hacia ellos. Muy en especial a mi hijo Ronald quien me ayudó en todas las pruebas e implementaciones. Un agradecimiento especial al Ing. Freddy Pincay Peredo y al Ing. David Izurieta, por su incondicional apoyo y valiosa aportación a esta investigación, así como el haber brindado la facilidad para poder realizar pruebas, mediciones dentro de un Terminal portuario y más que todo por creer en este proyecto. De igual forma agradezco al PhD. Boris Ramos por su valiosa guía para culminar con éxito este proyecto.

Ronald Álvarez Urdiales

Primeramente, agradezco a Dios, por estar presente en todas las circunstancias de mi existencia, fortaleciéndome y permitiéndome culminar esta etapa de mi vida. Agradezco a mi compañero de tesis por invitarme a ser parte de este proyecto y por su valioso aporte en el desarrollo del mismo.

Por último, pero no menos relevante, agradezco a mi familia, a Norman y a mis queridos hermanos por su apoyo incondicional, brindándome sus cuidados y constituyéndose en ese soporte tan necesario en los momentos de fragilidad para poder continuar con este reto y por su puesto mi proyecto más importante, la vida misma.

Angélica García Villamar

## DEDICATORIA

Este proyecto se lo dedico a todos los trabajadores de los puertos, quienes diariamente laboran con polvo, sol, ruido y con todos los riesgos que implica su labor y que lo hacen con la finalidad de poder llevar el pan diario a sus hogares.

Ronald Alvarez Urdiales

A las mayores bendiciones de mi vida y mi mayor incentivo, mis hijos Paúl, Roger y Alán, sus ocurrencias y cariño llenan de alegría y felicidad mis días.

A mis padres Isabel y Felipe, quienes no me acompañan físicamente, más sus enseñanzas y amor incondicional permanecen en mi mente y mi corazón.

Angélica García Villamar

## **TRIBUNAL DE EVALUACIÓN**

---

**Ing. Dennys Cortez, M.sC.**

**SUBDECANO DE LA FIEC (E)**

---

**Ing. Boris Ramos, Ph.D.**

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

---

**Ing. Ronald Ponguillo, M.sC.**

**MIEMBRO PRINCIPAL DEL TRIBUNAL**

## DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Trabajo de Titulación, nos corresponde exclusivamente; y damos nuestro consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"

---

Ing. Ronald Álvarez Urdiales

---

Ing. Angélica García Villamar

## RESUMEN

La realización del proyecto propuesto comprende el diseño de un prototipo de prevención de accidentes de vehículos industriales que pretende alertar de forma temprana a los operadores de maquinaria industrial sobre la cercanía de personas al área definida como peligrosa mediante el despliegue de una red compuesta de lectores y TAGS activos que funcionan con tecnología RFID.

La tecnología Open Source permite complementar el despliegue de la solución facilitando los recursos necesarios para el diseño de un software de control que mediante la utilización de mecanismos de serialización ejecuta el proceso de captura de la información, procesa y envía los datos obtenidos en las lecturas hacia los puertos de salida y finalmente transfiere la información a una base de datos para su posterior visualización.

El documento justificativo de la solución se desarrolla en seis capítulos, en los que se expone el ciclo de vida del proyecto:

Primeramente, se analiza la problemática existente que da origen al desarrollo de la solución planteada.

En el segundo capítulo se analizan los principios básicos de operación de los sistemas RFID, se realiza una breve síntesis, justificando la metodología y tecnología utilizadas.

En el tercer capítulo se expone el diseño del hardware, se detallan los puertos de entrada, señalización y salida para la generación de la alarma audible y visual.

En el capítulo cuarto se realiza la definición y el modelamiento de la base de datos en la que se almacena la información de las lecturas RFID obtenidas, así mismo se realiza una breve descripción de la interface de usuario.

Una vez conocidas las herramientas que se utilizarán y el ambiente de desarrollo elegido, en el capítulo cinco se define la implementación de la solución, describiendo los subsistemas que la componen.

Finalmente, en el capítulo seis se ejecutan las pruebas relativas a la capacidad teórica, la frecuencia, alcance de distancia y funcionalidad. Mediante la aplicación del

modelo de propagación de pérdida en el espacio libre y la correspondiente estimación de cobertura se analizan los resultados obtenidos, lo que permitirá comprobar la fiabilidad del sistema prototipado, el cual opera bajo tecnología Ultra Narrow Band y emplea técnicas de Espectro Ensanchado por Salto de Frecuencia.

## ÍNDICE GENERAL

DEDICATORIA .....	iii
TRIBUNAL DE EVALUACIÓN.....	iv
RESUMEN.....	vi
ÍNDICE GENERAL.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS .....	xiii
INDICE DE TABLAS .....	xvi
CAPÍTULO 1 .....	1
1.    PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA.....	1
1.1    Identificación del problema .....	1
1.2    Justificación .....	3
1.3    Solución Propuesta .....	4
1.4    Objetivos del trabajo de titulación .....	7
1.4.1    Objetivos Generales .....	7
1.4.2    Objetivos específicos .....	7
1.5    Metodología.....	7
1.6    Alcance.....	8
CAPÍTULO 2.....	9
2.    TECNOLOGÍA RFID.....	9
2.1    Espectro Radioeléctrico.....	9
2.1.1    Definiciones .....	9
2.1.2    Tipos de propagación .....	12
2.1.3    Problemas comunes en propagación .....	13
2.1.4    Espectro Ensanchado .....	15

2.1.4.1	Sistemas de secuencia directa (DSSS).....	15
2.1.4.2	Sistema de salto de frecuencia (FHSS).....	16
2.1.4.3	Regulación en la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en Ecuador. ....	18
2.1.5	Ultra Narrow Band.....	19
2.1.6	Modulación GFSK.....	20
2.1.7	Pérdida de Paso.....	23
2.1.8	Indicador de Potencia de la Señal Recibida .....	23
2.2	Definición de RFID.....	23
2.2.1	Reconocimiento óptico de caracteres.....	25
2.2.2	Sistemas biométricos .....	26
2.2.3	Bandas magnéticas.....	26
2.2.4	Reconocimiento de voz .....	27
2.2.5	Frecuencias de operación RFID.....	27
2.2.6	Tipos de etiquetas.....	30
2.2.7	Estándares internacionales para RFID.....	32
	CAPÍTULO 3.....	35
	3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE A UTILIZAR PARA EL DISEÑO DEL CONTROLADOR.....	35
3.1	Introducción al hardware a utilizar.....	35
3.2	Descripción del hardware a utilizar .....	36
3.3	Puertos e interfaces .....	37
3.3.1	Puerto USB 2.0 .....	39
3.3.2	HDMI 2.0.....	39
3.3.3	Puerto LAN 10/100.....	40
3.3.4	Señales de control.....	40

3.4	Programación de firmware.....	42
	CAPÍTULO 4.....	45
4.	DISEÑO DE INTERFACES DE COMUNICACIÓN.....	45
4.1	Definición de la base de datos.....	45
4.2	Diseño de la base de datos.....	47
	4.2.1 Etapa del diseño conceptual.....	47
	4.2.2 Etapa del diseño lógico.....	48
	4.2.3 Etapa del diseño físico.....	49
4.3	Implementación de la base de datos.....	49
	4.3.1 Implementación de la base de datos de módulo de Control.....	50
	4.3.2 Implementación del módulo de Administración.....	51
4.4	Definición de las interfaces.....	52
	4.4.1 Interfaz de control.....	52
	4.4.1.1 Middleware.....	52
	4.4.2 Interfaz de administración.....	55
4.5	Diseño de las interfaces.....	55
	4.5.1 Diseño de módulo de control.....	56
	4.5.2 Diseño de módulo de administración.....	56
4.6	Prueba de las interfaces.....	60
	4.6.1 Pruebas de las interfaces del módulo de control.....	60
	4.6.2 Pruebas de las interfaces del módulo de administración.....	60
	CAPÍTULO 5.....	61
5.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN.....	61
	5.1 Descripción del escenario.....	61
	5.2 Descripción de los lectores RFID.....	62
	5.2.1 Subsistema de antena.....	63

5.2.1.1	Introducción al protocolo utilizado por el lector RFID .....	66
5.2.1.2	Modo de comunicación activo y pasivo .....	66
5.2.1.3	Comunicación punto a punto y multipunto.....	67
5.2.1.4	Chequeo de errores y mecanismo de re-envío.....	67
5.2.1.5	Protocolo de comunicación.....	68
5.2.1.6	Protocolo de comunicación y estructura de la trama.....	68
5.2.1.7	Trama de las etiquetas .....	70
5.2.2	Subsistema de radio frecuencia.....	70
5.2.3	Subsistema de captura.....	72
5.2.4	Subsistema de control.....	75
5.3	Ubicación de lectores RFID en maquinaria .....	77
CAPÍTULO 6.....		79
6.	PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	79
6.1	Prueba de Ruido proveniente de los Motores de la Maquinaria donde se instalarán las Antenas usando un Analizador Espectral.....	82
6.1.1	Pruebas de laboratorio.....	83
6.1.2	Pruebas de campo.....	85
6.1.3	Pruebas para el análisis del alcance y recepción de datos desde las Antenas del Controlador.....	86
6.2	Análisis de cobertura.....	92
6.2.1	Lectura de la etiqueta activa con el controlador implementado.....	92
6.2.2	Mediciones de la señal recibida a diferentes distancias (RSSI, por las siglas del inglés Received Signal Strength Indicator) y de la frecuencia de operación de la Etiqueta Activa desde un Controlador.....	93
6.2.3	Análisis de resultados mediante el uso de los Modelos de Propagación en los Enlaces Lector - Etiqueta y Etiqueta - Lector. ....	95
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		97

BIBLIOGRAFÍA.....	98
ANEXO A.....	101
PROGRAMACION DE MIDDLEWARE.....	101
ANEXO B.....	108
MEDICIONES DE PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS.....	108
ANEXO C.....	109
MEDICIONES DE LAS PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS.....	109
ABREVIATURAS.....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1. Accidente industrial por falta de atención en la zona.....	2
Figura 1.2. Aviso de accidentes de trabajo (IESS).....	3
Figura 1.3. Modelo de Causalidad de Pérdidas del ILCI [1].....	4
Figura 1.4. Funcionamiento del sistema a implementar.....	5
Figura 1.5. Colocación de antenas de 2.45 GHz en una excavadora.....	6
Figura 2.1. Espectro Radioeléctrico.....	10
Figura 2.2. Propagación por Onda Directa [3].....	12
Figura 2.3. Propagación por Onda Terrestre [3].....	13
Figura 2.4. Reflexión.....	14
Figura 2.5. Diagrama de Bloques de sistema DSSS [5].....	16
Figura 2.6. Diagrama de Bloques de sistema FHSS [5].....	17
Figura 2.7. Transición de Banda Estrecha a Banda Ancha en los dominios de tiempo y frecuencia.....	20
Figura 2.8. Diagrama de Bloques de Transmisor FHSS.....	21
Figura 2.9. Diagrama de Bloques de Receptor FHSS.....	21
Figura 2.10. Señales 2-GFSK.....	22
Figura 2.11. Señales 4-GFSK.....	22
Figura 2.12. Diagrama de Bloques básico de un Sistema RFID.....	24
Figura 3.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Prevención de Accidentes para Maquinaria Pesada.....	36
Figura 3.2. Raspberry [15].....	37
Figura 3.3. Puertos GPIO de Raspberry Pi 3 [15].....	42
Figura 3.4. Esquema de pruebas de fiabilidad.....	43
Figura 3.5. Configuración de tasa de comunicación del Equipo Lector.....	43
Figura 3.6. Configuración de parámetro de ganancia de recepción.....	44
Figura 4.1. Diagrama de Bloques de los Módulos de Control del Raspberry y de Administración.....	45
Figura 4.2. Base de Datos del Módulo de Control.....	46
Figura 4.3. Base de Datos del Módulo de Administración.....	46

Figura 4.4. Diagrama Entidad-Relación.....	48
Figura 4.5. Diagrama de diseño lógico .....	49
Figura 4.6. Diseño físico .....	49
Figura 4.7. Componentes RFID Middleware [18] .....	53
Figura 4.8. Módulo de Administración .....	57
Figura 4.9. Módulo Equipos .....	57
Figura 4.10. Añadir Equipos.....	58
Figura 4.11. Módulo Procesar.....	58
Figura 4.12. Módulo Usuarios .....	59
Figura 4.13. Pantalla para crear usuarios.....	59
Figura 4.14. Módulo Reportes.....	59
Figura 4.15. Pruebas del Módulo de Control .....	60
Figura 4.16. Reporte general de TAGs.....	60
Figura 5.1. Proceso de manipulación de contenedores en el Puerto de Guayaquil .	62
Figura 5.2. Unidad de Lectura y TAG RFID utilizados.....	63
Figura 5.3. Gráfico de un sistema SIMO.....	64
Figura 5.4. Dimensiones de un sistema SIMO [21] .....	65
Figura 5.5. Implementación de un sistema SIMO [21].....	65
Figura 5.6. Comunicación Punto y Multipunto.....	67
Figura 5.7. Chequeo de errores y re-envío de tramas.....	68
Figura 5.8. Protocolo de comunicación RFID.....	68
Figura 5.9. Trama RFID.....	69
Figura 5.10. Marco de datos de trama RFID.....	70
Figura 5.11. Antena RFID .....	71
Figura 5.12. Módulo lector de etiquetas RFID.....	73
Figura 5.13. Módulo disponible en el firmware.....	74
Figura 5.14. Parámetros de comunicación RFID .....	75
Figura 5.15. Relé con alimentación de 5 voltios.....	76
Figura 5.16 Sirena de 110 db.....	77
Figura 5.17. Ubicación del Sistema de Prevención de Accidentes en una grúa .....	77
Figura 5.18. Ubicación de antena frontal en la grúa.....	78
Figura 6.1. Vista panorámica de la Terminal Portuaria en Guayaquil .....	80

Figura 6.2. Vista panorámica del área de acopio de la Terminal Portuaria .....	80
Figura 6.3. Vista panorámica de los equipos Reach Staker de Implementación de prototipo en la Terminal Portuaria .....	80
Figura 6.4. Plano de la Terminal Portuaria de Guayaquil .....	81
Figura 6.5. Esquema de Comunicación utilizado .....	82
Figura 6.6. Medidor Fieldfox modelo N9916A .....	83
Figura 6.7. Distancia referencial de pruebas de Laboratorio .....	84
Figura 6.8. Radianes de primera prueba de campo .....	86
Figura 6.9. Distancia referencial de primera prueba de campo .....	87
Figura 6.10. Diagrama de flujo del proceso de pruebas de alcance .....	88
Figura 6.11. Distancia máxima Vs. ganancia del Receptor .....	89
Figura 6.12. Ganancia del Receptor vs. Distancia .....	90
Figura 6.13. Distancia referencial de segunda prueba de campo .....	91
Figura 6.14. Ganancia del Receptor vs. $10 \cdot \log(\text{Distancia})$ .....	91
Figura 6.15. Pruebas de coberturas realizadas .....	92
Figura 6.16. RSSI Vs Distancia .....	93
Figura 6.17. Path Loss vs Distancia .....	94

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Frecuencias para sistemas de Banda Ancha .....	19
Tabla 2.2. Estándares RFID[14].....	28
Tabla 2.3. Rangos de frecuencia RFID [14].....	29
Tabla 2.4. Consumo de potencia para aplicaciones RFID [14] .....	30
Tabla 3.1. Utilización de pines DB9.....	38
Tabla 5.1. Características Técnicas de antenas RFID .....	72
Tabla 6.1. Pruebas de Laboratorio de frecuencia RFID .....	84
Tabla 6.2. Muestras de RSSI tomadas en pruebas de Laboratorio.....	85
Tabla 6.3. Cálculo de Path Loss .....	85

# CAPÍTULO 1

## 1. PLANTEAMIENTO DE LA PROBLEMÁTICA

En el presente capítulo, se exponen las razones por las cuales se decidió diseñar el prototipo de un sistema de prevención de accidentes para vehículos industriales, mediante la tecnología de Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Así mismo, se realizará un pequeño bosquejo de los resultados que se esperan una vez implementada la solución indicada en los próximos capítulos.

### 1.1 Identificación del problema

Actualmente en los puertos, aeropuertos y muchas empresas se movilizan o trasladan cargas con vehículos pesados realizando trabajos con equipos de tipo industrial, empleando seguridades en forma de señalética y estableciendo políticas y procedimientos que deben ser cumplidas por los operadores de las maquinarias industriales y los trabajadores de las empresas y fábricas, sin embargo al tratarse de procesos supervisados por personas existe un alto y latente riesgo de errores, lo cual puede desencadenar en accidentes que generan pérdidas de calidad, productividad, activos fijos e incluso pérdidas de vida humana.

En las industrias de la construcción, minería, refinería, agricultura entre otras, se producen accidentes que son ocasionados por los operadores de maquinaria pesada, quienes ponen toda su atención en la carga que transportan. Si bien los equipos como montacargas, volquetas, camiones, entre otros en la actualidad emiten sonidos para alertar que están retrocediendo, solo es una alerta para los transeúntes y no es una alarma para el operador de la maquinaria pesada que en ocasiones olvida que existen otros vehículos y peatones en la misma área de trabajo, lo cual también podría ser causado por fatiga o falta de horas de sueño, así como por problemas propios de cada persona.

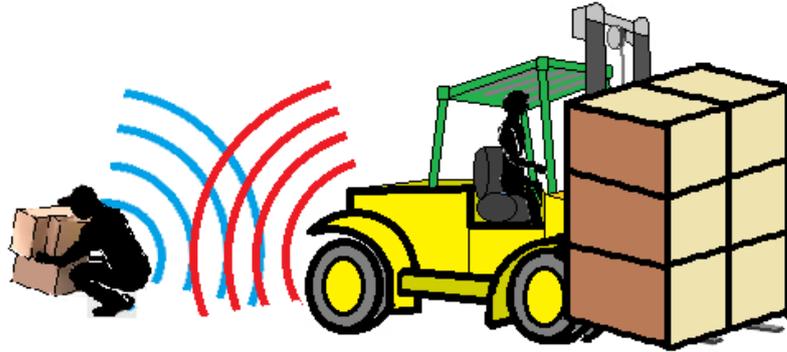


Figura 1.1. Accidente industrial por falta de atención en la zona

Otro caso donde se debe tomar en cuenta la prevención de accidentes laborales es en maniobras con grúas ya que es muy importante reducir eventos que puedan producirse en la operación de la maquinaria pesada, generándose un riesgo tanto para el operador de grúas como para las personas que trabajan alrededor de la maniobra.

Seguidamente señalaremos las principales medidas de prevención que toman las empresas para evitar accidentes (atropellamientos) de este caso de riesgo laboral:

- Delimitar el área de trabajo ya sea con cintas de seguridad, conos u otro equipo de delimitación.
- Evitar que permanezca personal, tras el contrapeso de la grúa o dentro de la radio de giro.
- No mover la grúa hasta que el ayudante se sitúe en un lugar que permita la máxima visibilidad de las trayectorias de la grúa e indique su operación.
- Utilizar aparatos de comunicación con el operario.
- Iluminar en trabajos de noche con luz similar a la del día o lo suficientemente profusa que elimine todo cono de sombra en el área de maniobras.
- Verificar el dispositivo sonoro de seguridad.

- Verificar que el personal cuente con su equipo de protección adecuada como el casco contra impacto, chaleco fluorescente, gafas de protección visual y el calzado de seguridad.

Como logramos observar las medidas anteriores únicamente son en cuanto a forma de trabajo y no se encuentran implementadas con apoyo tecnológico, sea debido al desconocimiento, inexistencia de tecnología, altos costos de adquisición o falta de cultura.

## 1.2 Justificación

En la actualidad tanto el gobierno como las empresas capacitan a los trabajadores con respecto a la seguridad industrial. Si visitamos la página del IESS se observa la cantidad de capacitaciones que ofrece el gobierno y también las estadísticas de accidentes de trabajo reportados por años y provincias. En el siguiente diagrama se registra los accidentes en la provincia de Guayas en los años posteriores. Como se muestra en la Figura 1.2 los accidentes laborales no han tenido una gran disminución, quizás por irresponsabilidad de los trabajadores, falta de conocimiento, falta de control administrativo, falta de aplicaciones tecnológicas, entre otros.

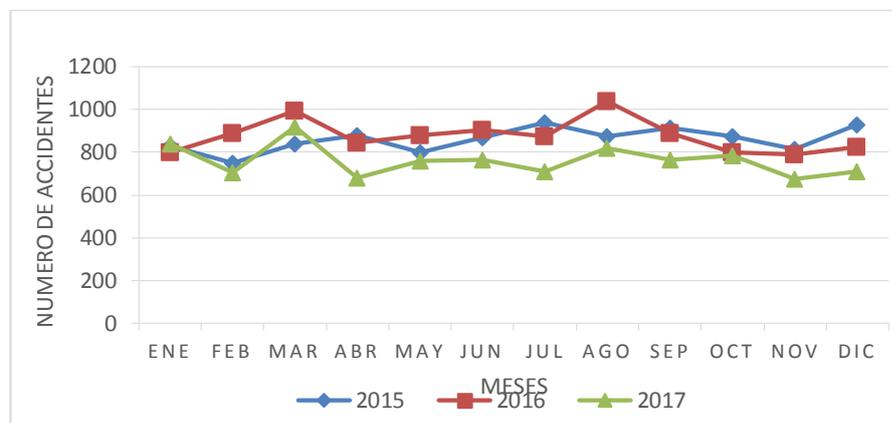


Figura 1.2. Aviso de accidentes de trabajo (IESS)

Hay que tener en cuenta que la responsabilidad de los accidentes con maquinaria pesada no solo recae sobre el operador del equipo. El Instituto latinoamericano de Capacitación Industrial (ILCI) nos muestra que toda pérdida por causa de un incidente se debe a alguna falta de control por la parte administrativa de la

empresa. El personal administrativo es responsable de encargarse que los trabajadores cumplan las políticas y protocolos de la empresa, hacer estudios de campo para establecer nuevas normas que se apeguen al ambiente de trabajo o utilizar avances tecnológicos que ayuden a mitigar incidentes.

En la Figura 1.3 se observa el modelo de causalidad de pérdidas del ILCI, donde vemos el efecto domino que nos muestra que la falta de control es la pérdida de equilibrio de una de las fichas y esto hace caer a las demás, teniendo como efecto final la pérdida de valor monetario o vida de personal por causa de un accidente.

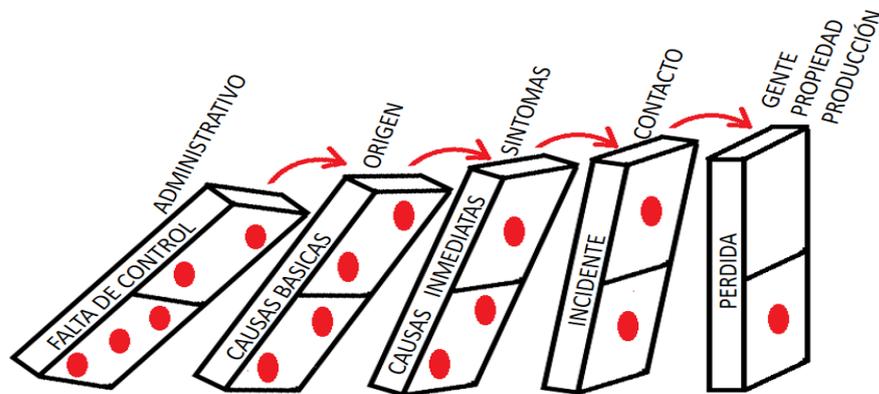


Figura 1.3. Modelo de Causalidad de Pérdidas del ILCI [1]

Existiendo la necesidad de un sistema de prevención de accidentes para vehículos industriales y teniendo las herramientas y conocimientos formales adquiridos en los cursos de la Maestría en Telecomunicaciones se ha decidido investigar y desarrollar un prototipo mediante la utilización de dispositivos de Identificación por Radiofrecuencia (RFID).

### 1.3 Solución Propuesta

Realizar un sistema compuesto por hardware y software que permita reducir el riesgo de accidentes entre personas y equipos móviles, cuando el personal deba trabajar en áreas cercanas a la operación de maquinarias o equipos industriales.

La implementación del sistema se realizará de la siguiente manera:

Primero hay que aclarar que se usará diferentes tipos de tecnologías. La primera será la tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID). Para implementar esta tecnología en nuestro sistema como se puede observar en la Figura 1.4, las personas llevarán una etiqueta RFID en el chaleco reflectivo o en alguna pulsera o casco que se le dará mientras se encuentren laborando. Esta etiqueta básicamente será un transmisor que emitirá la identificación de la persona que lleve dicha etiqueta y que previamente ha sido registrada en el software de administración del sistema, será leída por las antenas receptoras del sistema RFID cuando se acerque el transeúnte a la maquinaria pesada (ejemplo el montacargas mostrado en la Figura 1.4) y activará una alarma sonora y otra luminosa y quedará registrado el evento en la memoria del equipo receptor. El tamaño de la zona predefinida será establecido regulando la ganancia de la antena receptora RFID, la cual será una zona donde el personal corre mayor riesgo de sufrir un incidente.

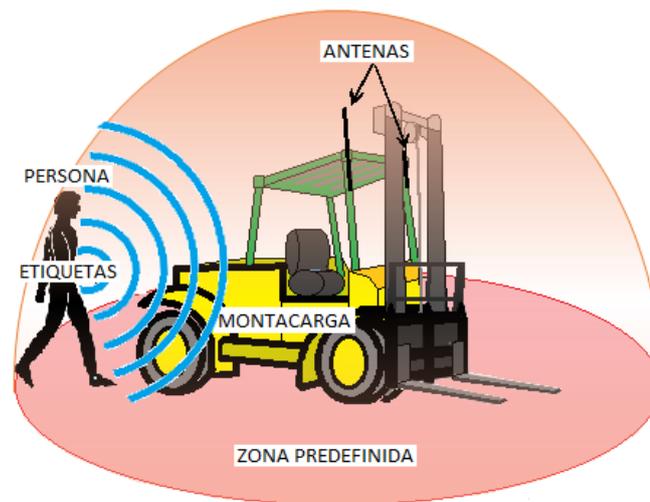


Figura 1.4. Funcionamiento del sistema a implementar

Es importante resaltar que la frecuencia a la que trabajará el sistema es de 2.45 GHz., para lo cual se colocarán antenas en la maquinaria pesada como se observa en la Figura 1.5. Esta antena cumplirá la función de receptor del sistema. Otra de las tecnologías utilizadas es la Ethernet, ya que todo lo almacenado en el equipo controlador podrá ser descargado mediante una computadora a través

de un puerto Ethernet en forma de una base de datos, que posteriormente podrá ser consultada para realizar los reportes necesarios.

Opcionalmente el equipo permite conectarse a una red WIFI para enviar la data recolectada a un servidor donde se registrará y analizará la información. Por tal razón, sería importante establecer una zona de red WiFi con buena cobertura en el área donde se trabajará con maquinarias pesadas que usen el sistema opcional a implementar.



Figura 1.5. Colocación de antenas de 2.45 GHz en una excavadora

También se utilizará un hardware libre como Raspberry para el diseño de un controlador. En el controlador se realizará la implementación de un middleware que ayude a interactuar entre los diferentes sub-sistemas como son el controlador principal implementado con un Raspberry PI modelo B, la unidad de lectura RFID y los dispositivos de entrada y salida como son las antenas, la luz estroboscópica, la sirena, los relés y las señales de comunicación. Cuando mediante las antenas ingresa o detecta una señal de RFID (etiqueta), esta es enviada al sub-sistema de lectura de RFID, a su vez la unidad de lectura de RFID interactúa con el controlador Raspberry mediante un puerto de comunicación USB y envía dicha trama hacia el controlador. Este la interpreta y la almacena en su memoria hasta que sea descargada y al mismo tiempo del controlador Raspberry activa sus señales de GPIO (General Purpose Inputs and Outputs), haciendo energizar los relés de la sirena y de la luz estroboscópica (alarma sonora y luminosa), alertando así al operador de la maquinaria.

De esta manera el sistema implementado proporcionará una alerta temprana a los conductores u operadores de maquinarias pesadas cuando los peatones se encuentren en peligro cerca de los vehículos.

## **1.4 Objetivos del trabajo de titulación**

### **1.4.1 Objetivos Generales**

Diseñar un sistema para mitigar accidentes laborales con maquinaria pesada utilizando tecnología RFID.

### **1.4.2 Objetivos específicos**

- Describir el funcionamiento y la arquitectura general de los sistemas de identificación por radiofrecuencia (RFID).
- Describir la arquitectura general de Raspberry PI para el diseño del controlador.
- Desarrollar un middleware que realice el análisis de datos de los incidentes posibles almacenados en el controlador.

## **1.5 Metodología**

Para el desarrollo de la investigación se utilizará una metodología deductiva y metodología inductiva.

- **Metodología Deductiva**

La metodología deductiva permitirá realizar un análisis detallado de la problemática, logrando así identificar la mejor solución para el diseño de un sistema de prevención de accidentes de vehículos industriales

Una vez analizado el medio de transmisión y por metodología inductiva se identificarán los componentes necesarios para desarrollar la solución.

- **Metodología Inductiva**

Se realizará la selección y diseño del hardware del controlador y el mecanismo de comunicación entre el mismo y la unidad de lectura RFID para detectar la presencia de personas a una distancia mínima.

Se diseñará y desarrollará un firmware que ejecute y envíe señales necesarias hacia los puertos de salida.

Mediante la generación de una alarma audible y visual se alertará al conductor de la maquinaria cuando los trabajadores (peatones) se encuentren peligrosamente cerca de los vehículos y se almacenará en la memoria del controlador y opcionalmente se transmitirá a un centro de monitoreo.

Finalmente se ejecutarán pruebas del prototipo, en frecuencia, en alcance de distancia y en funcionalidad.

## **1.6 Alcance**

El sistema proporcionará una alerta temprana a los conductores cuando una persona se aproxime al vehículo.

El sistema podrá ser aplicable a todo tipo de vehículos industriales como carretillas, elevadores, maquinaria compactadora, apiladores, excavadoras, montacargas, entre otros.

Adicional, los datos almacenados en el centro de gestión generarán un valor agregado al sistema, ya que mediante estos datos se podrá realizar:

- Verificación del personal que ingrese a la zona definida de alto riesgo.
- Tiempos de operación de vehículos pesados.
- Ubicación en tiempo real de los vehículos pesados por áreas.

## CAPÍTULO 2

### 2. TECNOLOGÍA RFID

En esta sección se desarrollan los conceptos utilizados para el diseño e implementación del sistema realizado en este proyecto. Se explicará aspectos relevantes sobre teoría de comunicaciones, identificación automática, identificación por radio frecuencia (RFID), sus elementos principales y alternativas tecnológicas.

#### 2.1 Espectro Radioeléctrico

El término espectro radio eléctrico, también denominado espectro radio frecuencia o RF, se aplica al espectro radioeléctrico ubicado entre unos 3 kHz y unos 300 GHz. El hertzio es la unidad de medida de la frecuencia de las ondas, y comprende a un ciclo por segundo [2]. Las ondas electromagnéticas dentro de este espectro, logran conformarse para transmitir aplicando la corriente alterna, la misma que puede ser aplicada por un generador hacia la antena.

##### 2.1.1 Definiciones

Las ondas de radio tienden a desplazarse en línea recta en condiciones determinadas y con una atmósfera uniforme, es decir que si existe una línea de vista entre el transmisor y el receptor existirá una buena comunicación, pero si la distancia es mucho mayor de tal forma que va más allá del horizonte se tendrá que tomar en cuenta las distintas condiciones de propagación y escoger las frecuencias adecuadas para que se pueda operar correctamente.

Para realizar comunicaciones lejanas entre dos puntos y sin salir de la atmosfera se utilizan frecuencias denominadas altas frecuencias (UHF) [2].

Seguidamente en la Figura 2.1 podemos observar cómo se divide en bandas el espectro de radio comunicación.

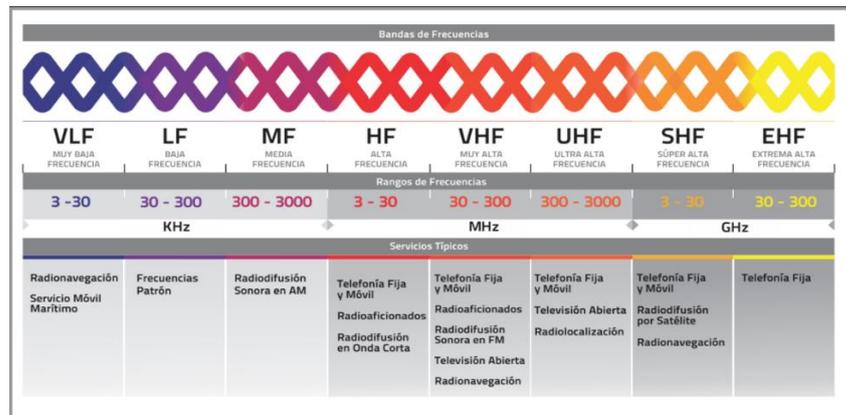


Figura 2.1. Espectro Radioeléctrico

Existen fenómenos ambientales que afectan a las ondas electromagnéticas, por lo que detallaremos cuales son y cómo las afectan.

### Refracción

Con la refracción las ondas de radio sufren una desviación de su trayectoria, esto ocurre por atravesar medios de diferentes densidades, las capas atmosféricas poseen distintas densidades, lo que afectará su trayectoria y modificarán su ángulo [2]. El ángulo de desviación se lo puede calcular utilizando los coeficientes de refracción de los medios que atraviesen las ondas, tal como se lo muestra en la siguiente fórmula.

$$IR = \frac{V_p}{V_m} \quad (2.1)$$

IR= Índice de refractividad

Vp = Velocidad de propagación en el espacio libre

Vm = Velocidad de propagación en el medio

### Reflexión

Se conoce que las ondas de radio pueden atravesar diferentes capas de la atmósfera desde la tropósfera hasta la ionósfera, en el caso de que los

índices de refracción sean muy diferentes o atraviere muchas capas podría darse el caso de que se produzca una reflexión de la onda de radio, las ondas más afectadas son las que se encuentran en las frecuencias de VHF y mayores [3].

### **Dispersión**

Pérdidas por dispersión o pérdidas en la trayectoria en espacio libre dependen de la frecuencia, y aumentan con la distancia, las masas de electrones o las pequeñas gotas de lluvia en grandes masas o cantidades de extensas áreas pueden afectar las ondas de radio y producir el efecto denominado dispersión [2]. En comunicaciones es necesario comparar el diámetro de la gota de lluvia vs el tamaño de la longitud de onda de la señal, puesto que si el diámetro de la gota de lluvia es menor a la longitud de onda de la señal, ésta solo será atenuada levemente, en caso contrario si el diámetro de la gota es mayor a la longitud de onda entonces se producirá el fenómeno de dispersión ya que generará una atenuación muy grande [3]. Entre los tipos de dispersión atmosférica cabe resaltar la dispersión de Rayleigh que es la dispersión de la luz visible o cualquier otra radiación electromagnética causada por las moléculas del aire cuyo tamaño es muy pequeño (menos de 1/10 de la longitud de onda de los fotones dispersados); así como la dispersión Mie que no depende principalmente de la longitud de onda sino más bien la dispersión de partículas de mayor tamaño, produciendo un patrón como un lóbulo de antena más nítido e intenso en las partículas más grandes.

En la siguiente fórmula se obtiene la longitud de onda de una señal de radio basado en su frecuencia de operación y de la velocidad de la luz.

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (2.2)$$

c = Velocidad de la luz

f = Frecuencia

$\lambda$  = Longitud de onda

## Difracción

Básicamente en los límites de la superficie se produce la difracción y es el esparcimiento de la onda, es decir que para producir la difracción debe haber un obstáculo, de esta manera la onda podrá llegar al otro lado del obstáculo, este fenómeno es muy importante para las zonas de sombra de señal, es decir donde pueden existir edificios o montañas [2].

### 2.1.2 Tipos de propagación

Entre otros factores, básicamente la propagación de las ondas electromagnéticas depende del ambiente y del sistema de tal forma que las ondas pueden ser influidas o afectadas por la tierra y por las condiciones atmosféricas.

#### Propagación por onda directa

Como se muestra en el Figura 2.2, para realizar este tipo de propagación se necesita tener una línea de vista entre el transmisor y el receptor y las frecuencias utilizadas son mayores a 50 MHz y menores a 150 MHz, es recomendable que las antenas utilizadas no sean de gran tamaño para lograr tener una buena directividad y una transmisión eficiente [3].

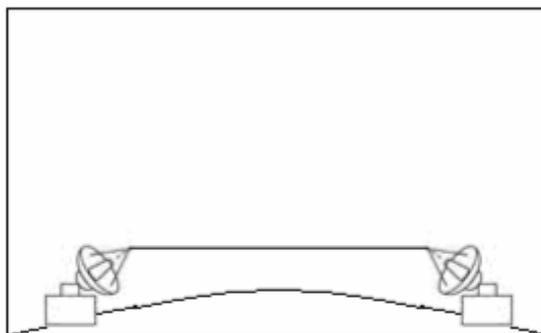


Figura 2.2. Propagación por Onda Directa [3]

### Propagación por onda terrestre

La propagación terrestre se produce gracias a la difracción, las ondas de radio siguen el perfil de la tierra, debido a esto logran alcanzar distancias muy grandes antes de que su energía sea absorbida por la tierra, así que la importancia de montañas o edificios sería casi irrelevante, la propagación por onda terrestre opera de forma excelente en frecuencias menores a los Mega Hertz [3]. Su rango de operación oscila entre los 15 KHz hasta los 2 MHz.

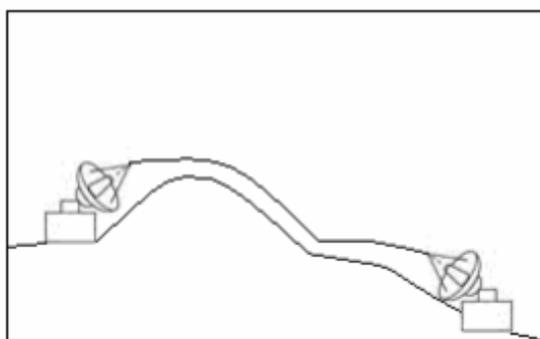


Figura 2.3. Propagación por Onda Terrestre [3]

#### 2.1.3 Problemas comunes en propagación

Ya conocemos que las ondas de radio pueden ser afectadas por varios factores como son: absorción, reflexión, refracción y difracción, lo que puede provocar que la comunicación no funcione correctamente.

La absorción depende del material a través del cual se propagará la onda, en nuestro caso la onda se propagará en el aire.

Las superficies que son conductoras como el metal, el agua, entre otras permiten que las ondas electromagnéticas sean reflejadas. La reflexión puede dar ventajas para que una señal pueda llegar al receptor siempre que no lleguen dos ondas al mismo tiempo y que no se encuentren en contra fase ya que esto podría provocar la anulación de la misma, es decir el beneficio en sí dependerá de cómo se encuentren las ondas entre la original y la reflejada.

Podemos observar un ejemplo de reflexión en la Figura 2.4.

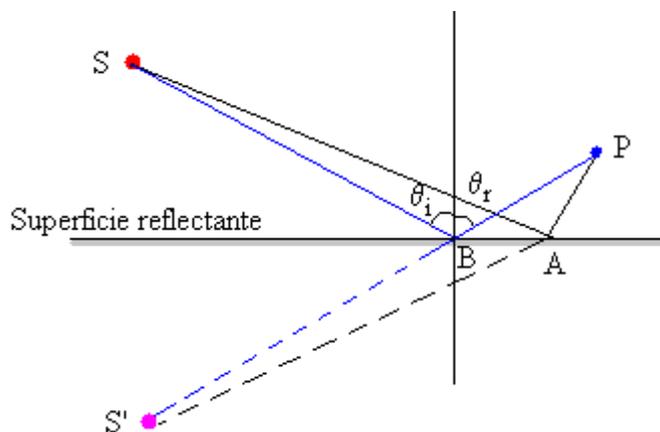


Figura 2.4. Reflexión

Un factor importante es la distancia entre el transmisor y el receptor, la distancia para nuestro proyecto no será mayor a 12 metros entre el TAG y el receptor o unidad principal. El TAG es una etiqueta flexible y autoadhesiva que almacena información relativa del objeto al cual se encuentra incrustada. El material del TAG tiene un papel importante ya que tiene un factor de absorción, las antenas son parte fundamental de todo sistema de radio frecuencia ya que estas recolectan la energía del receptor, el TAG básicamente está constituido por un chip electrónico y una antena embebida, lo que implica que el tamaño del TAG dependerá del tamaño de la antena con que se construya el TAG.

Otros factores sumamente importantes son la ganancia del receptor, el tipo de antena y la ganancia de sus antenas en el sistema.

Hay que tomar en cuenta el ruido electromagnético que se genere en el ambiente donde se encontrará el sistema, así mismo hay que considerar otros sistemas RFID que se encuentren en funcionamiento en el lugar, teléfonos móviles, y aparatos que trabajen en la misma frecuencia de la banda ISM (Industrial, Scientific and Medical).

La polarización de la antena es muy importante en los sistemas de propagación, para nuestro caso la mejor opción será utilizar una polarización circular ya que necesitamos cubrir un área circular la misma que será considerada como zona de peligro para los peatones.

#### **2.1.4 Espectro Ensanchado**

La técnica de modulación de espectro ensanchado se fundamenta en la transferencia de datos mediante la utilización de mecanismos de expansión del ancho de banda de la señal de tal forma que se optimiza el uso del canal, el mismo que puede ser reutilizado evitando colisiones y al mismo tiempo generando resistencia hacia bloqueos o interferencias [4].

Spread Spectrum origina la expansión de la señal de banda estrecha a toda la banda de frecuencias. De la misma manera al proceso de multiplicación en recepción se le denomina compresión ya que con él se recupera la señal original. La compartición del espectro se consigue porque el proceso de compresión sólo afecta a la señal deseada, mientras que las señales de otros usuarios permanecen ensanchadas.

Los sistemas más comunes de transmisión son salto de frecuencia, de secuencia directa y sistemas híbridos.

##### **2.1.4.1 Sistemas de secuencia directa (DSSS)**

Es una técnica desarrollada alrededor de los años 50, inicialmente fue utilizada en entornos militares debido a su capacidad para evitar que las comunicaciones sean interceptadas, se trata de un sistema para transmitir información por un canal específico, por medio del cual las diferentes señales que acceden al medio comparten tiempo y frecuencia, diferenciándose entre sí por la asignación de códigos únicos binarios ortogonales de expansión que permiten convertir la información de banda estrecha en información de banda ancha. La compartición del canal

permite que varios usuarios transmitan simultáneamente utilizando códigos diferentes.

La salida del sistema de secuencia directa es similar a una envolvente de forma  $[(\sin x) / x]^2$ . [4]

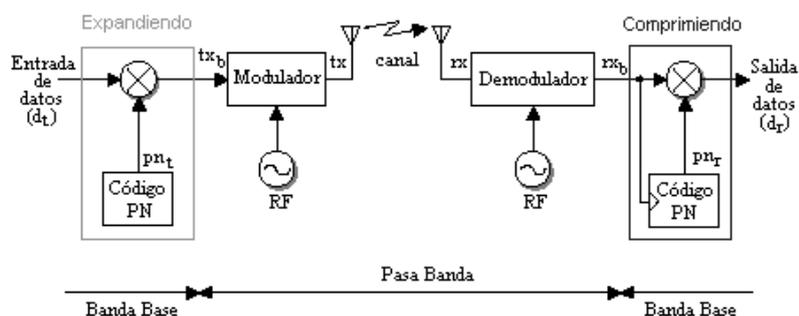


Figura 2.5. Diagrama de Bloques de sistema DSSS [5]

Como se observa en la Figura 2.5, en el bloque de expansión la señal de datos es multiplicada con una secuencia pseudoaleatoria PN generada independientemente. En la compresión se multiplica la señal con una réplica de la secuencia del código para así poder recuperar la señal [5].

#### 2.1.4.2 Sistema de salto de frecuencia (FHSS)

FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) permite reducir los efectos de la interferencia y tiene aplicación principalmente en ambientes de trayectorias múltiples.

En los sistemas de salto de frecuencia el orden de las frecuencias que son utilizadas por el transmisor se basan en el cambio de frecuencia de portadora de forma aleatoria durante un intervalo de tiempo de permanencia denominado “tiempo de permanencia” que es inferior a 400 ms, de esta forma cada tramo de Información se transmite en una frecuencia distinta durante un intervalo muy corto de tiempo, la secuencia de frecuencia debe ser idéntica tanto para el receptor como para el emisor [4].

La utilización de FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum) logra reducir efectos de interferencia sobre dispositivos que comparten la misma banda de frecuencia y es muy eficiente, con FHSS la energía se distribuye en toda la banda de frecuencia minimizando las posibilidades de interferencias con otros sistemas.

Una de las grandes ventajas del uso de esta técnica es que el patrón de saltos con distinta frecuencia permite la coexistencia de comunicaciones simultáneas en la misma banda de frecuencias [4].

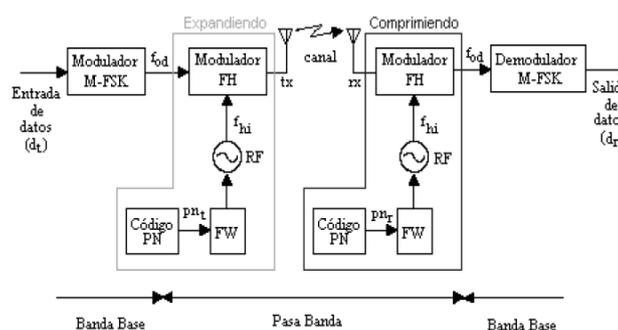


Figura 2.6. Diagrama de Bloques de sistema FHSS [5]

Como se visualiza en la Figura 2.6, se requiere la adición de un generador de código de pseudo ruido (PN) para seleccionar las frecuencias de transmisión o recepción, lo cual permite que las señales transmitidas en banda angosta ocupen un ancho de banda  $N$  veces mayor que el necesario para transmitir, donde  $N$  corresponde al número de saltos que se implementa. [5].

Para suavizar las desviaciones de frecuencia presentes en el espectro expandido los sistemas FHSS incorporan diferentes tipos de modulaciones, en el prototipo implementado se aplica

la modulación GFSK, la cual será explicada en el apartado 2.1.6.

La frecuencia portadora opera en banda ISM de 2.4 GHz, con 79 canales posibles con saltos de 1 MHz y 3 conjuntos de 22 secuencias de salto con ortogonalidad lo cual permitirá la coexistencia con otras redes [6].

#### **2.1.4.3 Regulación en la Implementación y Operación de Sistemas Espectro Ensanchado en Ecuador.**

El Reglamento de Radiocomunicaciones de la Unión Internacional de Telecomunicaciones (UIT), establece las bandas 902 - 928 MHz, 2400 - 2500 MHz y 5725 - 5875 MHz para aplicaciones Industriales, Científicas y Médicas (ICM) [7].

La Resolución 417-15-CONATEL 2005 (Registro Oficial 143, del 11 de Noviembre de 2005), en el Artículo 6 se determinan las bandas de frecuencias para sistemas que utilicen técnicas de modulación digital de banda ancha [7].

Como se observa en la Tabla 2.1, se asigna la operación de bandas ICM e Infraestructura Nacional de Información (INI) [7].

“Artículo 7. Configuración de Sistemas que emplean Modulación Digital de Banda Ancha.- La operación de los sistemas con técnicas de Modulación Digital de Banda Ancha se aprobará en las siguientes configuraciones:

Sistemas punto - punto;

Sistemas punto - multipunto;

Sistemas móviles”

BANDA DE OPERACIÓN	ASIGNACIÓN
902 – 928 MHZ	ICM
2400 – 2483.5 MHZ	ICM
5150 – 5250 MHZ	INI
5250 – 5350 MHZ	INI
5470 – 5725 MHZ	INI
5725 – 5850 MHZ	ICM, INI

Tabla 2.1. Frecuencias para sistemas de Banda Ancha

De acuerdo a la resolución expuesta se autoriza la utilización de técnicas de modulación de espectro ensanchado en sistemas MDBA (Modulación Digital en Sistemas de Banda Ancha), sin embargo, no se precisa sobre regulaciones existentes a nivel nacional en lo que se refiere a técnicas de modulación de espectro ensanchado en sistemas que operen banda angosta.

### 2.1.5 Ultra Narrow Band

Ultra Narrow Band (UNB) o ultra banda estrecha, generalmente se refiere a la tecnología diseñada para transmitir a bajas velocidades por un canal de espectro muy estrecho generalmente menor a 1 KHz, para alcanzar distancias de hasta 5 km en el área urbana o 25 km en campo abierto para el enlace de datos entre el transmisor y el receptor. Esta tecnología es generalmente utilizada en aplicaciones que requieren transmitir pequeñas cantidades de información a baja potencia y de forma confiable, la ventaja de usar un canal estrecho de transmisión es que existe menos ruido térmico e interferencias, permitiendo operar con una mejor sensibilidad [8]. Al tener un menor requerimiento de potencia se obtiene un consumo

de energía reducido, siendo una tecnología idónea para proyectos basados en energía solar y/o que demanden ahorro de baterías.

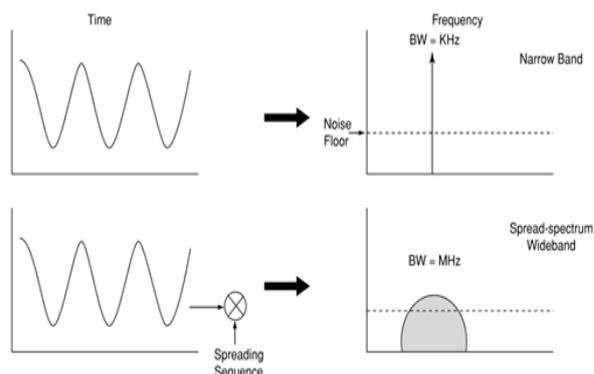


Figura 2.7. Transición de Banda Estrecha a Banda Ancha en los dominios de tiempo y frecuencia.

Como se muestra en la Figura 2.7, de Transición de Banda Estrecha a Banda Ancha en los dominios de tiempo y frecuencia en las tecnologías de banda estrecha, las señales CW ocupan un rango bien definido y estrecho en el espectro de frecuencias, en Spread Spectrum el rango de frecuencias de las señales se extiende ligeramente por encima del piso de ruido debido al uso de secuencias de propagación. Además, se observa que las señales de banda estrecha siempre están presentes, por lo que su ciclo de trabajo es del 100 por ciento [9].

A medida que el ancho de banda es más estrecho, pueden funcionar más emisores en una banda de frecuencia.

### 2.1.6 Modulación GFSK

Es necesaria la utilización de un método de modulación para poder transmitir una señal, el método de modulación es un proceso que filtra una señal pura para incorporar la información que se transmitirá, para que esto sea posible en la portadora se realiza el cambio de su amplitud, frecuencia, fase o una combinación de estas. A mayor velocidad de transmisión habrá mayor complejidad en el proceso de modulación. En IEEE 802.11 se definen varias técnicas de modulación [6].

En nuestro proyecto se utilizará la modulación GFSK (Modulación Gaussiana por Desplazamiento de Frecuencia) la misma que utiliza un filtro de Gauss para suavizar las desviaciones de frecuencia de positiva/negativa que puedan estar presentes en el espectro expandido e implica en reducir la anchura espectral de los pulsos digitales (pulsos cuadrados que representan los unos y ceros) suavizándolos antes de que estos ingresen a la etapa de modulación, por lo que toman una forma de onda muy parecida a una senoidal pero conservan su periodo, evitando el cambio abrupto de frecuencia durante una transmisión [6].

En la Figura 2.8 se muestra el diagrama de bloques del proceso de Modulación en el transmisor FHSS.

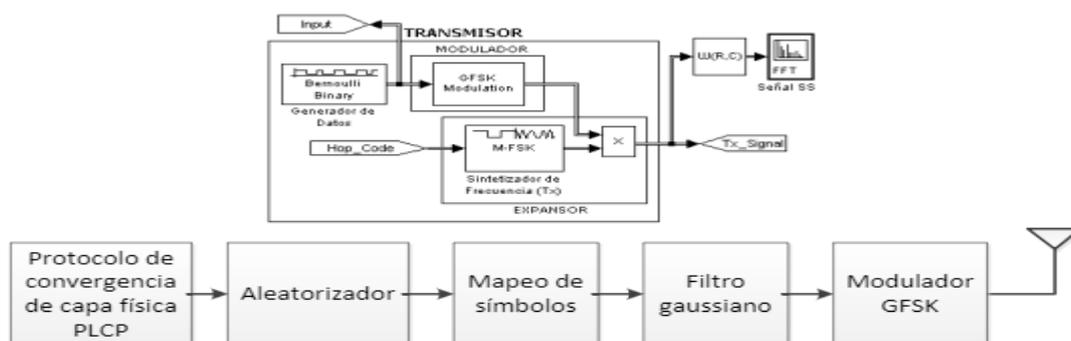


Figura 2.8. Diagrama de Bloques de Transmisor FHSS

En la Figura 2.9 se muestra el diagrama de bloques del proceso de Demodulación que se realiza en un transmisor FHSS.

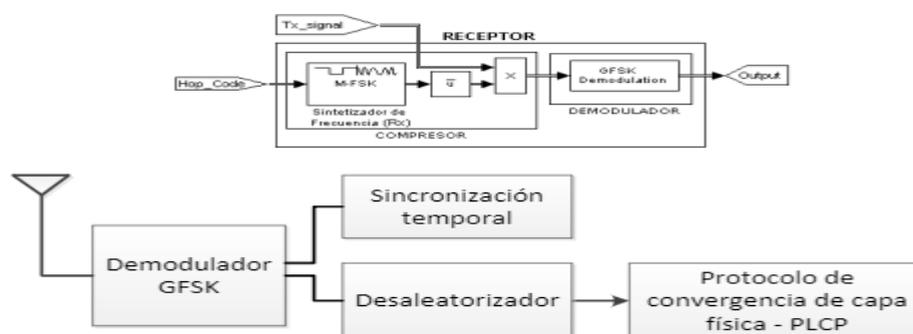


Figura 2.9. Diagrama de Bloques de Receptor FHSS

El proceso de demodulación se realiza a nivel de capa física, entre las variedades de modulación utilizadas por FHSS, a nivel de GFSK existen dos modos de operación los mismos que funcionan a velocidades de transmisión distintas, el primero realiza básicamente una modulación a 2-GFSK (Codificación de Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana de 2 Niveles), su representación la podemos observar en la Figura 2.10, utiliza dos símbolos (1 y 0) y su velocidad de datos es de 1 Mbps, mientras que el segundo utiliza una modulación a 4-GFSK (Modulación de Desplazamiento de Frecuencia Gaussiana de 4 Niveles) utiliza 4 símbolos (00, 01, 10 y 11), como se representa en la Figura 2.11 con una velocidad de datos a 2 Mbps; en las dos modulaciones la velocidad de símbolo de 1 Msps.

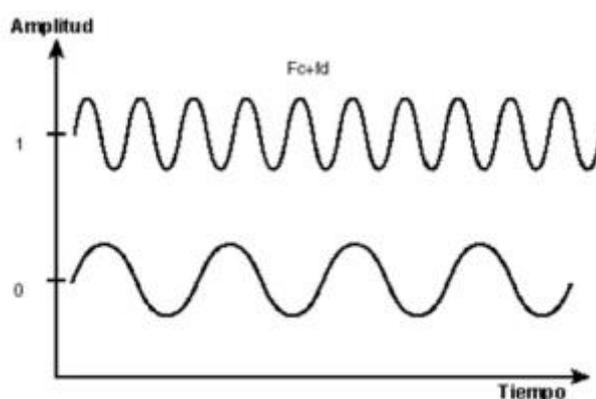


Figura 2.10. Señales 2-GFSK

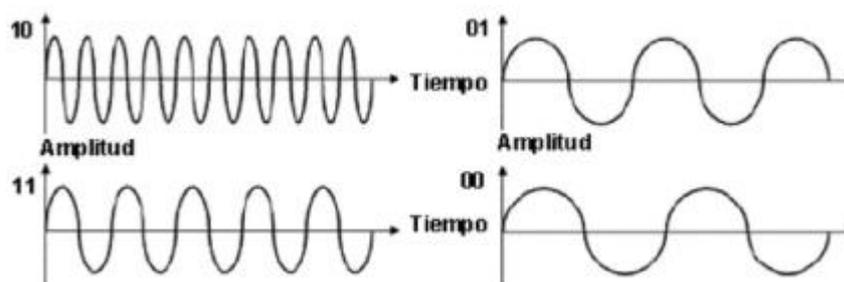


Figura 2.11. Señales 4-GFSK

### 2.1.7 Pérdida de Paso

La pérdida de paso “Path Loss” se refiere a la pérdida de potencia que sufre una señal conforme se propaga por el medio. El modelo de pérdida por trayectoria en el espacio libre es usado para determinar teóricamente la intensidad de recepción cuando el transmisor y receptor tienen una línea de vista clara, sin obstrucciones entre ambos y separados por una distancia  $d$ .

Existen varias formas de obtener la pérdida de potencia y también dependen del tipo de interposiciones. Para el presente proyecto se utilizará la siguiente fórmula:

$$PL_{dB}(d) = \overline{PL}_{dB}(d_0) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (2.3)$$

### 2.1.8 Indicador de Potencia de la Señal Recibida

El Indicador de Potencia de la Señal Recibida (RSSI) es una medida que permite conocer la potencia de las señales recibidas, por ejemplo, en nuestro proyecto se usa este indicador para referirse al nivel de energía de la señal que recibe un TAG, proporcionando de esta manera información relevante para la estimación de la calidad del enlace inalámbrico [11].

Algunos de los equipos RFID de largo alcance además de proveer la lectura de los TAGs también pueden revelar el valor RSSI, el mismo que constituye un dato relevante al momento de realizar ciertas estimaciones o conocer de forma aproximada determinados datos [11].

## 2.2 Definición de RFID

Al hablar de un Sistema de Identificación por Radiofrecuencia nos referimos a una tecnología para identificar de forma automática personas, animales u objetos mediante ondas de radio, sin la necesidad de tener una visión directa hacia el elemento a identificar [12].

El sistema de identificación mediante radio frecuencia (RFID) se lo utiliza usualmente en sistemas de seguridad, control de vehículos, automatización en

cultivos, rastreo de ganado, etc. Este tipo de tecnología utiliza un código que ha sido asignado ya sea a un producto o persona, con lo cual se logra identificar determinada información. El RFID están compuesto básicamente por dos componentes: el TAG y el lector.

Para garantizar una comunicación segura y confiable entre el TAG y el equipo lector es necesario la utilización de protocolos de comunicación, los mismos que serán explicados a detalle en el capítulo cinco.

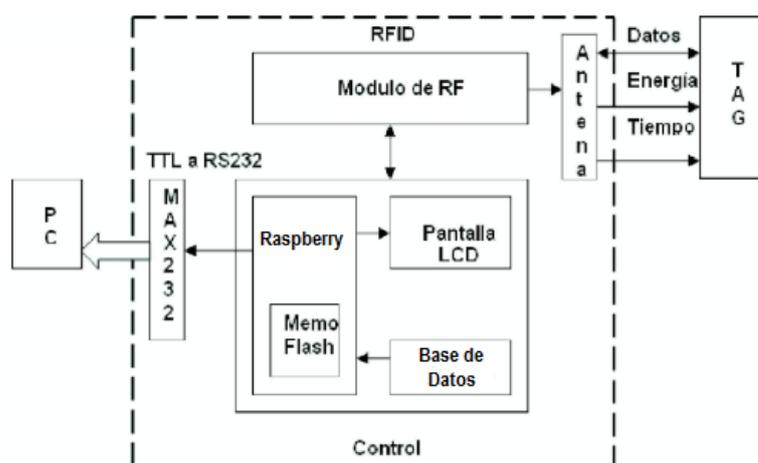


Figura 2.12. Diagrama de Bloques básico de un Sistema RFID

Como se observa en la Figura 2.8 la arquitectura básica de un sistema RFID consiste en un TAG que incorpora un chip y una antena, un módulo de radiofrecuencia antenas que integran la unidad de lectura y el controlador RFID que aloja el middleware y el almacenamiento de la base de datos y finalmente una conexión a un pc mediante un puerto RS232 de tal manera que el usuario final acceda a la información obtenida en las lecturas [12].

Entre las principales ventajas que tiene la tecnología RFID sobre las otras tecnologías de identificación, se detallan las siguientes:

- Seguridad: Dado su diseño, su duplicación es realmente compleja, ya que cada tarjeta es identificada por un código diferente. Es un beneficio si lo

comparamos con la tecnología de banda magnética que frecuentemente ha sido duplicada [13].

- Línea de vista: Las tarjetas RFID no necesitan ser leídas por una ranura, que es una hendidura que permite deslizar tarjetas para su reconocimiento (como en el caso de las tarjetas de banda magnética), lo cual hace que el sistema sea ágil y práctico de usar [13].
- Inventarios de alta velocidad: Los lectores de TAGs mediante RFID tienen la capacidad de leer múltiples TAGs al mismo tiempo, no como en el caso de los códigos de barra que deben ser leídos cada uno de forma individual por un lector y necesitan proximidad del entre el lector y la etiqueta del código de barra, esta característica ahorra tiempo en el caso de RFID tiempo [13].
- Tarjetas sin deterioro: Al no tener rozamiento la tarjeta con el lector, esta logra tener una mayor vida útil y puede ser reutilizada por otro usuario nuevo en la empresa [13].
- Re-escribible: Los TAGS de RFID pueden ser escritos más de una vez por el Lector de TAGS (los lectores de TGAS también poseen la capacidad de poder escribir en un TAG) [13].
- Otras tareas: Puede ser utilizada para medir humedad y temperatura en un ambiente.

Existen otras formas de identificación y con el objetivo de poder hacer una comparación entre los métodos las detallaremos seguidamente.

### **2.2.1 Reconocimiento óptico de caracteres**

En la memoria del computador se encuentran almacenados patrones que serán contrastados con los caracteres descifrables que identifica el sistema. Este tipo de identificación utiliza el dispositivo lector para reconocer una serie de líneas y curvas que detallan a cada carácter. Este tipo de sistemas tiene su aplicación en las finanzas, para procesar cheques, documentos, etc. Además, tiene la ventaja de ser legibles los caracteres a pesar de estar cubiertos por manchas o sellos [10].

Entre sus falencias tenemos que debe ser visible, es de corto alcance, se daña o se rompe la etiqueta fácilmente.

### **2.2.2 Sistemas biométricos**

Se caracteriza por procesar información utilizando una particularidad estática o dinámica del usuario. Este tipo de información se utiliza luego como una identificación personal. [10]

La biometría estática se basa en las características fisiológicas, que analizadas permiten generar una huella biométrica, dichas características no se pueden ceder a otra persona y son fijas a pesar del tiempo, como ejemplo tenemos: huella digital, rostro, iris, retina, forma de la mano, reconocimiento de venas y otras.

La biometría dinámica logra determinar un patrón único de una persona en movimiento, como por ejemplo la forma de caminar. Sus falencias son la distancia corta de reconocimiento, necesita enrolamiento personal (Proceso de vincular a una persona o determinado grupo a un sistema informático mediante la captura de alguna característica biométrica única para su posterior autenticación) ya además es una tecnología costosa con respecto a otras.

### **2.2.3 Bandas magnéticas**

La banda magnética como su nombre lo indica está hecha con un material magnético parecido al empleado en las cintas de audio o de video antiguas como los casetes; que se la ubica generalmente en la parte posterior de la tarjeta [10].

La información que posee esta banda magnética es un código fácilmente identificable que se genera mediante un ordenamiento específico de las partículas magnéticas. Este proceso conlleva a que la información que se encuentra asignada en la banda esté magnéticamente codificada para así poder permitir su fácil uso, el cual lo podemos observar en artículos de uso diario como, por ejemplo [10]:

- Cerraduras electrónicas.
- Tarjetas de crédito/debito.

Su principal falencia es la necesidad de contacto entre la tarjeta y el lector, es vulnerable al contacto con la ropa, expuesta a la suciedad o corrosión.

#### **2.2.4 Reconocimiento de voz**

Para poner en práctica este método de identificación primero se realiza con anterioridad un muestreo de la voz que será posteriormente sometida al reconocimiento. Este proceso se lleva a cabo mediante la comparación del patrón de voz que se tomó como muestra previamente y la voz del locutor actual. Si se encuentra que la coincidencia es efectiva; entonces el locutor tendrá autorización para acceder a la información requerida [10].

Esta forma de identificación es actualmente utilizada para:

- Desbloquear y acceder a información de dispositivos móviles.
- En cerraduras electrónicas activadas por voz.

Luego de explicar otros tipos de identificación, se escogió la tecnología RFID para el desarrollo del prototipo ya que nuestra solución está orientada a prevenir accidentes con vehículos industriales en movimiento y en áreas grandes por lo que se necesita que la detección sea a una distancia lo suficientemente prudencial es decir a 8 o 10 metros del vehículo, que no dependa de cables y que sea económica, todas estas características la cumple RFID mientras que las tecnologías o formas de identificación resumidas anteriormente no cumplen completamente los requerimientos mencionados.

#### **2.2.5 Frecuencias de operación RFID**

Mediante la asignación de bandas en las distintas frecuencias que operan en el espectro radio eléctrico se pretende evitar la interferencia que se origina en las radiocomunicaciones y al mismo tiempo optimizar el uso del limitado espectro de radiofrecuencia en el que se transmite una amplia gama de servicios como la televisión, radiodifusión, comunicaciones aeronáuticas, comunicaciones marítimas, comunicaciones radio-portátil, telefonía móvil y sistemas que utilizan la tecnología RFID implementada en el presente proyecto [14].

De acuerdo a la explicación realizada en el párrafo anterior, las frecuencias disponibles para el funcionamiento de las aplicaciones que funcionan con tecnología RFID se definen dentro de los rangos ISM (Industrial-Scientific-Medical) o SRD (Software Radio Defined) que constituyen bandas reservadas a nivel mundial para uso no comercial, las mismas que están definidas por la UIT en el artículo 5 de las Regulaciones Radio (RR), en los ítems 5.138 y 5.150 y por lo tanto se utilizan para aplicaciones industriales, científicas o médicas. Sin embargo, esta asignación de frecuencias limita significativamente el uso de los canales de radiofrecuencia disponibles para la implementación de los sistemas que funcionan con la tecnología RFID. [14]

<b>ESTANDARES RFID EN DETERMINADAS FRECUENCIAS</b>		
<b>RANGO DE FRECUENCIA</b>	<b>ESTANDAR</b>	<b>CARACTERISTICAS</b>
Menos de 135 KHZ	ISO 18000-2	Aplicaciones De Gestión De Artículos
13.55 a 13.57 MHZ	ISO 18000-3	Uso común
26.96 a 27.78 MHZ		Uso en aplicaciones especiales
433 MHZ	ISO 18000-7	Etiquetas activas en Asia
868 a 870 MHZ	ISO 18000-6 A/B	Etiquetas en Europa
902 A 928 MHZ	Auto ID Clase 0/1	Etiquetas en Norteamérica
860 A 960 MHZ	EPC Global Gen 2	Mundial
2400 A 2483 MHZ	ISO 18000-4	Uso industrial, Médico y Científico
8727 A 5785 MHZ	ISO 18000-5	Poco usado para aplicaciones RFID

Tabla 2.2. Estándares RFID[14]

La Tabla 2.2 contiene los estándares de la aplicación características de los sistemas RFID de acuerdo al rango de operación de sus frecuencias.

En la tabla 2.3 se detalla la clasificación de los sistemas RFID de acuerdo al rango de frecuencia en el que operan.

RANGO DE FRECUENCIA	OBSERVACIONES	INTENSIDAD DE CAMPO / POTENCIA DE TX
< 135 kHz	Baja potencia	Acoplamiento inductivo. 72 dB $\mu$ A/m
6.765 ... 6.795 MHz	Media frecuencia (ISM), acoplamiento inductivo	42 dB $\mu$ A/m
7.400 ... 8.800 MHz	Media frecuencia, usado para EAS (electronic article surveillance)	8. 9 dB $\mu$ A/m
13.553 ... 13.567 MHz	Media frecuencia (13.56 MHz, ISM), acoplamiento inductivo, ISO 14443, Mifare, Legic..., smart labels (ISO 15693, TAG-It, ICode) y control de artículos (ISO 18000-3).	42 dB $\mu$ A/m
26.957 ... 27.283 MHz	Media frecuencia (ISM), acoplamiento inductivo, sólo aplicaciones especiales	42 dB $\mu$ A/m
433 MHz	UHF (ISM), acoplamiento por backscatter, raramente usado para RFID	10 ... 100 Mw
868 ... 870 MHz	UHF (SRD), acoplamiento por backscatter, nueva frecuencia, sistemas bajo desarrollo	500 mW, sólo Europa
902 ... 928 MHz	UHF (SRD), acoplamiento por backscatter, varios Sistemas	4 W – espectro ensanchado, sólo USA/Canadá
2.400 ... 2.483 GHz	SHF (ISM), acoplamiento por backscatter, varios sistemas, (identificación de vehículos. 2.446. 2.454 GHz)	4 W – espectro ensanchado, sólo USA/Canadá, 500 mW. Europe
5.725 ... 5.875 GHz	SHF (ISM), acoplamiento por backscatter, raramente usado para RFID.	4 W USA/Canadá, 500 mW Europa

Tabla 2.3. Rangos de frecuencia RFID [14]

En la tabla 2.4 se detalla el consumo de potencia requerido para el funcionamiento de ciertas aplicaciones RFID.

	Memoria (Bytes)	Escritura/Lectura Distancia	Consumo de Energía	Frecuencia	Aplicación
ASIC # 1	6	15 cm	10 $\mu$ A	120 khz	Tracking de animales
ASIC # 2	32	13 cm	60 $\mu$ A	120 khz	Flujo / acceso, chequeo de bienes
ASIC # 3	256	2 cm	6 $\mu$ A	128 khz	Transporte
ASIC # 4	256	0.5 cm	<1 m A	4 Mhz	Flujo / acceso, transporte
ASIC # 5	256	2 cm	~1 m A	1/13.56 Mhz	Flujo / acceso
ASIC # 6	2048	100 cm	500 $\mu$ A	125 KHz	Chequeo de acceso
ASIC # 7	1024	0.3 cm	10 m A	4.91 Mhz	Tarjetas /chip
ASIC # 8	8	10 cm	~1 m A	13.56 Mhz	Transporte
ASIC # 9	128	100 cm	<1 m A	125 KHz	Flujo/acceso
ASIC # 10		100 cm	<1 m A	125 KHz	Chequeo de acceso

Tabla 2.4. Consumo de potencia para aplicaciones RFID [14]

### 2.2.6 Tipos de etiquetas

Las etiquetas flexibles permiten la identificación usando la tecnología RFID, son también denominadas tarjetas, transpondedores o TAGs y están compuestas por un inlay que se refiere a una antena y un microchip incrustado en un adhesivo.

Los TAGs RFID son etiquetas flexibles compuestas por un chip RFID permitiendo recuperar y guardar datos remotamente [14].

La principal mejora frente a otros sistemas es que el emisor y receptor no necesitan estar en línea de vista, razón por la cual es actualmente la

tecnología más utilizada para la identificación de objetos, tomando ventaja sobre la tecnología de códigos de barras.

Se clasifica en:

**Chip RFID Pasivo:** Son generalmente solo de lectura, no necesitan pilas, se activan al recibir la señal de un lector, su precio en el mercado es económico, lo que las hace las más utilizadas.

Alcanza los 10 metros, lo que representa una distancia de lectura relativamente corta.

Generalmente son sólo de lectura, por lo que sus datos no son modificables.

**Chip RFID Activo:** Su fiabilidad mejora frente a los TAGs pasivos debido a que usan baterías para su funcionamiento [14].

Operan a mayores distancias que los TAGs pasivos y son más eficaces en entornos donde se requiere mayor potencia.

Son dispositivos generalmente de mayor tamaño y son completamente sellados para evitar la introducción de agua en su interior, en algunos casos la continua transmisión hace que su batería se agote y al ser completamente sellados impide el cambio de las baterías lo que los vuelve descartables, como resultado terminan siendo más caros y su vida útil más corta.

**Chip RFID Semipasivo:** Son más confiables que las anteriores si embargo se mantienen en el mismo rango de operación, incluyen una pila para optimizar su rendimiento en cuanto a campo de acción y respuesta.

Los TAGs inductivos atraviesan materiales como madera, textiles, papel, pintura, soportan ambientes donde existe mucho polvo o suciedad, además pueden coexistir junto a objetos metálicos, a diferencia de las señales UHF y microondas que se ven afectadas por la reflexión y la atenuación. En los sistemas RFID las propiedades de reflexión que aportan los objetos metálicos y la característica de corta longitud de la

onda de radio permiten explotar la capacidad de los lectores, los cuales suelen operar sin dificultad en este tipo de ambiente. El uso de antenas más complejas aumenta la efectividad del sistema de lectura que depende de la relación distancia - orientación del TAG debido a que el campo eléctrico es un campo vectorial [14].

El tamaño de las etiquetas RFID suele ser de 2 a 10 cm y está sujeto a su capacidad, siendo los TAGs UHF y microondas los de menores dimensiones en comparación a los sistemas RFID inductivos que ocasionalmente suelen necesitar extensas áreas o vueltas de cable [14].

El costo de las tarjetas de radiofrecuencia está sujeto a la funcionalidad y a su capacidad de memoria, las que operan a frecuencias de 2450 MHz pueden obtenerse en varias formas y tamaños, existiendo desde TAGs industriales rígidos para usos logísticos y etiquetas finas y flexibles [14].

La capacidad de la memoria oscila entre los 64 bits para aplicaciones simples hasta el orden de varios kilobytes que son utilizadas en aplicaciones sofisticadas y que manejan gran cantidad de datos, estas últimas son mayormente utilizadas en aplicaciones logísticas y su nivel de seguridad está relacionada directamente con el tipo de función que realicen [14].

Los sistemas pasivos requieren bajas velocidades de transmisión debido a que tienen bajos requisitos de consumo, los TAGs microondas y los pasivos operan entre 10 y 50 Kbits/s mientras que los sistemas activos no dependen del empleo de frecuencias microondas o UHF. Los sistemas de amplio rango de lectura con distancias mayores a 15 metros operan a velocidades de hasta 1Mbit/s [14].

### **2.2.7 Estándares internacionales para RFID**

La utilización de etiquetas RFID se rige a los estándares de función de cada país existiendo normas para ratificar las regulaciones en cuanto al uso de frecuencia, potencia a transmitir considerando las normas locales en cuanto a administración del espectro se refiere, lo que aumenta la

dificultad de que cada país tenga su propio estándar por lo que crearon estándares a nivel mundial, como se observaba en la Tabla 2.2.

La Organización Internacional para la Estandarización (ISO) ha promulgado estándares para la RFID que regulan el protocolo de la interfaz aérea y las aplicaciones de la RFID por más de 20 años, la norma 18000-4 es aplicable para sistemas que operan a 2.45 GHz, utilizado para nuestro proyecto [14].

La utilización de tarjetas RFID también se rige por una norma estandarizada creada por EPCGlobal que es el código EPC (Código Electrónico de Producto), diseñada como un estándar global para ser empleado en muchas industrias, EPC define la manera en que las etiquetas y los lectores se comunican [14]. Estas normas establecen la manera en la que la información del EPC se comparte entre compañías. Una de sus normas es la EPC Gen 2, funciona en cualquier parte del mundo y es utilizada por los fabricantes más importantes de microchips y etiquetas. Sin embargo, EPCGlobal únicamente regula las frecuencias entre 13.56 MHz y 930 MHz [14].

A continuación, se presenta un pequeño listado de las organizaciones que regulan la asignación de frecuencias y potencias para RFID:

- FCC (Comisión Federal de Comunicaciones) en Estados Unidos [14].
- CEPT (Siglas de su nombre en francés de la Conferencia Europea de Administraciones de Correos y Telecomunicaciones), y también podríamos mencionar la ETSI (Instituto Europeo de Normas de Telecomunicaciones) [14].
- DOC (Departamento de la Comunicación) en Canadá [14].

Además de las mencionadas, existen regulaciones relacionadas con la salud y condiciones ambientales, siendo así que en Europa existe una regulación específica (Waste Electrical and Electronic Equipment) Desechos de Equipos Eléctricos y Electrónicos que controla el tratamiento del proceso de desuso de las etiquetas RFID, prohibiendo que se desechen junto a desperdicios comunes, de tal manera que los TAGs incorporados

a cajas de cartón que serán arrojadas a la basura deben separarse de las mismas. [14].

Existen también regulaciones adicionales relativas a la salud; entre las que podemos mencionar un estándar Europeo llamado EN 302 208 (por parte de la ETSI) que detalla especificaciones técnicas y determina los lineamientos a cumplir en cuanto a directivas del continente relacionadas a la compatibilidad electromagnética [14].

## CAPÍTULO 3

### 3. DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE A UTILIZAR PARA EL DISEÑO DEL CONTROLADOR

En el presente capítulo se procederá a realizar una descripción del hardware Raspberry Pi 3 modelo B+ que se utilizará para el diseño del controlador, el mismo que es un hardware de tipo abierto con la finalidad de que sea fácil de usar, de adquirir y de obtener información.

#### 3.1 Introducción al hardware a utilizar

En la Figura 3.1 se observa el diagrama de bloques del Sistema de Prevención de Accidentes para Maquinaria Pesada de la solución por implementar. El sistema de prevención de accidentes para vehículos industriales está conformado por una red de sensores RFID compuesto de etiquetas, una unidad de lectura RFID (Módulo de radiofrecuencia y cuatro antenas RFID) y un equipo Raspberry Pi controlador que se encarga de gestionar las capturas realizadas por el lector a través de un puerto de comunicación RS232 y posteriormente mediante uno de los puertos GPIO (General Purpose Input/Output) envía una señal de 5 voltios para activar un relé y accionar una sirena por un segundo. Cabe indicar, que el módulo de control es un middleware programado en Python cuya finalidad es gestionar los datos almacenados que después serán transmitidos al servidor mediante red Ethernet u opcionalmente por Wifi.

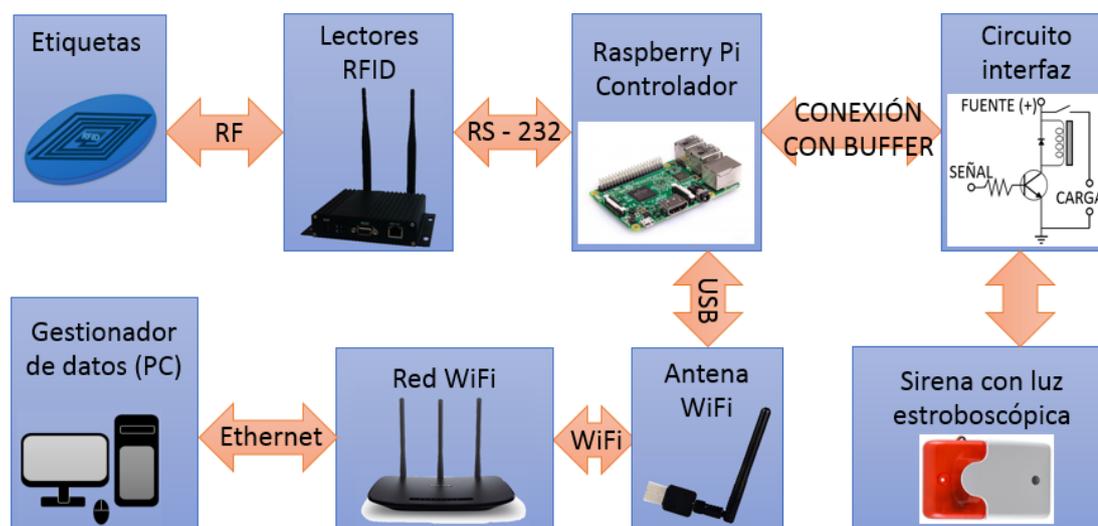


Figura 3.1. Diagrama de Bloques del Sistema de Prevención de Accidentes para Maquinaria Pesada

### 3.2 Descripción del hardware a utilizar

El hardware abierto Raspberry PI 3 modelo B+, posee 4 puertos USB 2.0 para conectar discos duros externos u otro dispositivos, incorpora un procesador marca Broadcom BCM2837 de 64 bits Quad core de 1.2 GHz de velocidad y 1 Gb de memoria RAM, un puerto LAN 10-100 para la conexión a una red ethernet, está construido con Bluetooth 4.1 y wifi 802.11 b/g/n para conexión a redes inalámbricas, cuenta con un lector de tarjetas micro SD (clase 4 o clase 10), característica particular que abarata enormemente su precio en comparación con los ordenadores tradicionales, permitiendo instalar un sistema operativo en una tarjeta de memoria de 4 GB o más, adicionalmente tiene un puerto HDMI para salida de video, un puerto para interfaz serial de cámara (CSI), una interfaz serial de pantalla (DSI) que sirve para conectar una pantalla de cristal líquido (LCD), un puerto para salida de audio y video para conectar tanto a televisores como a monitores que cuenten con puerto HDMI, se alimenta mediante un puerto micro USB a un voltaje de 5 V(dc) y una corriente de 2.5 Amperios y finalmente podemos mencionar que está compuesto de un bus de expansión de 40 pines de señales GPIO (General Purpose Input/Output) que permite al equipo Raspberry

comunicarse con el exterior tanto para activar elementos como para leer el estado de los mismos, la operación de los mismos será tratada a detalle en la Figura 3.2.

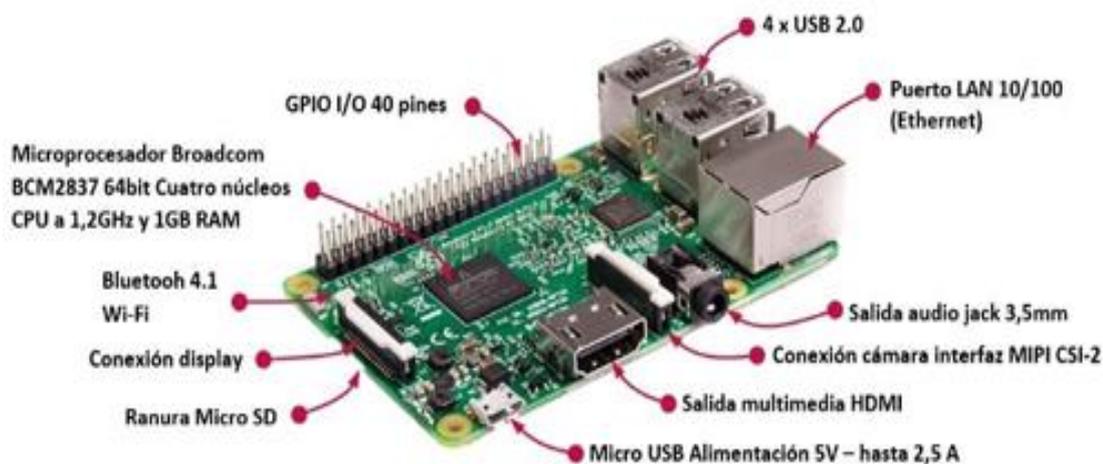


Figura 3.2. Raspberry [15]

### 3.3 Puertos e interfaces

Entre las interfaces del Raspberry Pi 3 modelo B+ que serán utilizadas en el proyecto cabe mencionar:

- Conectividad Bluetooth 4.1 y Wi-Fi 802.11n.
- Salida HDMI, x4 puertos USB.
- Interfaz GPIO de 40 PINES.
- Puerto Ethernet.
- Slot para tarjeta micro SD.
- VideoCore IV 3D graphics.
- Interfaz para cámara y pantalla externas.

A continuación, se describen algunos de los puertos utilizados:

El envío de las lecturas de las tarjetas hacia el controlador se realizará a través del puerto RS232, que admite el modo de comunicación activo y pasivo, por lo que el modo de comunicación utilizado será activo.

Modo activo: Después de leer las etiquetas, las puede guardar en el búfer, y también puede enviar las etiquetas que no se cargan en el búfer en un momento determinado. El intervalo de tiempo de lectura de la tarjeta se puede configurar.

En el diseño del prototipo, para transmitir las lecturas obtenidas desde el lector hacia el equipo controlador Raspberry el puerto de comunicación RS232 establecerá la comunicación entre el módulo de lectura y el controlador, para lo cual se utilizará un convertidor a USB en vista que el equipo Raspberry carece de puerto para conectores DB9. A continuación, en la tabla 3.1 se presenta la utilización de pines del conector DB9 (RS232).

Pin #	Señal	Dirección	Descripción
1	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo
2	RS_TX	O	RS232 send
3	RS_RX	I	RS232 receive
4	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo
5	GND		
6	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo
7	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo
8	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo
9	Usado por el sistema		No puede conectarse a otro dispositivo

Tabla 3.1. Utilización de pines DB9

### 3.3.1 Puerto USB 2.0

Cuenta con tecnología plug and play, lo que permite que al momento de conectar un dispositivo al puerto, este sea reconocido inmediatamente sin necesidad de reiniciar el equipo.

Se recomienda conectar un máximo de 8 dispositivos, debido a que esto puede volver lento el sistema.

Su comunicación es unidireccional, es decir o se recibe o se transmiten los datos en un solo sentido a la vez.

### 3.3.2 HDMI 2.0

Posee las siguientes características:

- Funciona con una resolución 4K a 50/60 (2160p) considerada la más actual generación de tecnología en definición de video, permite ver una imagen mucho más detallada en el mismo tamaño de pantalla mediante el aumento del número de pixeles en 4, con una resolución de 3840 líneas horizontales por 2160 líneas verticales en alta resolución.
- 32 canales de audio de inmersión multidimensional.
- Muestreo de audio hasta 1536 KHz, para obtener una máxima fidelidad de sonido.
- Entrega simultánea de 2 flujos de información (streamings) de vídeo, para múltiples usuarios en la misma pantalla.
- Flujos de información (streaming) de audio para hasta 4 usuarios.
- Soporte de relación de aspecto 21:9.
- Sincronización dinámica de vídeo y audio en streaming.
- Extensiones de comandos CEC (Consumer Electronic Control) que permite que todo dispositivo con tecnología HDMI CEC pueda ser controlado desde un único mando a distancia gracias a la conexión bidireccional que ofrece para controlar múltiples dispositivos desde un punto único.

### 3.3.3 Puerto LAN 10/100

Posee un puerto Ethernet 10/100 MB SMSC LAN9514 que usa el bus USB de la placa y comparte su ancho de banda mediante un sistema de conversión.

La velocidad del puerto Ethernet es de 100 MB, lo que incidirá fundamentalmente al momento de establecer una conexión remota al Raspberry por medio de diferentes protocolos de comunicación, para el presente proyecto se realizará a través de SSH (Secure SHell) que es un protocolo que utiliza una arquitectura cliente servidor para establecer la conexión a un host remoto encriptando la sesión de conexión.

### 3.3.4 Señales de control

Los pines GPIO incorporados en el equipo Raspberry permiten que el Raspberry se comunique con dispositivos externos, admitiendo señales de polarización, de tierra y señales que pueden ser configuradas como entrada o como salida.

Las primeras versiones de Raspberry incorporaban 26 pines GPIO, las versiones A+ y B+, esta última utilizada para el presente proyecto tiene 40 pines GPIO, los mismos que son descritos a continuación:

- La mayor parte de los pines son entradas/salidas digitales de propósito general. Inicialmente todos los pines están configurados por defecto como entradas excepto GPIO 14 y 15.
- Los pines pueden configurarse como entradas o salidas, pueden leerse o pueden escribirse con un valor digital, alto o bajo, uno o cero, donde el nivel alto es de 3.3V y no toleran tensiones de 5V [16].
- Los pines 8 y 10 funcionan como interfaz UART para un puerto serial convencional [16].
- Los pines 3 y 5, se pueden configurar como interfaz I2C para conectar buses I2C habilitando la comunicación entre diferentes partes de un circuito, por ejemplo, entre un controlador y circuitos periféricos integrados [16].

- Los pines 12 y 13 pueden configurarse también como interfaz I2S (audio digital) usado especialmente en chips de audio en miniatura para equipos portátiles [16].
- Los pines 19, 21, 23, 24 y 26 se pueden configurar como la primera interfaz SPI (Serial Peripheral Interface) que es un protocolo síncrono que posibilita que dos dispositivos puedan comunicarse entre sí al mismo tiempo utilizando canales diferentes o líneas diferentes en el mismo cable [16].
- Los pines 27 y 28 no están disponibles. Son los únicos pines que en el arranque se configuran como salidas, todos los demás son configurados inicialmente como entradas [16].
- Los pines 29, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38 y 40 proporcionan nuevas funcionalidades que no estaban disponibles en los modelos originales. Estas patas pueden tener otros usos adicionales. Por ejemplo, los pines 32, 33 y 35 pueden utilizarse para salidas PWM (Pulse-Width Modulation) que permite simular señales analógicas [16].
- Finalmente, el puerto GPIO 17 es utilizado en el prototipo para generar una alarma audible a través de la activación de una señal, este tema será explicado a mayor detalle en la sección 5.2.4, en la que se describe el funcionamiento del Subsistema de Control. Las entradas y salidas de propósito general poseen la ubicación que se detalla en la Figura 3.3 de puertos GPIO del Raspberry.

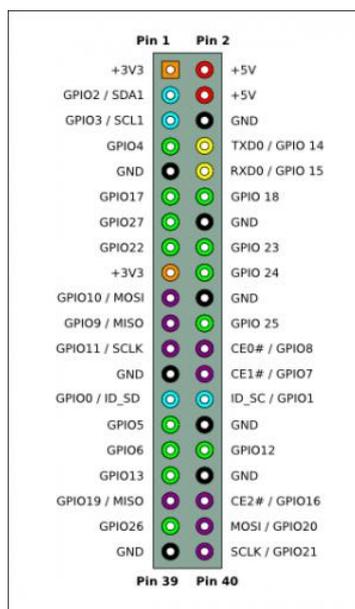


Figura 3.3. Puertos GPIO de Raspberry Pi 3 [15]

### 3.4 Programación de firmware

En el desarrollo de este proyecto, el firmware es un conjunto de librerías incorporadas por el fabricante y que han sido programadas en lenguaje Python, facilitando el diseño de proyectos y optimizando tiempo al momento de desarrollar soluciones de ingeniería que requieran la interacción con el dispositivo en el cual están integradas. Son definidas como parte del hardware por incorporarse en la electrónica del equipo y son también consideradas software debido a que son desarrollados en un lenguaje de programación.

Es importante conocer la diferencia entre firmware y middleware, ya que el primero es un software que existe en una pieza de hardware que permite manipular la configuración del equipo y no puede borrarse mientras que el middleware es un programa que realiza tareas específicas y en nuestro proyecto su desarrollo posibilita la interacción con el lector a fin ver datos y leer RFID etiquetas para la generación de reportes.

Es necesario realizar el análisis de la cobertura para determinar la fiabilidad del proyecto, para tal efecto se utilizó la librería `Activerfid_reader_api.dll` mediante

ActiveRFID\_Reader.exe, componente del firmware de fábrica de la unidad de lectura RFID utilizada en el proyecto.

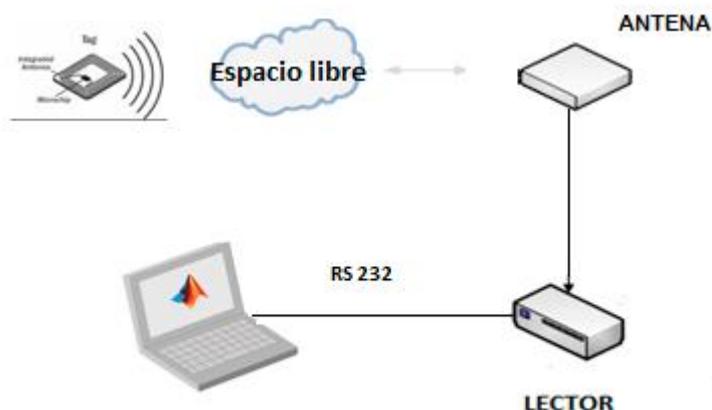


Figura 3.4. Esquema de pruebas de fiabilidad

En la Figura 3.4 se demuestra el esquema adoptado para realizar las pruebas de fiabilidad, para poder llevarlas a cabo es necesario configurar ciertos parámetros de la unidad de lectura RFID. EL equipo lector soporta ciertas tasas de comunicación o como tasas de baudios que representan el número de unidades de señal por segundo: 9600, 11400, 19200, 28800, 38400, 57600, 115200.

A continuación, la Figura 3.5 se muestra la tasa de comunicación configurada en el firmware del equipo lector para poder realizar las pruebas de cobertura.

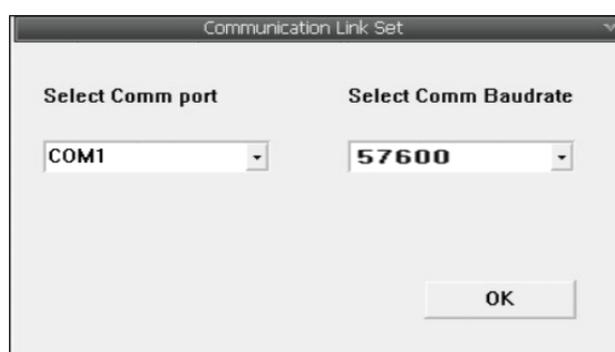


Figura 3.5. Configuración de tasa de comunicación del Equipo Lector

Así mismo, la distancia de lectura puede ajustarse configurando el parámetro "Ganancia de recepción de RF" (RF Receive Gain), la unidad de lectura RFID permite variar dicho parámetro entre 0 y 31 DB, tal como se visualiza en la Figura 3.6 de configuración de parámetro de ganancia de recepción.

The image shows a software dialog box titled "RFID parameter Sets". It contains the following settings:

- Mode of Start Read Tag'ID: [dropdown menu]
- Read Same Tag'ID interval (Unit:0.5s): [dropdown menu]
- Device Active Send data to Computer interval(unit:2ms)[range:0-65535]: [text input field containing '0']
- Delay time after External Signal Start Read (unit:0.5s): [dropdown menu]
- Off-time of delayer (unit:32ms): [dropdown menu]
- speaker time(unit:2ms): [dropdown menu]
- RF Receive Gain (unit:DB): [dropdown menu]

At the bottom of the dialog, there are three buttons: "Read Data from device", "Write Data to Device", and "Cancel".

Figura 3.6. Configuración de parámetro de ganancia de recepción

## CAPÍTULO 4

### 4. DISEÑO DE INTERFACES DE COMUNICACIÓN

En este capítulo se presentará el diseño de la base de datos, cuyo repositorio se localiza en el equipo Raspberry, almacenando la información (Lectura de los TAGs obtenidos desde la Unidad de Lectura RFID) que será transmitida a través de la red hacia un sistema de gestión y que al mismo tiempo desencadenará la activación de un sistema de alerta a través de las señales GPIO emitidas por el equipo de Controlador Raspberry, cuyo funcionamiento se describe en el ítem 5.2.4 de Subsistemas de Control. Así también se mostrará la programación de la interface usuario que se ha realizado, así como el servicio web implementado. Tal como se observa el diagrama de bloques de los módulos de control del Raspberry y de administración.

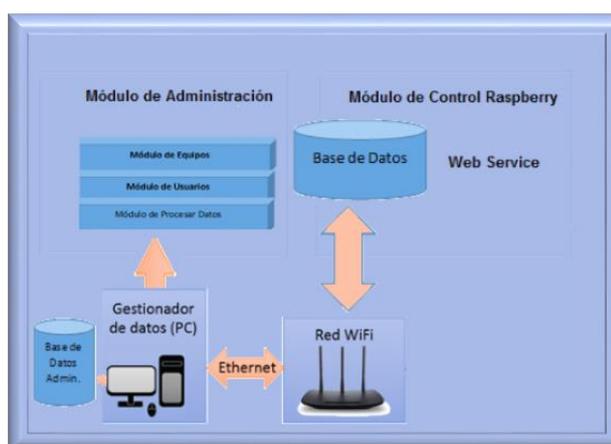


Figura 4.1. Diagrama de Bloques de los Módulos de Control del Raspberry y de Administración

#### 4.1 Definición de la base de datos

En la base de datos relacional utilizada en el proyecto se establece el almacenamiento lógico de toda la información de forma organizada y estructurada con el menor número de repeticiones posible. Debido a que se lo asocia directamente con la red, estos datos guardados podrán ser compartidos desde cualquier punto en la red de área Local (LAN).

Algunos de los motores de bases de datos más comunes del mundo son: MySQL, Microsoft Access, Oracle, entre otros.

Para el presente proyecto se diseñó una aplicación denominada Zone Safe desarrollada mediante el IDE (Integrated Development Environment) Visual Studio Community y su codificación se realizó en lenguaje Python.

Zone Safe ejecuta las sentencias necesarias para la creación de la base de datos del sistema de control en la que se almacena la información de los TAGs obtenida por el equipo lector, tal como se visualiza en la Figura 4.2 de base de datos del Módulo de Control.

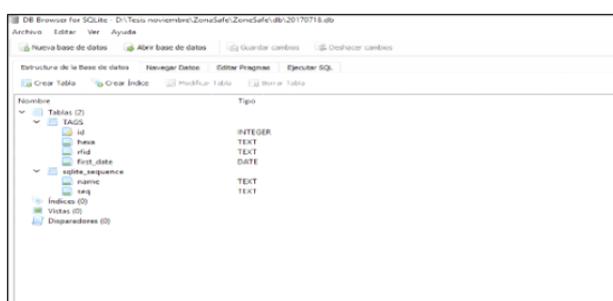


Figura 4.2. Base de Datos del Módulo de Control

También existe un proyecto denominado Zone Manager, el mismo que ha sido compilado en C++ y mediante la generación de un script permite la creación de la base de datos que almacenará la información necesaria para la interfaz que realiza la administración y generación de reportes, como se muestra en la Figura 4.3 de base de datos del Módulo de Administración.

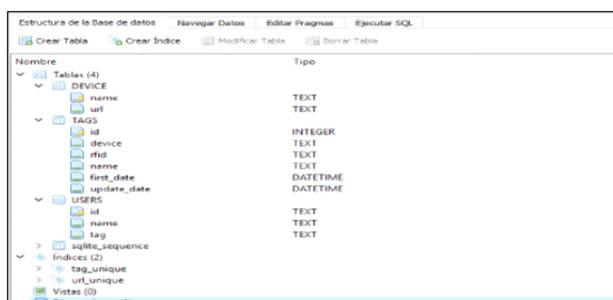


Figura 4.3. Base de Datos del Módulo de Administración

## 4.2 Diseño de la base de datos

El diseño de base de datos está dividido en tres etapas:

### 4.2.1 Etapa del diseño conceptual

Para su definición emplearemos el modelo entidad-relación (ER). Este modelo permite diseñar a través de un diagrama de bloques como será implementada la base de datos.

Los elementos de este modelo se detallan a continuación:

Entidad: son los objetos (reales o abstractos) sobre los que se puede realizar una diferencia con un mismo dato en común. Por ejemplo:

Device (identidad: objeto real)

Atributo: es la característica específica que define a cada entidad, con una información única. El atributo puede ser un número o texto. Para este caso tomaremos como ejemplo:

Grúa o montacargas (atributo: chasis)

Cargo del empleado (atributo: nombre del empleado)

Los atributos pueden ser creados como:

Clave: será una restricción específica que se le dará a cada atributo de una entidad. Esta clave no puede repetirse por ningún motivo.

Superclave: es una restricción que puede ser aplicada a varios atributos de una entidad; impidiendo que se repitan las identificaciones en un registro posterior.

Clave primaria: es el primer atributo que se asigna a la entidad y es de tipo único, no puede haber dos iguales en la misma entidad; mucho menos en entidades distintas.

Clave externa o clave foránea: se relaciona con la clave primaria de otra entidad de manera que ambas claves primarias deben existir; es una forma de asegurarse que cada entidad posea una clave primaria.

Relación: es el vínculo entre las entidades; es decir, que varias entidades pueden compartir indispensablemente los mismos atributos.

Entre sus tipos se encuentran:

Uno a uno: solo se relaciona una entidad con otra entidad.

Uno o varios o Varios a uno: se puede relacionar una entidad con otras entidades o varias entidades con una sola entidad.

Varios a varios: una entidad puede relacionarse con otra entidad, con varias entidades o con ninguna.

Una vez que se tiene claro los elementos del modelo entidad-relación, se procede a realizar el diagrama para este caso, como se muestra en la Figura 4.4.



Figura 4.4. Diagrama Entidad-Relación

#### 4.2.2 Etapa del diseño lógico

En esta etapa se lleva el modelo conceptual a un esquema de datos que pueda ser utilizado por el sistema gestor de base de datos; con la finalidad que el usuario tenga un fácil acceso a la base de datos y gestionar de mejor manera toda la información almacenada en la misma.

Este diseño lógico está directamente ligado al diagrama entidad-relación como se muestra en la Figura 4.5 de Diagrama de diseño lógico.

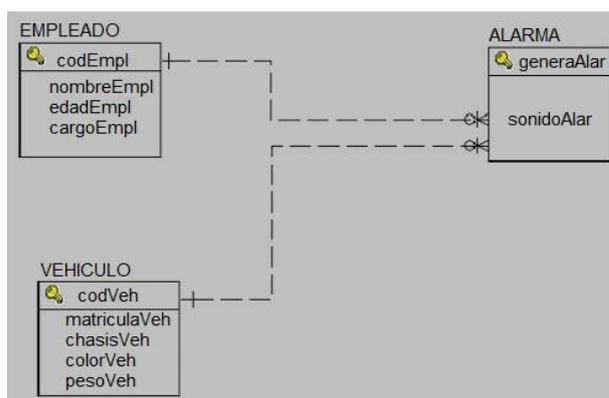


Figura 4.5. Diagrama de diseño lógico

### 4.2.3 Etapa del diseño físico

A partir del diseño lógico, se crea una lista con todos los requerimientos y características que deberán ser transferidas a la base de datos del sistema, mediante el motor de Base de datos SQLite, de esta manera permitirá que el usuario acceda a la base de datos, administrando de manera eficaz la información almacenada en sus repositorios, como se muestra en la Figura 4.6 del diseño lógico.

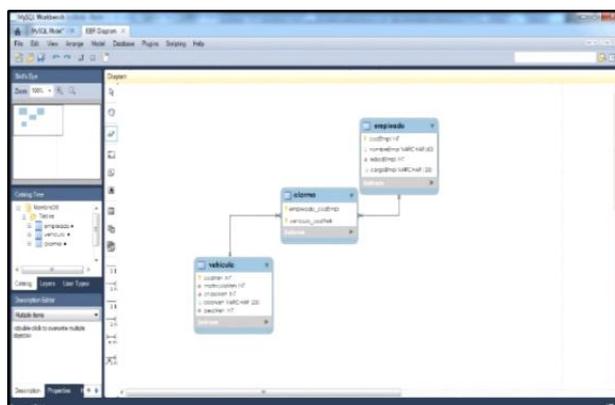


Figura 4.6. Diseño físico

## 4.3 Implementación de la base de datos

MariaDB, el motor de base de datos con licencia GPL (General Public License) y basado en MySQL, utilizado en el módulo de control, permite realizar rápidas

consultas complejas de datos y paralelamente posee características como el funcionamiento de motores en cluster y es compatible con todo software que interactúe con MySQL.

Con respecto a la implementación de la base de datos que interactúa con el módulo de Administración, es posible indicar que la portabilidad es una de las principales ventajas de SQLite, también al manejar y soportar librerías que integran la aplicación se genera un acceso a la información de manera más rápida y oportuna, mejorando de esta forma la eficiencia al disminuir su latencia. No requiere un proceso aparte funcionando como servidor por lo que puede escribir y leer los archivos directamente.

SQLite es capaz de generar bases de datos ligeras y sencillas de gestionar, características que nos permiten manejar la información de una manera más sencilla [10], por este motivo es determinante su utilización en este proyecto para evitar inconvenientes que se puedan presentar con otros métodos más complejos.

La estructura de la solución necesita de una administración aislada de las bases de datos, la primera parte se encarga del almacenamiento de los datos o información correspondiente a lo descrito en los TAGs mediante el motor MaríaDb y la segunda parte consiste en la capacidad de registrar o reconocer los datos de la interfaz de administración en SQLite.

Para ejecutar el enlace hacia la base de datos no se requiere de una configuración previa en el equipo de trabajo ya que esta conexión la realiza el motor SQLite. [17]

Para efectuar la conexión a la base de datos no es necesario realizar configuración alguna en el equipo donde se ejecuta la aplicación debido a que este proceso es ejecutado por el motor SQLite y es totalmente transparente para el usuario final.

#### **4.3.1 Implementación de la base de datos de módulo de Control**

El módulo de control se encarga de la producción constante de una base de datos, en donde se recopila la información relacionada a las lecturas efectuadas por día durante las 24 horas y es almacenada con el formato "YYYYMMDD.db".

En la base de datos encontramos una tabla denominada TAGs en donde se guarda la información de los transponder leídos por el módulo. La tabla está constituida de la siguiente manera:

**Id (integer):** Aquí se almacena automáticamente la secuencia de las lecturas efectuadas.

**Hexa (text):** En este campo se almacena los datos correspondientes al código EPC que describe la etiqueta leída.

**Rfid (text):** En esta sección se guarda la información de la etiqueta, después de que el dato es convertido a dato de tipo entero.

**Firs\_date (date):** Campo que contiene la información sobre fecha y hora en que se realizó la lectura del TAG.

#### 4.3.2 Implementación del módulo de Administración

El módulo abarca la base de datos “Zone.db” la cual reúne la información relacionada a la gestión de reportes y permisos de acceso.

La estructura de la base de datos Zone.db está constituida de las siguientes tablas:

**Device:** Almacena los datos del subsistema de antenas registradas, y su estructura es la siguiente:

**Name (text):** Es la etiqueta con la que se registra a la antena.

**Url (tex):** Indica la dirección de la descarga.

**TAGs:** Guarda los datos necesarios para observar los reportes del sistema. Su estructura se detalla a continuación.

**Id (integer):** Es una variable que almacena la secuencia de la lectura y dicha variable se incrementa automáticamente.

**Device (text):** Representa el equipo vinculado a la lectura del TAG.

**Rfid (text):** Guarda el código de la tarjeta RFID con formato de tipo entero.

**Name (text):** Corresponde al nombre del usuario vinculado al TAG.

**First\_date (date):** Almacena la información correspondiente a la fecha y hora en que se originó el TAG.

**Update\_date (date):** Este campo guarda los datos que indican la fecha y hora en que el TAG fue leído.

**Users:** Guarda la información de los usuarios vinculados a las etiquetas. Su estructura se describe a continuación.

**Id (integer):** Indica el número de cédula del usuario.

**Name (text):** Contiene los nombres y apellidos del usuario.

**TAG (text):** En este campo se guarda el código en formato de tipo entero del TAG vinculado al usuario.

#### 4.4 Definición de las interfaces

##### 4.4.1 Interfaz de control

Esta fase consiste en integrar de manera sencilla el módulo lector RFID y el módulo de comunicaciones del proyecto mediante el desarrollo de una aplicación que facilite al usuario el almacenamiento y tratamiento de los datos a partir de las lecturas realizadas por el sistema RFID, permitiendo su posterior administración para la obtención de la información almacenada en sus repositorios.

La interfaz de control consta de dos componentes, el middleware y el servidor web tornado.

##### 4.4.1.1 Middleware

Como se aprecia en la Figura 4.7, las principales componentes del middleware consisten en la administración a nivel de control de los lectores y etiquetas, gestionando la recolección de los datos, así como también de la filtración de los mismos para su correspondiente envío. [18]

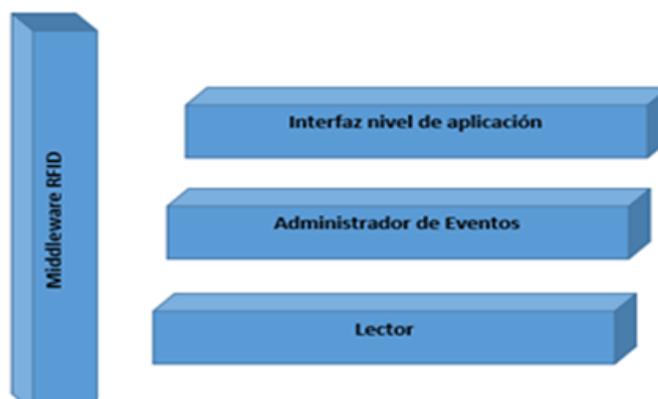


Figura 4.7. Componentes RFID Middleware [18]

Middleware es una herramienta básica que se puede utilizar en proyectos que están conformados por marcos de trabajo en donde existe una mutua relación entre el mundo físico que forman la base de la infraestructura RFID y el mundo lógico de la información. Por esta razón para el desarrollo del proyecto se implementó una solución utilizando un código programado en Python el cual consiste en un software controlador de módulos RFID que analizará la información obtenida de los datos señalados por el lector para ejecutar las señales correspondientes que activen un sistema de alarma y posteriormente enviar la información más destacada a través de la red hacia un sistema de gestión.

El software estará constituido por cuatro etapas o servicios que se mantendrán en un constante censo, este proceso se detalla en el apartado de diseño de módulo de control y su código fuente se describe en el ANEXO A.

#### 4.4.1.2 Servidor web tornado

TORNADO Web Server es una plataforma (framework) que posee un alto rendimiento que permite ejecutar múltiples acciones o conexiones simultáneamente, este servidor fue

liberado por Facebook con el fin de proporcionar facilidades al crear aplicaciones que interactúen con los usuarios en tiempo real al efectuar las actualizaciones [19].

El servidor está disponible desde el año 2009 con licencia Apache versión 2 y al ser un software libre, es perfecto para implementarlo en proyectos en donde se requiere trabajar con una gran cantidad de usuarios. Posee tecnología WebSockets que ayuda a la transferencia de datos en tiempo real sin generar interferencias que afecten las funciones del sistema, permitiendo también la capacidad de administrar las conexiones web, en otras palabras, es capaz de proporcionar al desarrollador la facultad de personalizar la interfaz gráfica.

Tornado es un servidor ágil y ligero que permite sobrecargas de conexiones debido a su capacidad de manejar miles de conexiones simultáneamente.

Este servidor acoge servicios web implementados en Python que suministran la información necesaria.

Este servidor web es ejecutado en equipos Raspberry, los cuales, cuentan con conexión Ethernet, permitiendo así la conexión del equipo a una red con la finalidad de suministrar los datos obtenidos de las lecturas RFID a las correspondientes aplicaciones y usuarios que interactúe con el sistema.

En el proyecto se facilita la visualización de la información relativa respecto a los equipos encendidos, esto se realiza mediante servicios web de Tornado.

La arquitectura de servicios web es un servicio que utiliza un conjunto de protocolos y estándares abiertos que permiten la interoperabilidad y el intercambio de datos entre dos o más aplicaciones, sin que su plataforma de desarrollo o el lenguaje

en el que se programaron afecte la comunicación entre sí a través de redes de ordenadores como internet.

#### **4.4.2 Interfaz de administración**

La interfaz cliente de usuario está codificada en el lenguaje Visual C# mediante el IDE Visual Estudio Community.

Uno de los propósitos de este proyecto consiste en difundir y expandir la tecnología Open Source, por este motivo se utiliza Visual Estudio Community la cual es una versión de libre acceso propia de Visual Studio y se encuentra disponible desde el año 2014 enfocada a la educación y pequeñas empresas que cuenten con un grupo no mayor a 5 desarrolladores. En cuanto al enfoque técnico podemos mencionar una de las grandes ventajas que posee este IDE de desarrollo, la cual es su portabilidad que proporciona a los usuarios el poder ejecutarlas desde cualquier computador, o equipo móvil incluso desde la web o la nube.

#### **4.5 Diseño de las interfaces**

Entorno de desarrollo para la programación de la interfaz de control

- IDE Visual Studio Community 2015
- Python 3.5

Servicios Web

- Tornado 4.3

Motor de Base de Datos

- MariaDB
- SQL Lite

Entorno de desarrollo para la programación de la interfaz de administración

- Visual C
- Sistema Operativo de Equipo Raspberry
- Raspbian V4.9

#### 4.5.1 Diseño de módulo de control

Consta de los siguientes servicios:

DEVICE es el nombre de la primera etapa o servicio y es la encargada de establecer la comunicación serial con el módulo lector. En este servicio se considera la tasa de bits, el puerto y el tiempo de espera para almacenar las capturas de los códigos RFID, debido a que no conocemos el número de datos el sistema de almacenamiento se realizara en un arreglo dinámico temporal con formato hexadecimal.

La segunda etapa se denomina MONITOR y es aquella que contiene el código principal que administra la interacción con el módulo lector RFID.

La tercera etapa se llama ALARMY y en esta sección se establece la función requerida para la activación del sistema de alarma.

La última etapa se llama TAGPY, es la encargada de tomar los datos enviados a la primera etapa DEVICE para fijar el formato necesario para finalmente almacenarlos en la base de datos.

#### 4.5.2 Diseño de módulo de administración

Mediante el empleo de 5 métodos se podrá gestionar y verificar la información a la cual el lector tendrá acceso desde el servidor web.

Para la administración del proyecto se empleará como módulo general la sección Manager.

##### **Manager**

Es el módulo principal que permite el control del proyecto. En la Figura 4.8 se visualiza la interfaz del Módulo de Administración, Consta de 03 opciones de menú: Equipos, Usuarios y Proceso.

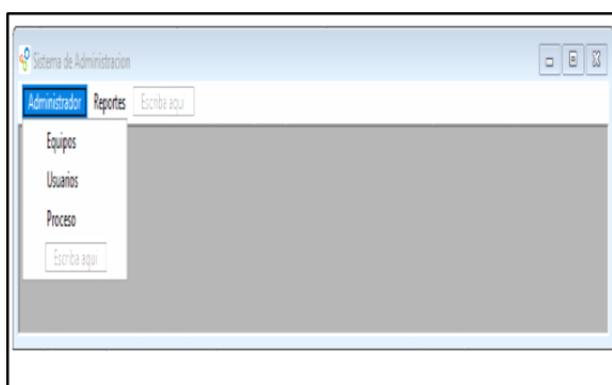


Figura 4.8. Módulo de Administración

### Equipos

En la Figura 4.9, correspondiente a la interfaz del Módulo Equipos se registra la información de las antenas del sistema mediante las opciones de Agregar, Actualizar y Eliminar los dispositivos (Unidades de Lectura RFID) y su respectiva dirección IP (Internet Protocol).



Figura 4.9. Módulo Equipos

En la Figura 4.10 se muestra la opción de Añadir equipo:

Figura 4.10. Añadir Equipos

### Procesar

Como se muestra en la Figura 4.11, en el módulo Procesar, la opción “Obtener” ofrece una visualización de los datos almacenados en el Controlador Raspberry, indicando cuantos registros existen a través de la generación de un reporte con un número máximo de 10000 registros. La opción “Procesar” descarga la información generada en el reporte

ID	ETIQUETA	FECHA
744	4160830262	2018-07-15 14:21:59
745	4160830262	2018-07-15 14:22:05
746	4160790522	2018-07-15 14:26:44
747	4160830262	2018-07-15 14:26:45
748	4160790522	2018-07-15 14:26:46
749	4160830262	2018-07-15 14:26:48
750	4160830262	2018-07-15 14:26:51
751	4160830262	2018-07-15 14:26:59
752	4160830262	2018-07-15 14:27:01
753	4160830262	2018-07-15 14:27:08
754	4160830262	2018-07-15 14:27:12
755	4160830262	2018-07-15 14:27:17
756	4160830262	2018-07-15 14:27:21
757	4160830262	2018-07-15 14:27:21
758	4160830262	2018-07-15 14:27:23

Figura 4.11. Módulo Procesar

### User

Como se visualiza en la Figura 4.12, el módulo Usuarios se utiliza para el mantenimiento de los usuarios autorizados.

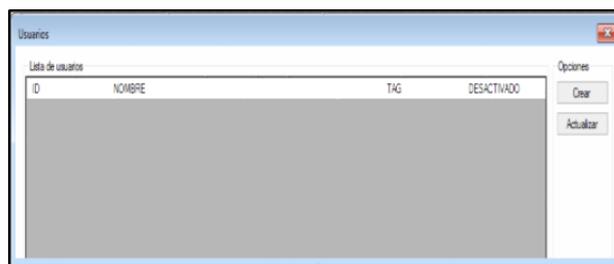


Figura 4.12. Módulo Usuarios

En la Figura 4.13 se puede crear nuevos usuarios y se los asocia a un TAG

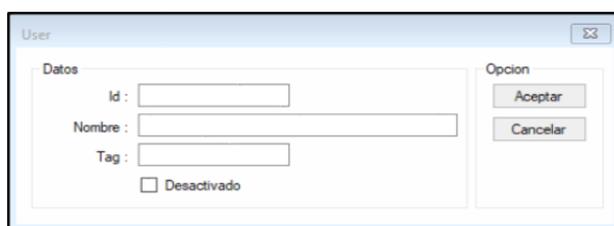


Figura 4.13. Pantalla para crear usuarios

## Reportes

En la Figura 4.14 se observa la interfaz del Módulo Reportes, que permite generar los reportes del sistema, permitiendo la exportación de la información a formatos .xls y csv.

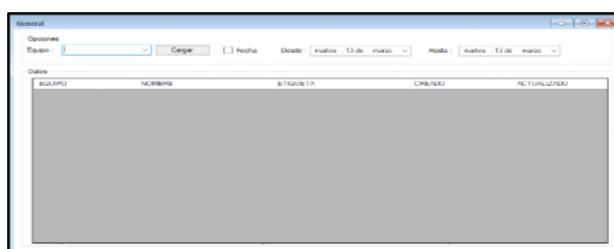


Figura 4.14. Módulo Reportes

## 4.6 Prueba de las interfaces

Se realizaron pruebas de las interfaces dando resultados exitosos los cuales se muestran.

### 4.6.1 Pruebas de las interfaces del módulo de control

La información de los equipos (Mediante Web Service) se muestra en la Figura 4.15 de pruebas del Módulo de Control.



Figura 4.15. Pruebas del Módulo de Control

### 4.6.2 Pruebas de las interfaces del módulo de administración

El reporte de Lectura de las tarjetas RFID se visualiza en el reporte general de TAGs.

The screenshot shows a window titled 'Reportes de etiquetas' with a table of data. The table has four columns: 'EQUIPO', 'ETIQUETA', 'USUARIO', and 'FECHA'. The data rows show a list of equipment (EQUIPO) with corresponding tag IDs (ETIQUETA), user names (USUARIO), and timestamps (FECHA). The 'EQUIPO' column contains values like 'UNO', 'DOS', 'TRES', etc. The 'ETIQUETA' column contains values like '416035202', '416035203', etc. The 'USUARIO' column contains 'NO NAME'. The 'FECHA' column contains timestamps like '15-07-2010 14:21:59', '15-07-2010 14:22:09', etc.

EQUIPO	ETIQUETA	USUARIO	FECHA
1 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:21:59
2 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:22:09
3 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:44
4 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:45
5 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:46
6 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:46
7 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:51
8 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:26:59
9 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:01
10 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:08
11 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:12
12 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:17
13 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:21
14 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:21
15 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:23
16 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:21
17 UNO	416035202	NO NAME	15-07-2010 14:27:32

Figura 4.16. Reporte general de TAGs

## CAPÍTULO 5

### 5. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE LA SOLUCIÓN

En el presente capítulo se mostrará el diseño y la implementación de la solución, realizando una breve descripción de los tres escenarios en los que se llevó a cabo tanto las pruebas de laboratorio como de implementación del prototipo. El primer escenario involucra la realización de las pruebas teóricas de laboratorio en el Coliseo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral. Como segundo ambiente tenemos la terminal portuaria de nuestra ciudad, en la cual se realizaron las prácticas experimentales. Finalmente, el tercer escenario implica la realización de pruebas con la elevación de una antena a 5 metros de altura en el terminal portuario.

#### 5.1 Descripción del escenario

Las prácticas experimentales fueron realizadas en una terminal marítima portuaria de la ciudad de Guayaquil debido a que es el escenario ideal para verificar el funcionamiento del prototipo y considerando que dentro de un puerto existen muchos equipos pesados como son montacargas, puentes grúas, elevadores, camiones de traslado y grúas móviles elevadoras, estas últimas sirven para movilizar los contenedores y apilarlos.

La terminal marítima está dividida en varios segmentos o patios que son áreas de extensas dimensiones en las que se almacenan pilas muy altas de contenedores que dificultan la visibilidad a los conductores de grúas móviles elevadoras conocidas como “reach steaker” que son utilizadas para trasladar a los contenedores “containers” y que por su constante desplazamiento constituyen un factor de riesgo para el personal y para los activos fijos del puerto. Por otra parte, la circulación de un elevado número de camiones que diariamente ingresan al puerto ya sea para entregar, retirar o trasladar mercadería, situación a la que se suma la presencia de peatones que ingresan a los patios del lugar y el nivel de ruido de los motores que existe, el mismo que probablemente sobrepasa los 80 dB, constituyen factores de alto riesgo de accidentes en el lugar. En la Figura 5.1 se muestra el proceso de manipulación de contenedores en el Puerto de Guayaquil.

Para efectos de pruebas en sitio se seleccionaron las grúas móviles elevadoras para la instalación del prototipo.

En el equipo reach steaker se instalaron 4 antenas que componen el sistema prototipo propuesto, dos se instalaron en la parte trasera de la grúa móvil elevadora, una antena en el frente y una antena en el boom (Brazo ubicado en la parte frontal de la grúa que se utiliza para levantar la carga) , la unidad principal compuesta por un controlador y el equipo lector de RFID fueron instalados en la cabina del conductor, la alimentación (energía) se obtiene de la misma grúa, cabe indicar que el sistema es encendido automáticamente al momento de encender la grúa.



Figura 5.1. Proceso de manipulación de contenedores en el Puerto de Guayaquil

## 5.2 Descripción de los lectores RFID

Los lectores de RFID se componen del lector propiamente dicho y de cuatro antenas. En la Figura 5.2 es posible observar los componentes Unidad de Lectura y TAG RFID utilizados en el proyecto.



Figura 5.2. Unidad de Lectura y TAG RFID utilizados

### 5.2.1 Subsistema de antena

#### Diversidad de antenas

Uno de los problemas comunes en la propagación es el efecto de reflexión, es importante recordar que las ondas electromagnéticas se pueden reflejar en los diferentes tipos de superficies lo cual produce una multi-trayectoria de la señal que se propaga, debido a la diferencia del ángulo de reflexión, por lo que la señal podría ser recibida de forma nula en el caso extremo en que la diferencia de los ángulos sea 180 grados, esto podría disminuir el rendimiento del sistema y considerando que se trata de un sistema de prevención de riesgos de accidentes es necesario minimizar este inconveniente técnico que se podría presentar. [20]

El rendimiento del sistema puede ser mejorado realizando ciertas técnicas en el receptor, una de estas técnicas es la diversidad de antenas, la misma que se aplica en el prototipo implementado y consiste en colocar varias antenas en el receptor, este tipo de diversidad también es conocida con el nombre de diversidad espacial y siendo únicamente utilizado en el lado del receptor se le da el nombre de SIMO (SINGLE INPUT, MULTIPLE OUTPUT). En la Figura 5.3 observamos el gráfico de un sistema SIMO.

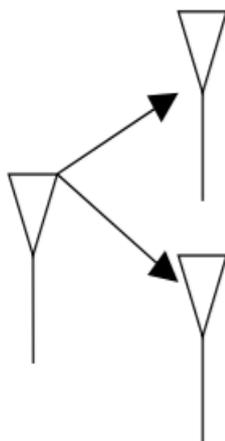


Figura 5.3. Gráfico de un sistema SIMO

Así mismo se utiliza la diversidad de selección en el receptor, lo que implica un procesamiento a las señales recibidas, es decir de todas las ramas se selecciona la señal recibida con mayor SNR.

Diversidad de antenas consiste en mejorar fiabilidad de un sistema seleccionando o combinando las señales que provienen desde varias antenas que transmiten o reciben la misma información de otros canales y están incorreladas, de tal forma que, aunque sufran perturbaciones de manera independiente esto no afectará a todas las señales [21].

La diversidad de antenas permite obtener una mejor cobertura en la zona deseada, más aún considerando el tamaño del equipo donde se instalará el sistema y aprovechamos la reflexión de la señal en el sitio.

En el diseño de la solución se implementó la diversidad de antenas en el lado del receptor, ya que se utilizarán múltiples antenas receptoras utilizando la técnica SIMO (Single Input Multiple Output).

En la Figura 5.4 observamos las dimensiones de un sistema SIMO.

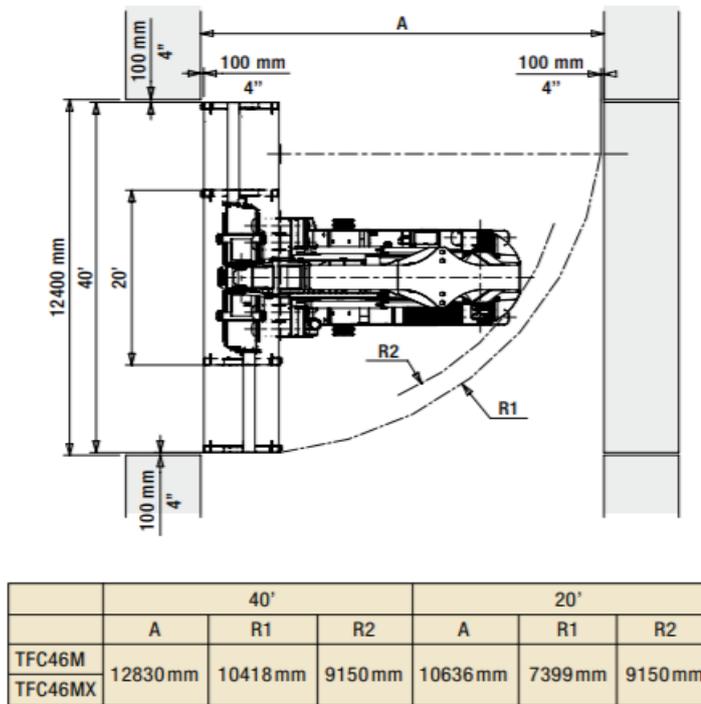


Figura 5.4. Dimensiones de un sistema SIMO [21]

En la Figura 5.5 podemos visualizar la implementación de un sistema SIMO.

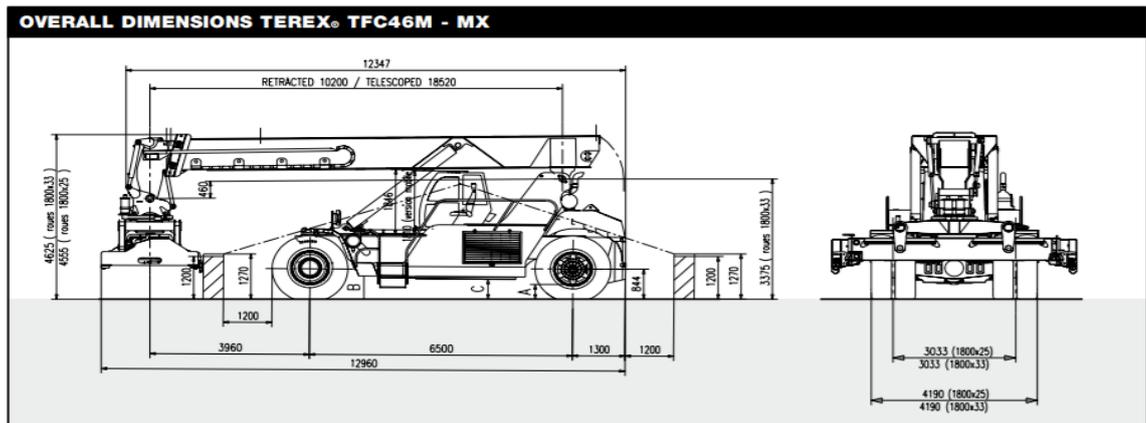


Figura 5.5. Implementación de un sistema SIMO [21]

### **5.2.1.1 Introducción al protocolo utilizado por el lector RFID**

Las características del protocolo de comunicaciones usado por el lector de RFID propuesto se pueden resumir en lo siguiente:

Define las diferentes características funcionales para el envío de la información a través de un canal de comunicación, mediante:

- La comunicación punto – multipunto.
- En el envío de tramas se ejecuta un proceso de “Chequeo de Errores” por cada una, si se detecta un error en el envío de la misma, se activa el proceso de “Re-envío de Tramas” que se explica en el ítem 5.2.1.4 correspondiente a Chequeo de errores y mecanismos de envío.
- Comunicación en tiempo real.
- Estructura de la trama de los datos salientes.

La tipología necesaria para el funcionamiento de los sistemas RFID se determina por las modalidades de comunicación: activa y pasiva.

### **5.2.1.2 Modo de comunicación activo y pasivo**

En el modo de comunicación pasivo, el lector debe esperar a que el controlador o computador envíe una instrucción, entonces el lector envía la información de las etiquetas.

En el modo de comunicación activo el lector siempre se mantiene leyendo las etiquetas y enviándolas al computador o controlador para el caso del proyecto.

Para el desarrollo del prototipo se eligió el modo de comunicación activo considerando la naturaleza del mismo.

### 5.2.1.3 Comunicación punto a punto y multipunto

El lector de RFID puede soportar una comunicación de tipo punto – multi punto, lo cual implica que un mismo computador o controlador tiene la capacidad de administrar múltiples lectores, tal como se observa en la Figura 5.6.

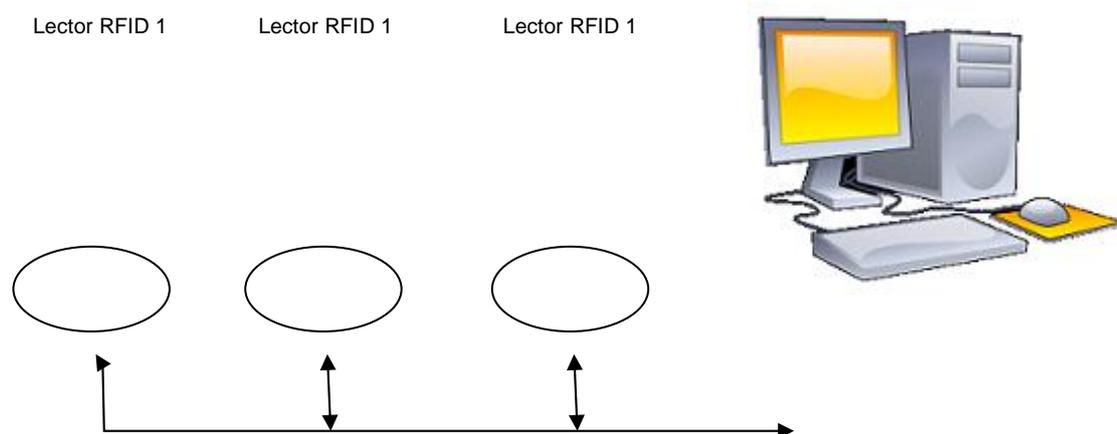


Figura 5.6. Comunicación Punto y Multipunto

### 5.2.1.4 Chequeo de errores y mecanismo de re-envío

El protocolo de detección utilizado comprende un mecanismo de revisión de errores y realización de re-envío de tramas, si se recibe una trama se realiza el chequeo de errores, si la trama no tiene errores no necesita ser re-enviada, en caso contrario se realizará el re-envío de la trama, si la trama es correcta el pc colocará 0xA5, si recibe un dato errado colocará 0xAA.

De forma similar se realizará del computador al lector, es decir si el lector recibe una trama errónea le indicará al computador que la trama es errónea para que se realice su re-transmisión.

0xA5. A continuación se visualiza un diagrama de estados de chequeo de errores y mecanismos de re-envío de tramas en la Figura 5.7.

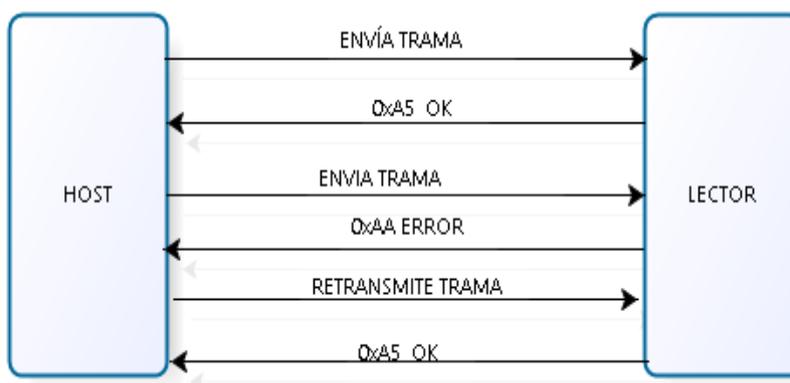


Figura 5.7. Chequeo de errores y re-envío de tramas

#### 5.2.1.5 Protocolo de comunicación

En la Figura 5.8 se visualiza el protocolo de comunicación RFID.

IDENTIFICADOR DE TRAMA (1 BYTE)	DIRECCIÓN (2 BYTE)	CODIGO CARACTERÍSTICO (1 BYTE)	NUMERO DE FUNCIÓN (1 BYTE)	CONTENIDO (0-58 BYTES)	CHEQUEO DE ERROR (1 BYTE)	IDENTIFICADOR DE TRAMA (1 BYTE)
---------------------------------	--------------------	--------------------------------	----------------------------	------------------------	---------------------------	---------------------------------

Figura 5.8. Protocolo de comunicación RFID

Como se observa en la Figura 5.6, la trama incluye siete componentes o partes: identificador de trama de inicio y de fin de trama, dirección, código característico, número de función, contenido y chequeo de error.

#### 5.2.1.6 Protocolo de comunicación y estructura de la trama

“Identificador de Trama”: Permite identificar el inicio y el final de una trama y seguirá una secuencia determinada.

“Dirección de Destino” está compuesta por dos bytes y va de 0x0000 a 0xFFFF, la dirección de broadcast será la 0x0000.

El byte de “Código Característico” únicamente puede tomar dos valores 0xAA o 0xA5, el primero implica que la última trama presenta error por lo que se necesita re-transmisión, 0xA5 implica que la trama fue correcta.

El “Contenido” va de 0 a 58 bytes, puede ser cero.

El “Chequeo de Error” ocupa un byte.

Para la comunicación la unidad de lectura RFID adopta el protocolo serial RS-232, compuesto de un bit de inicio, 8 bits de datos, y un bit de parada. Tal como se muestra en la Figura 5.9. de Trama RFID.

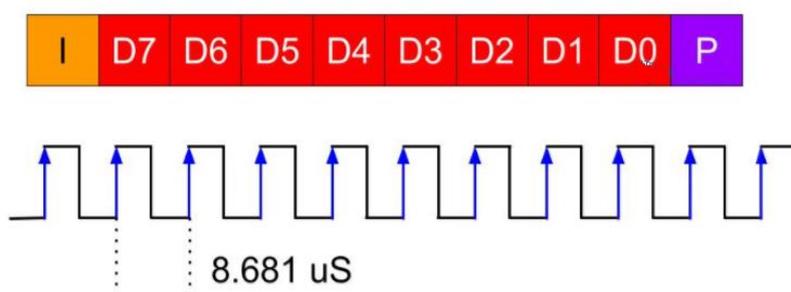


Figura 5.9. Trama RFID

Las velocidades soportadas por el sistema son las que soporta el protocolo RS-232 y RS-485 ya que el hardware soporta los dos protocolos, por consiguiente, las velocidades son: 9600 bps, 14400 bps, 19200 bps, 28800 bps, 38400 bps, 57600 bps, 115200 bps.

### 5.2.1.7 Trama de las etiquetas

La trama de comando es el marco de datos para operar la trama, la transferencia de datos del host al lector (Master y Esclavo) y el formato de la siguiente manera.

PacketType	Length	Command Code	Device Number	Command Data	...	Command Data	Command Data	Checksum
0xa0	n+3	1 byte	1 byte	Byte 1		Byte n-1	Byte n	cc

Figura 5.10. Marco de datos de trama RFID

Como se visualiza en la Figura 5.10 del Marco de datos de trama RFID, "Packet Type" es un dominio de tipo paquete, el tipo de paquete de marco de comando está fijado en 0XA, la longitud "Length" es un dominio de longitud de paquete, que representa el número de bytes de trama después de longitud, código de comando "Command Code" es un dominio de código de comando, número de dispositivo "Device Number" es un dominio de número de dispositivo, cuando el número de dispositivo es 00, estos datos se enviarán al grupo, "Command Data" es el dominio de parámetro del marco de comando, "Checksum" es dominio de suma de comprobación, las disposiciones del rango de suma de comprobación van desde el dominio de tipo de paquete hasta el último byte del dominio de parámetro. Es necesario calcular la suma de comprobación para detectar el error después de que el módulo recibe la trama de comando.

### 5.2.2 Subsistema de radio frecuencia

La limitada disponibilidad del espectro radioeléctrico dificulta su utilización en algunos lugares tales como entornos de alto nivel de ruido electromagnético o emplazamientos donde otros equipos empleen la misma banda de frecuencia.

Este trabajo se centra en el empleo de sistemas de Espectro Ensanchado de Salto en Frecuencia (FHSS) operando en Ultra Narrow Band,

aprovechando las ventajas que presentan respecto a otros sistemas. En principio, los sistemas FHSS presentan la posibilidad de seleccionar la ubicación del espectro de la señal, permitiendo evitar con una adecuada planificación la afectación del debilitamiento selectivo en el dominio de la frecuencia y determinadas interferencias. En resumen, una ventaja inmediata además es poder evitar la parte más baja del espectro de frecuencia que es donde se concentra gran parte de interferencia debido a la iluminación artificial existente y al ruido en los dispositivos de recepción.

En el caso del sistema FHSS, la secuencia PN alimenta un sintetizador de frecuencias cuya salida se multiplica con la señal de datos modulada. La señal obtenida salta de frecuencia en el tiempo, por lo cual esta modalidad recibe su nombre; esta señal se considera de espectro ensanchado puesto que estos saltos se realizan dentro de un ancho de banda superior al de la señal original de banda angosta.

FHSS tiene su aplicación principal en ambientes de trayectorias múltiples, siendo el más apropiado para el presente proyecto, puesto que de acuerdo a pruebas realizadas por otros autores se ha determinado que cumple un mejor desempeño [5].

El sub sistema de radio frecuencia se compone básicamente del lector de RFID y de sus antenas.

Las antenas utilizadas son 4, en la tabla 5.1 se visualizan las características técnicas de las antenas.

En la Figura 5.11 se presenta una imagen de las antenas utilizadas en el proyecto.



Figura 5.11. Antena RFID

CARACTERISTICAS ELECTRICAS	
Rango de frecuencia	2400 - 2500 Mhz
Ganancia	10 dbi
Ancho del Haz Horizontal	360 grados
Ancho del Haz Vertical	25 grados
Impedancia	50 ohm
Polarización	Vertical
Conector	TNC
CARACTERISTICAS MECANICAS	
Dimensión	20x600 mm
Peso	220 gramos
Material	Cobre
Humedad operacional	95%
Velocidad de viento soportada	36.9 m/s
Material	FRP
Temperatura de operación	-40 a 55 grados centígrados

Tabla 5.1. Características Técnicas de antenas RFID

### 5.2.3 Subsistema de captura

El módulo lector de etiquetas RFID o capturador posee una gran adaptabilidad, lo que permite su utilización en diferentes sistemas. Entre los más comunes tenemos la gestión de estacionamiento, sistema control de asistencia del personal, sistema de control de acceso, tele peaje, control de acceso de vehículos, sistema de administración de seguridad de importación y exportación personalizado, inventario en línea, entre otros.

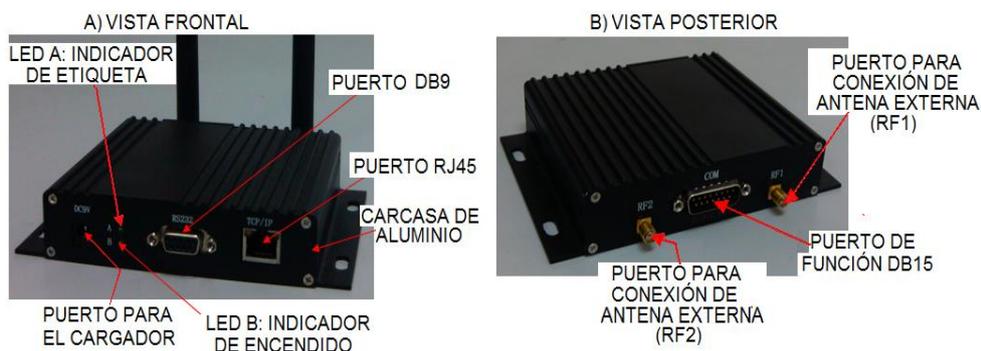


Figura 5.12. Módulo lector de etiquetas RFID

En la Figura 5.12 se denotan los componentes del módulo lector y sus características se detallan a continuación:

- Dimensión 145 mm x 100 mm x 28 mm.
- Peso: 0.5 Kg.
- Cuerpo hecho de aluminio.
- Luz A, led indicador de lectura de etiquetas. Parpadea cada segundo después de finalizar la inicialización del equipo. Una vez que lee una etiqueta el indicador deja de parpadear y mantiene encendido el led un periodo más largo.
- Luz B, led indicador de encendido. Indica el correcto funcionamiento del equipo y se enciende una vez el adaptador de corriente proporciona energía al equipo.
- Puerto de comunicación DB9.
- Puerto de función DB15.
- Puerto ethernet RJ-45.
- Dos puertos de conexión de antena externa.

El producto posee los siguientes rendimientos principales:

- Leer etiquetas electrónicas con modo de comunicación activo o pasivo.
- Guarda los datos de las etiquetas leídas.
- Informar al usuario por medio de la luz y el zumbador que se ha leído una etiqueta.

- Transmite información de las etiquetas leídas a la computadora o controlador a través de los protocolos RS232, RS485, Wiegand 26/34/66 o TCP/IP.
- Permite configurar la distancia de lectura para las etiquetas.
- Se puede configurar el intervalo de lectura de la misma etiqueta.
- RS232, se puede establecer la velocidad de comunicación RS485.
- Se puede activar la velocidad de carga de la etiqueta.
- Disparador externo para leer la información de la etiqueta.
- Puede leer la información de la fábrica.

A continuación, en la Figura 5.13, se visualizan los distintos formularios disponibles en el firmware para poder efectuar la lectura de los TAGs.

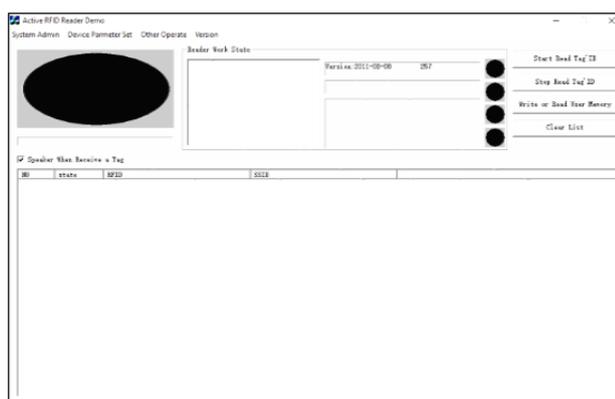


Figura 5.13. Módulo disponible en el firmware

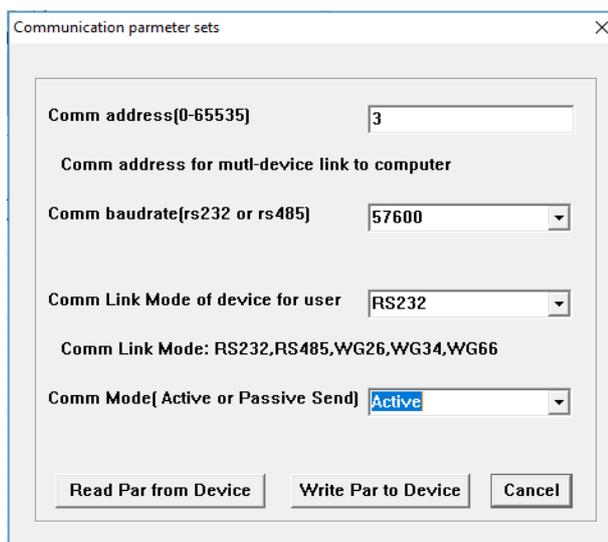


Figura 5.14. Parámetros de comunicación RFID

Como se observa en la Figura 5.14, la ventana de configuración de parámetros de comunicación se establece en el modo activo lo que implica que una vez realizada la lectura de las etiquetas la información será almacenada en un búfer, es posible configurar el intervalo de tiempo de lectura de la tarjeta, sin embargo es necesario acotar que especificar un velocidad mayor en el proceso de respuesta puede ocasionar la perdida de fechas de lectura.

#### 5.2.4 Subsistema de control

Para efectos de diseño del prototipo se implementó el sub-sistema de control en un equipo Raspberry Pi 3 modelo B provisto con el sistema operativo Raspbian y se desarrolló un software middleware que provee la comunicación necesaria con el equipo lector RFID a través del puerto de comunicación RS-232 para obtener las identificaciones de los transpondedores leídas.

Al recibir la información, el controlador almacena la data enviada por el equipo lector de RFID (identificación) y envía una señal a través del puerto GPIO 17 una señal de 5 voltios la misma que activa un relé y acciona una sirena por un segundo, es importante recalcar que el lector de RFID ha sido configurado para leer etiquetas con el mismo identificador

únicamente si ha transcurrido un segundo o más después de su última lectura, en caso contrario solo descartará la lectura y por consiguiente la identificación no llegará al controlador, por lo que no se activará la alarma, de tal manera que se impedirá la saturación de la sirena ya que la unidad de lectura RFID tiene la capacidad de leer hasta dos veces en un mismo segundo.

El relé utilizado tiene una alimentación de 5 voltios DC, soporta una señal de control de 0 a 5 voltios DC y posee salidas comúnmente abierta o comúnmente cerrada. Este relé ejecuta la activación de la alarma audible. La Figura 5.15 muestra el relé descrito.

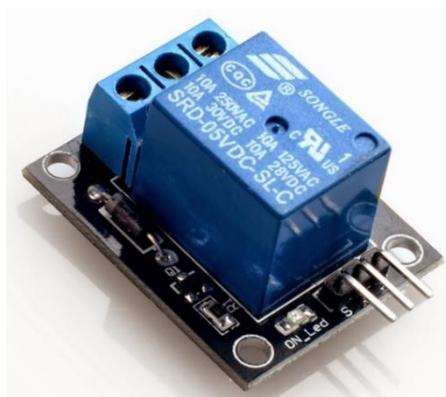


Figura 5.15. Relé con alimentación de 5 voltios

La sirena posee una entrada de 12 voltios DC, es de color amarillo está construido con protección IP67, lo que nos indica que soporta polvo y soporta agua inclusive la inmersión a un metro de agua hasta 30 segundos, la parte de la sirena posee una potencia audible de 110 db, frecuencia de un encendido por segundo, características observables en la Figura 5.16.



Figura 5.16 Sirena de 110 db

### 5.3 Ubicación de lectores RFID en maquinaria

El sistema prototipo propuesto comprende la utilización de cuatro antenas, dos de ellas instaladas en la parte trasera de la grúa móvil elevadora, una antena en el frente y una antena en el boom, el controlador y de la unidad de lectura RFID se colocaron en la cabina del conductor, tal como se visualiza en la Figura 5.17 de ubicación del Sistema de Prevención de Accidentes en una grúa, la energía eléctrica necesaria para su operación se obtiene de la misma grúa y activa el sistema al momento de encender la grúa.



Figura 5.17. Ubicación del Sistema de Prevención de Accidentes en una grúa



Figura 5.18. Ubicación de antena frontal en la grúa

Se colocaron 4 antenas creando un área circular con las 3 primeras que de acuerdo a lo que se observa en la Figura 5.17 y en la Figura 5.18 visualizamos una cuarta antena en el Boom de la máquina, elemento que realiza los movimientos para la carga y descarga de contenedores. Los movimientos propios para la manipulación de contenedores podrían obstaculizar provocando que la antena que se encuentra en la parte frontal de la grúa no capture la señal de alguna etiqueta cercana, para minimizar este tipo de situaciones la antena que se encuentra en el boom podrá cubrir el área requerida y obtener cualquier señal de una etiqueta. De acuerdo a lo explicado anteriormente es válido mencionar que el boom efectúa movimientos verticales propios para maniobrar objetos, lo que permitirá que la antena previamente instalada en él capture la identificación de las etiquetas de personas que se encuentren laborando incluso en áreas altas, como ejemplo particular podría mencionarse a los racks que alimentan de energía eléctrica a los contenedores refrigerados.

## CAPÍTULO 6

### 6. PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

En este capítulo se realizará un análisis de los resultados, observando los niveles de pérdidas y de RSSI, verificando las distancias máximas a las que el equipo lector puede realizar una óptima detección de los TAGs. Se supondrán varios escenarios mediante simulaciones basadas en el método de pérdida en espacio libre y observando las mediciones obtenidas en sitio. Finalmente se analizará de forma comparativa los resultados y se extraerán ciertas conclusiones sobre la fiabilidad del método utilizado.

Es importante destacar que para la realización de las pruebas en laboratorio se utilizó un medidor de espectro electromagnético FieldFox modelo N9916A, facilitado por la Facultad de Ingeniería Eléctrica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, el equipo es uno de los mejores para este tipo de pruebas.

Las pruebas teóricas de laboratorio y prácticas experimentales fueron realizadas con el objetivo de extraer información sobre la amplia casuística realizada, para entender y mejorar la tecnología en el momento de utilizarla en sus aplicaciones reales de identificación tales como:

- Identificación de peatones.
- Prevención de accidentes causados por maquinaria pesada.
- Verificación de accesos.

Para tener una mejor perspectiva del ambiente en el que se desarrollaron las pruebas en sitio, de las Figuras 6.1 se observa la vista panorámica de la Terminal Portuaria en Guayaquil, en la Figura 6.2 se visualiza la imagen de la vista panorámica del área de acopio de la Terminal Portuaria y finalmente en la Figura 6.3 se observa la vista panorámica de los equipos Reach Staker de Implementación de prototipo en la Terminal Portuaria.



Figura 6.1. Vista panorámica de la Terminal Portuaria en Guayaquil



Figura 6.2. Vista panorámica del área de acopio de la Terminal Portuaria



Figura 6.3. Vista panorámica de los equipos Reach Staker de Implementación de prototipo en la Terminal Portuaria

En la Figura 6.4 se observa el plano de la Terminal Portuaria de Guayaquil en la que se implementó el prototipo.

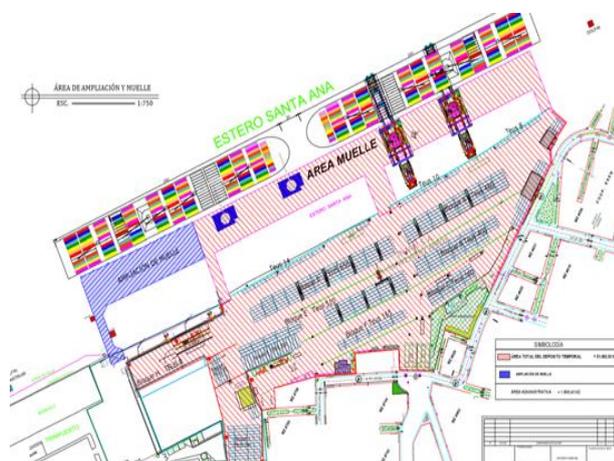


Figura 6.4. Plano de la Terminal Portuaria de Guayaquil

A continuación, se detallan las pruebas a las que fue sometido el equipo en cuanto al nivel de potencia de la señal emitida por los transmisores y recibida por el lector en función de la distancia entre ambos, de igual forma se analizan los niveles de pérdida y de RSSI con respecto a la variación de distancia, tanto en ambiente de laboratorio como en el lugar de implantación.

También se verificaron los resultados empíricos obtenidos en las pruebas de distancia de detección de los TAGs.

Finalmente, se obtuvieron las distancias máximas en las que se pueden encontrar los transmisores del receptor para una transmisión segura basados en un modelo de propagación

Seguidamente, por método de tabulación y de acuerdo a la esquematización de datos obtenida experimentalmente se procedió a calcular el valor del gradiente para el modelo de propagación que simula de forma óptima las pérdidas reales obtenidas en dicho ambiente determinado por sus características físicas.

En la figura 6.5 se observa el esquema de comunicación utilizado.

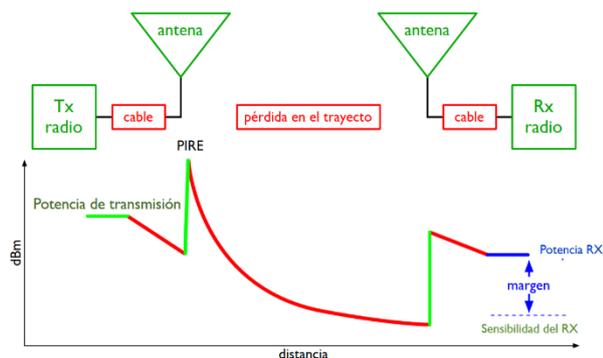


Figura 6.5. Esquema de Comunicación utilizado

### 6.1 Prueba de Ruido proveniente de los Motores de la Maquinaria donde se instalarán las Antenas usando un Analizador Espectral.

El ruido es un fenómeno universal que tiene una multiplicidad de orígenes desde fuentes acústicas (maquinas, vehículos, parlantes) hasta fuentes eléctricas (líneas de potencia, motores). También puede ser un origen óptico, térmico, magnético, etc. Sea cual sea este último, el término ruido se aplica en general, para referirse a cualquier cosa indeseable que opaca una señal legítima y que no está directamente relacionada con ella (en cuyo caso se trataría de una distorsión). De hecho, el ruido puede ser, por sí mismo, otra señal, como las distintas formas de interferencia que se producen en los circuitos electrónicos.

En la comunicación de datos, los errores que son causados por ruidos se manifiestan como bits adicionales o faltantes.

Para que algo perturbe a una señal debe tener:

- Energía indeseada de la misma naturaleza que la señal perturbada.
- Se debe encontrar presente en la misma banda que la señal.

Los motores de explosión, generan una señal disruptiva de alta potencia y con un espectro frecuencial muy amplio en el rango entre 30 y 300 MHz.

Por lo que se consideró realizar pruebas de ruido con la finalidad de tener la seguridad de que el ruido no será superior al nivel de señal.

### 6.1.1 Pruebas de laboratorio

Para realizar las pruebas de laboratorio se utilizó equipo FieldFox modelo N9916A, con la visualización de datos de las pruebas de Laboratorio, que se observa en la Figura 6.6.



Figura 6.6. Medidor Fieldfox modelo N9916A

Con una antena logarítmica de 10 dB, las pruebas fueron realizadas en el Coliseo de la Escuela Superior Politécnica, las pruebas realizadas se orientaron en cambiar al ancho de banda de observación de la señal de un TAG de uno a cuatro metros de distancia y observar cómo se comporta el sistema principalmente si se logra visualizar la señal de una forma correcta sin alteraciones debidas a ruido. Acontinuación observamos la Figura 6.7 de Distancia referencial de pruebas de laboratorio.

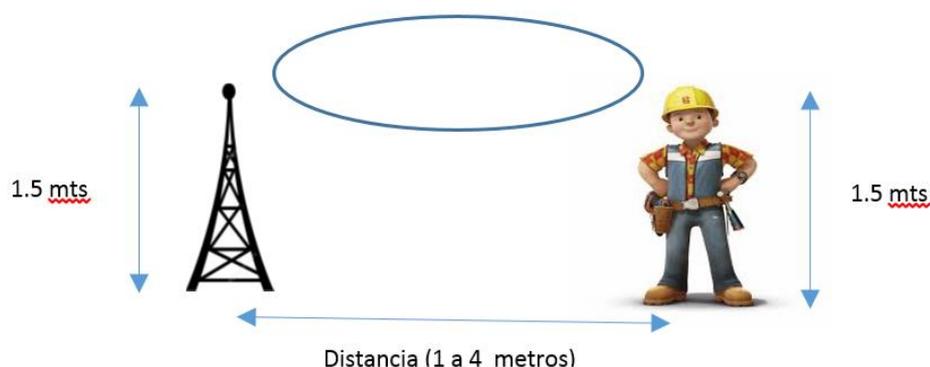


Figura 6.7. Distancia referencial de pruebas de Laboratorio

En todas las mediciones realizadas se observó que el ruido tenía una intensidad de -55 dBm aproximadamente como se observa en la Tabla 6.1 de Pruebas de Laboratorio de frecuencia RFID.

Ventana de observación		Ancho de Banda ocupado (Khz)	Señal Recibida (dBm)	Ruido (dBm)
Frecuencia de inicio (Ghz)	Frecuencia de fin (Ghz)			
2.495000	2.497000	1760	-30	-56.16
2.495600	2.495700	98.50	-42	-55.51
2.495600	2.495650	48.88	-42	-54.99
2.495600	2.495625	24.63	-42	-56.10

Tabla 6.1. Pruebas de Laboratorio de frecuencia RFID

La Tabla 6.2 contiene las muestras de RSSI tomadas en laboratorio, tomando en cuenta que la potencia del TAG es muy baja, que el piso de ruido es alto y que no hay forma de aumentar la sensibilidad o ganancia del receptor no hemos logrado tener mayores distancias entre el TAG y el receptor por consiguiente tampoco hemos logrado tener muchas muestras, seguidamente se procedió a realizar el cálculo del Path Loss, tomando en cuenta la Potencia del transmisor(TAG), y tal como se observa en la Tabla 6.3.

DISTANCIA C-R (m)	Wlog(dB)	RECEIVED STRENGTH SIGNAL INDICATOR (RSSI) (dBm)																				RSSIav (dBm)	
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	Muestra 16	Muestra 17	Muestra 18	Muestra 19	Muestra 20		Muestra 21
1	0	-42,26	-42,72	-44,45	-42,85	-46,73	-44,61	-42,58	-42,88	-41,33	-42,97	-42,94	-43,3										-43,30
2	3,0103	-46,77	-50,29	-49,29	-50,21	-49,64	-46,96	-46,51	-49,56	-49,96	-47,14	-47,94	-51,17	-50,38	-50,7	-48,61	-49,12	-47,19	-49,29	-50,14	-49,4	-49,48	-49,04
4	6,0206	-50,09	-52,29	-52,72	-52,55	-52,87	-52,88	-52,64	-52,96	-53,01	-52,58	-51,88	-52,4	-50,95	-49,13	-49,33	-51,91						-51,89

Tabla 6.2. Muestras de RSSI tomadas en pruebas de Laboratorio

DISTANCIA C-R (m)	Wlog(dB)	PATH LOSS C-R (dB)																				PATH LOSS av (dBm)	
		Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5	Muestra 6	Muestra 7	Muestra 8	Muestra 9	Muestra 10	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13	Muestra 14	Muestra 15	Muestra 16	Muestra 17	Muestra 18	Muestra 19	Muestra 20		Muestra 21
1	0	40,26	40,72	42,45	40,85	44,73	42,61	40,58	40,88	39,33	40,97	40,94	41,3										41,30
2	3,0103	44,77	48,29	47,29	48,21	47,64	44,96	44,51	47,56	47,96	45,14	45,34	49,17	48,38	48,7	46,61	47,12	45,19	47,29	48,14	47,4	47,48	47,04
4	6,0206	48,09	50,29	50,72	50,55	50,87	50,88	50,64	50,96	51,01	50,58	49,88	50,4	48,95	47,13	47,33	49,91						49,89

Tabla 6.3. Cálculo de Path Loss

### 6.1.2 Pruebas de campo

Habiendo realizado pruebas en laboratorio con el equipo FIELDFOX y habiendo logrado alcanzar distancias no mayores a 6 metros en la lectura de los TAGS y por lo consiguiente se obtuvieron muy pocas muestras, se decidió plantear una nueva forma de realizar las pruebas utilizando las variables en las que tenemos el control y son conocidas.

Conociendo que el receptor o lector de TAGs que residirá en los Reach staker permite poder cambiar la ganancia del mismo de 0dB a 31dB y que las antenas del lector son omnidireccionales, decidimos instalar el equipo y la antena y tomar muestras de forma radial, es decir a 0,45,90,135,180,225,270,315,360 grados, como se muestra en la Figura 6.8 de radianes de primera prueba de campo, además se determina la ganancia del receptor en saltos de 2dB, y obtener la máxima distancia a la que el TAG puede ser leído por el receptor, es decir por cada salto de ganancia que realicemos se obtendrán 9 muestras, como tenemos que variar la ganancia del receptor 16 veces (0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 16, 18, 20, 22, 24, 26, 28, 30 dB) tendremos un total de 144 muestras, las que ya

son un número importante de muestras que no podían ser obtenidas con el equipo de laboratorio por sus limitantes técnicas.

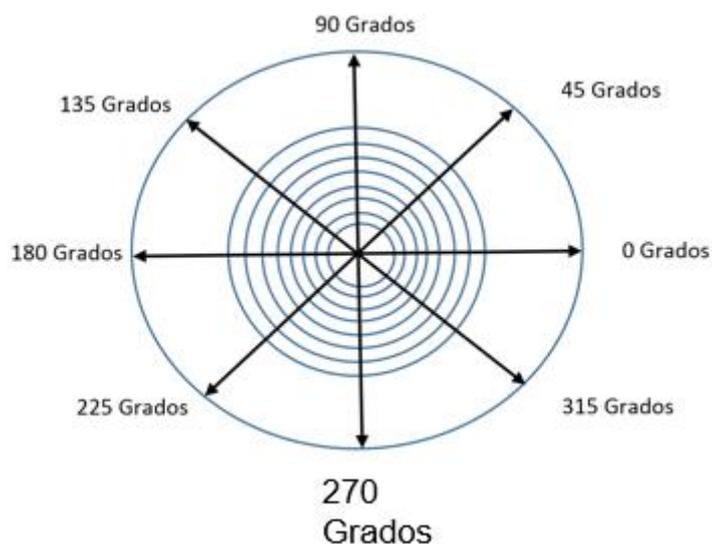


Figura 6.8. Radianes de primera prueba de campo

### 6.1.3 Pruebas para el análisis del alcance y recepción de datos desde las Antenas del Controlador.

En esta sección se llevaron a cabo 2 pruebas, las mismas que fueron realizadas en el mismo escenario, con los mismos equipos, la diferencia radicaré que en la primera prueba la antena del receptor se colocó a 2 metros de altura y en la segunda prueba la antena del receptor se dispuso a 5 metros de altura. Para tal efecto se muestra la Figura 6.9 de Distancia referencial de la primera prueba de campo.

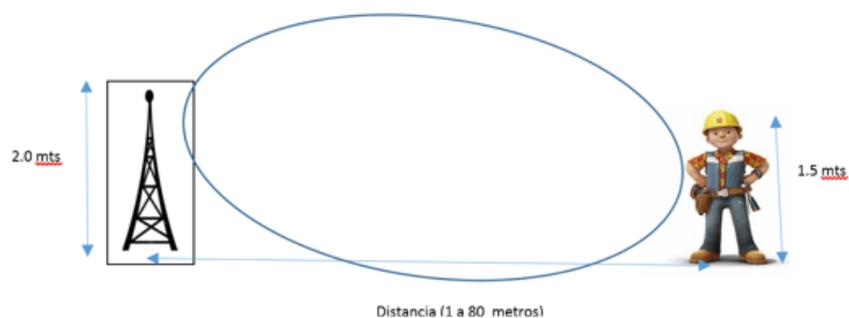


Figura 6.9. Distancia referencial de primera prueba de campo

Es importante describir el ambiente del puerto, existen grandes columnas de contenedores en áreas extensas, tomando en consideración que el equipo será utilizado para seguridad, buscamos un lugar abierto de unos 120 metros de radio para lograr hacer las pruebas y poder generar la línea de vista entre el receptor y el TAG.

Seguidamente describiremos la primera prueba realizada:

La antena del lector del TAG se la instaló a 2 metros de altura y el TAG a un metro sesenta centímetros colocado en un casco de plástico para lograr disminuir la absorción de energía que irradia el TAG por el cuerpo humano y las lecturas sean mucho más confiables, el procedimiento utilizado se lo encuentra estructurado como para su mejor comprensión en la Figura 6.10 del Diagrama de flujo del proceso de pruebas de alcance.

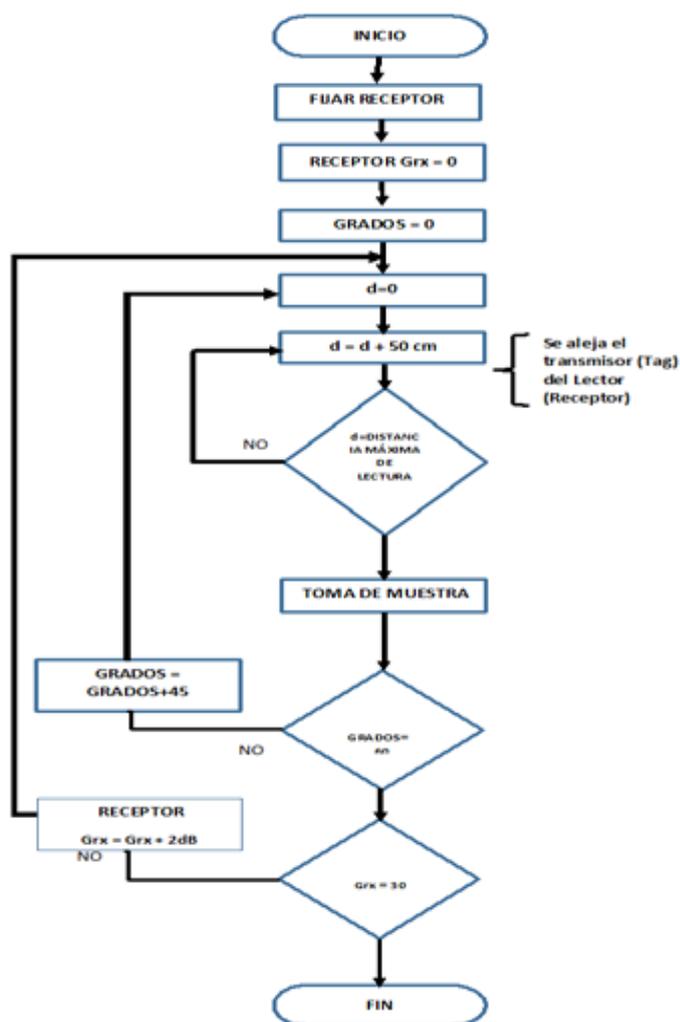


Figura 6.10. Diagrama de flujo del proceso de pruebas de alcance

Las muestras obtenidas se las puede visualizar en el Anexo B.

Una vez tomadas las mediciones mediante el procedimiento descrito, se procedió a realizar el gráfico 6.11 de Distancia máxima Vs. ganancia del receptor, en el cual se ha procedido a graficar en el eje X la ganancia del receptor la cual le hemos ido variando con progresivamente y hemos obtenido la distancia máxima a la que el lector puede leer el TAG, en el eje se graficó la distancia máxima a la que puede ser leído el TAG dado una ganancia determinada en el receptor, se observa que la distancia máxima a la que puede ser leído el TAG aumenta a medida que la ganancia del receptor aumenta, también se puede apreciar que para las

muestras que fueron tomadas a 90 grados alcanzan una mayor distancia de lectura por parte del receptor, esto debido a que se encontraba un cerro en la parte posterior al TAG en esa dirección lo cual nos lleva a pensar que se trata de una componente de la señal que se logra reflejar.

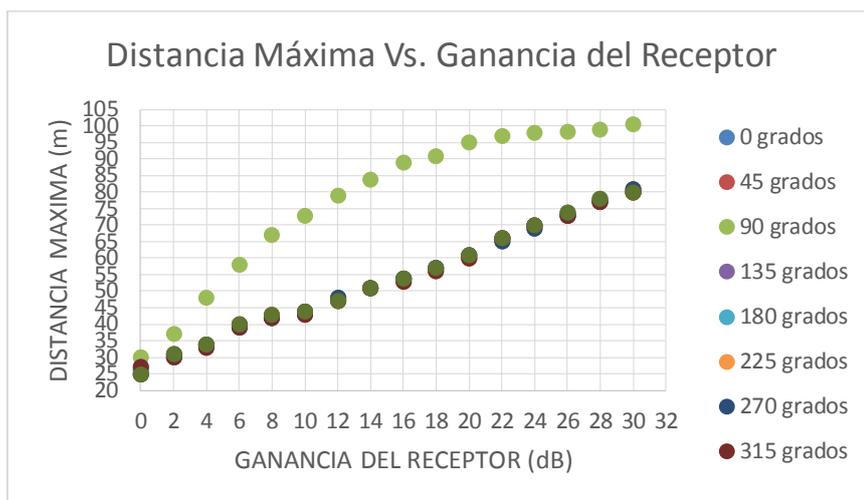


Figura 6.11. Distancia máxima Vs. ganancia del Receptor

Tomando en cuenta de que el modelamiento que estamos aplicando es

$$Pr_{(dB)} = Po(d_o) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_o}\right) + X,$$

y  $Po = Pt(dB) - Lo$ ,

podemos decir que  $\alpha = (Po - Pr) / (10 * \log(d))$

Lo que lleva a realizar el gráfico 6.12 Ganancia del receptor Vs. distancia, donde el eje X es  $10 * \log(\text{distancia máxima}/d_o)$  y el eje Y es la ganancia del Receptor en (dB), en el que podemos determinar la pendiente del gráfico que será nuestro alfa obteniendo 6.2455 con una correlación alta de los datos.

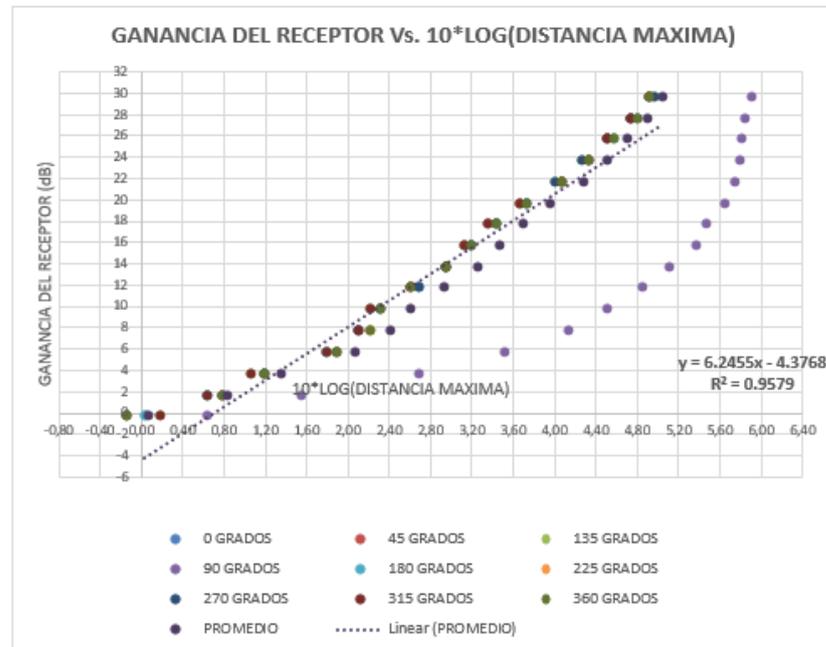


Figura 6.12. Ganancia del Receptor vs. Distancia

En el modelamiento de la señal se invirtieron los ejes de tal forma que en el eje X describe la ganancia del receptor y en el eje Y representa  $10 \cdot \log(\text{distancia máxima}/d_0)$ .

Tomando en cuenta que el equipo desarrollado servirá para disminuir riesgos de accidentes se realizaron pruebas de distancia entre el TAG y el receptor variando la potencia del equipo receptor.

Para la realización de la segunda prueba se elevó a una altura de 5 metros la antena del receptor, como se puede apreciar en la Figura 6.13, correspondiente a la distancia referencial de la segunda prueba de campo.

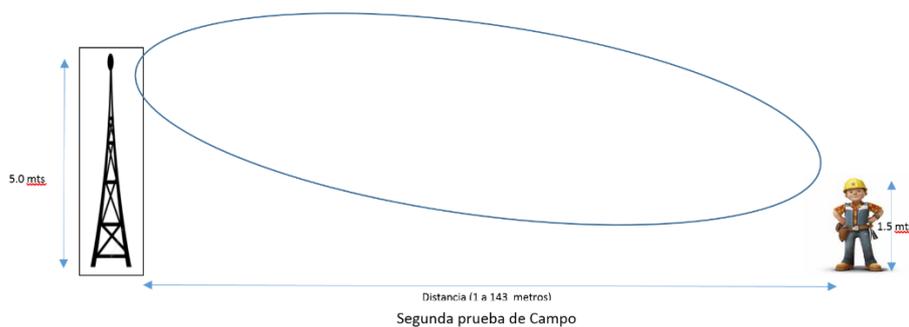


Figura 6.13. Distancia referencial de segunda prueba de campo

En el Anexo C se reflejan los datos obtenidos en esta prueba de la cual siguiendo el procedimiento descrito anteriormente se obtuvo el gráfico 6.14 Ganancia del receptor Vs.  $10 \cdot \log(\text{Distancia})$ , para la cual el eje X representa  $10 \cdot \log(\text{Distancia})$  y el eje Y la ganancia del receptor en (dB), en el gráfico se puede observar que el alfa obtenido mediante esta prueba es de 4.6993 el cual es menor al obtenido en la prueba anterior.

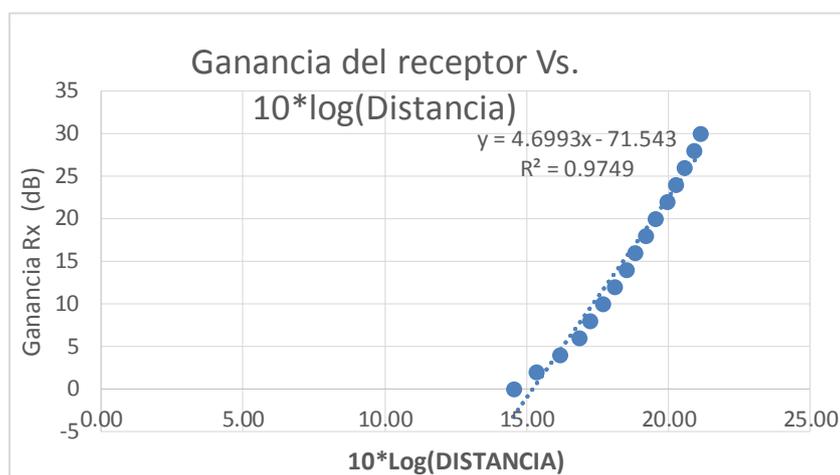


Figura 6.14. Ganancia del Receptor vs.  $10 \cdot \log(\text{Distancia})$

## 6.2 Análisis de cobertura

Para realizar el análisis de cobertura nos referiremos al Anexo B, en dicha tabla podemos observar que con una antena omnidireccional de 10 dB se logra cubrir un radio de mínimo de 26 metros con una ganancia en el receptor de 0dB y como máximo 80 metros con una ganancia del receptor de 30dB lo cual garantiza que dispositivo de seguridad trabajará de manera excelente a distancias cortas siempre que exista línea de vista entre el lector y los TAGs, es importante resaltar que el controlador implementado recibe los datos en tiempo real segundo a segundo. En la Figura 6.15 se observa las pruebas de cobertura realizadas.



Figura 6.15. Pruebas de coberturas realizadas

### 6.2.1 Lectura de la etiqueta activa con el controlador implementado

Como se describió en el numeral anterior el equipo lector tiene una capacidad de lectura de 200 TAGs por segundo y envía la información al controlador implementado en tiempo real es decir segundo a segundo, a pesar que dicho parámetro también puede ser configurado de distinta forma, de igual manera el lector puede ser configurado de tal forma que no lea un mismo TAG dentro de un determinado tiempo con el objetivo de

evitar almacenar demasiada información en la memoria del controlador, lo cual podría ser un peligro en el caso de que la memoria se llene, además que evita que el controlador trabaje innecesariamente y por consiguiente no aumente su temperatura la misma que es un factor de riesgo de producirse un sobrecalentamiento o pasar su temperatura máxima de operación.

### 6.2.2 Mediciones de la señal recibida a diferentes distancias (RSSI, por las siglas del inglés Received Signal Strength Indicator) y de la frecuencia de operación de la Etiqueta Activa desde un Controlador.

Como el receptor o lector de TAGs utilizado en el proyecto no posee la capacidad de indicarnos el RSSI, para poder desarrollar este punto se analizarán las mediciones realizadas en el laboratorio con el equipo FIELDFOX, el Anexo B nos muestra el RSSI a diferentes distancias entre el Receptor y el transmisor ( 1,2 y 4 metros).

Con los datos recolectados hemos realizado la Figura 6.16 RSSI Vs Distancia, en la cual se han graficado las muestras tomadas de RSSI vs distancia.

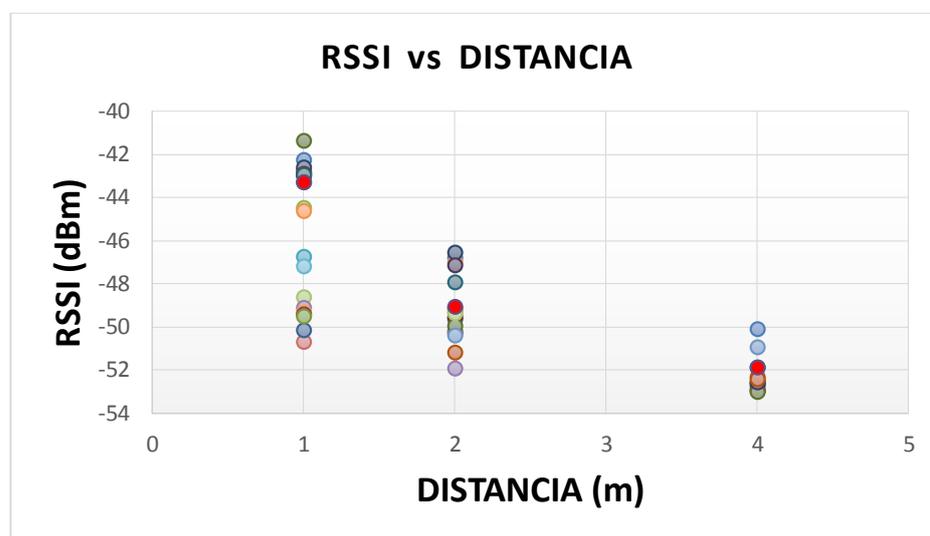


Figura 6.16. RSSI Vs Distancia

Conociendo los niveles de RSSI, PIRE del transmisor y las pérdidas del cable de la antena del receptor realizamos el cálculo para lograr obtener el Path Loss de cada una de las muestras tomadas a las diferentes distancias con la finalidad de obtener un promedio de Path Loss, como se observa en la Figura 6.17.

$$P_{Tx(dBm)} - P_{Rx(dBm)} = PL_{dB}$$

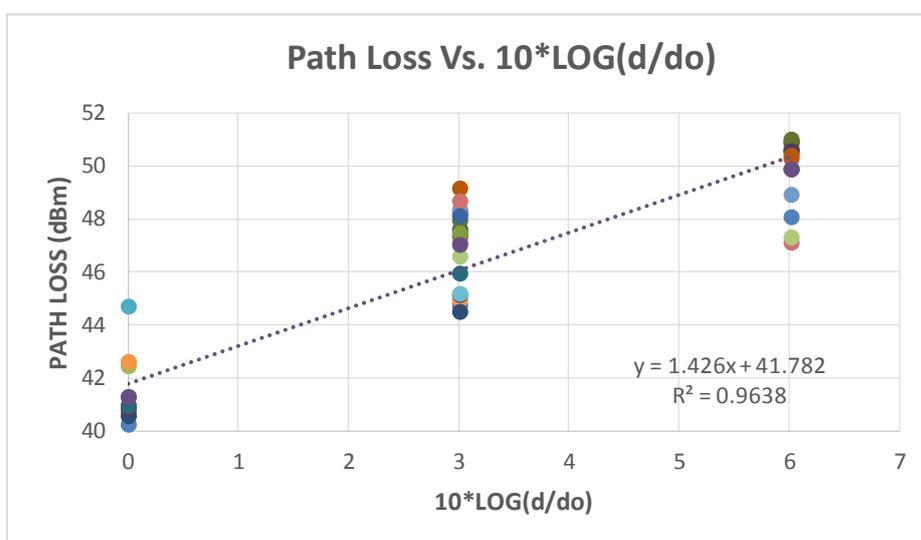


Figura 6.17. Path Loss vs Distancia

Para obtener el exponente de pérdida de trayecto ( $\alpha$ ), tomamos los resultados de las diferencias entre la potencia de transmisión y la señal recibida, las mismas que se grafican separadamente dependiendo de la distancia. Así pues, las variables que se graficarán son en el eje Y Path Loss con unidades de decibeles, respecto al eje X lo cual es el producto ( $10 \log(d)$ ). Con la finalidad de obtener los valores característicos para el modelo planteado en este análisis utilizaremos regresión lineal en los datos, de tal forma que el resultado tenga forma de una recta como  $y = ax + b$ , donde **a** corresponde al gradiente de  $y$  y **b** a la pérdida promedio referenciado a la distancia de  $d_0$ , como se puede observar en la Figura 6.16, correspondiente a RSSI vs. Distancia.

El modelo utilizado en este proyecto es el siguiente:

$$PL_{dB}(d) = \overline{PL_{dB}}(d_0) + 10\alpha \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X$$

Donde  $\overline{PL_{dB}}(d_0)$ , denota la pérdida promedio de trayecto en la distancia de referencia  $d_0$ ,  $10\alpha \log(d/d_0)$  es la pérdida de trayecto referenciada a la distancia  $d_0$  y  $X$  es una variable Gaussiana aleatoria de media cero expresada en  $dB$ , con una desviación estándar  $\sigma$ , esta variable es utilizada cuando hay efectos de sombra, en ambientes donde ésta variable no se puede obviar.

La pérdida de trayecto promedio en  $d_0$  y el exponente de pérdida de trayecto  $\alpha$  son determinados a través del análisis de regresión lineal. La diferencia entre este ajuste y el dato medido está representada por la variable de desvanecimiento  $X$ .

### **6.2.3 Análisis de resultados mediante el uso de los Modelos de Propagación en los Enlaces Lector - Etiqueta y Etiqueta - Lector.**

Se han realizado dos tipos de prueba, la primera en laboratorio con un alcance muy corto y considerando una pequeña cantidad de muestras debido a las características técnicas del equipo de laboratorio utilizado y la segunda en situación real con el lector de TAGs obteniendo largo alcance debido a que la ganancia del receptor se puede variar.

La prueba de laboratorio refleja un alfa de 1.426, lo cual puede atribuirse posibles reflexiones de la señal debido a que se la realizó en un lugar cerrado, exactamente en el coliseo de la Escuela Superior Politécnica del Litoral, se supone que pudo ser afectada por otro tipo de señales que podrían haber estado en el ambiente en ese momento, como señales de WIFI, las mismas que se podrían confundir con la señal del TAG.

En la prueba realizada en situación real en el puerto el transmisor o TAG fue predispuesto a la altura de una persona en situación real de trabajo,

el alfa encontrado fue de 6.2455, debido a la altura a la que se encontraba ubicada la antena del receptor y la altura en que se encontraba ubicado el TAG, lo que produce una obstrucción de la zona de Fresnel por lo que afecta el alfa del modelo [22], tal como se expone en la publicación, donde se demuestra que la altura de las antenas van relacionadas con el alfa del modelamiento, concluyendo que a mayor altura el alfa disminuirá acercándose de tal forma [23] que se muestra que la obstrucción de parte de la zona de Fresnell tiene incidencia en el alfa.

## CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

De todas las pruebas realizadas se logra determinar que el alfa en un determinado ambiente puede variar dependiendo de la altura de las antenas. Se demostró que para distancias largas y ganancias altas en el receptor, una elevación mayor de la antena del receptor provoca que el alfa tienda a disminuir y se aproxime al alfa del espacio libre, esto ocurre debido a que se reducen las obstrucciones de las zonas de Fresnel.

Para el caso de esta terminal marítima y considerando la ubicación de las antenas lectoras y la altura a la que el personal usará los TAGs se puede concluir que el alfa según el modelamiento utilizado es de 6.2455.

El prototipo diseñado trabaja conforme a lo que fue creado, que es básicamente advertir a un conductor y/o a un peatón o trabajador de un riesgo de accidente dentro de un área determinada.

El alcance del receptor para lograr leer los TAGs en un ambiente real supera las expectativas planteadas al inicio de esta investigación.

Se recomienda a los usuarios del TAG utilizarlos en un lugar visible para evitar la pérdida de energía del TAG y la pérdida de línea de vista con respecto al receptor.

Se recomienda la utilización de un handheld con un programa que determine que el TAG de la persona que pretenda ingresar al Patio del puerto (lugar de mayor peligro) se encuentra en buen estado, determinando principalmente que la batería se encuentre funcionando.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] G.Jauregui, «ILCI,» 16 Octubre 2015. [En línea]. Available: [https://prezi.com/\\_gegs4wiagma/metodo-international-loss-control-institute-ilci/](https://prezi.com/_gegs4wiagma/metodo-international-loss-control-institute-ilci/).
- [2] W. Tomasi, *Sistemas de Comunicaciones Electrónicas*, Arizona: Pearson Education, 2003.
- [3] S. Peredo, *Software para analisis del presupuesto de enlace para comunicaciones vía satélite*, Tesis de Grado Licenciatura en Ingeniería en Electrónica y Comunicaciones, Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas, Puebla, México, 2004.
- [4] J. D. Nayerlaan, «Spread Spectrum Applications,» 1997-1999. [En línea]. Available: [http://sss-mag.com/pdf/Ss\\_jme\\_denayer\\_intro\\_print.pdf](http://sss-mag.com/pdf/Ss_jme_denayer_intro_print.pdf). [Último acceso: April 2018].
- [5] H. Córdova y P. Chávez, «Estudio, Modelamiento y Simulación de Sistemas de Espectro Ensanchado.,» *Revista Tecnológica ESPOL*, vol. 18, nº 1, 2005.
- [6] M. Castro, G. Díaz, F. Mur y R. Fernández, *Comunicaciones Industriales: Principios Básicos*, Madrid: Universidad Nacional de educación a Distancia, 2012.
- [7] CONATEL, «RESOLUCION 417-15-CONATEL-2005,» 2005.
- [8] M2COMM, «WAN - Ultra Narrow Band (UNB),» [En línea]. Available: [www.m2comm.co/front-page/technology/wan-ultra-narrow-band-unb/](http://www.m2comm.co/front-page/technology/wan-ultra-narrow-band-unb/). [Último acceso: 27 07 2018].
- [9] F. Nekoogar, *Ultra-Wideband Communications: Fundamentals and Applications*, Indiana: Prentice Hall, 2005.

- [10] J. Monsó, «Sistemas de Identificación y Control Automáticos,» Marcombo, 1993.
- [11] F. I. Electrónica, «FQ Ingeniería Electrónica,» [En línea]. Available: <https://www.fqingenieria.com/es/conocimiento/que-es-el-valor-rssi-en-un-sistema-rfid-95>. [Último acceso: April 2018].
- [12] A. Al-Ali y F. A. Aloul, «Mobile RFID Tracking System,» de *Mobile RFID Tracking System*, Damasco, 2008.
- [13] H. Bhatt, B. Glover y O. Reilly, «RFID Essentials,» Enero, 2006, pp. 38-39.
- [14] J. Ciudad y E. Samá, «Estudio, diseño y simulación de un sistema RFID basado en EPC,» September 2005. [En línea]. Available: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3552/40883-2.pdf>. [Último acceso: October 2017].
- [15] A. a. K. A. Pajankar, *Raspberry Pi by example*, Birnghan: Pack Publishing, 2016.
- [16] F. Moya, «Taller de Raspberry Pi,» 17 Jan 2017. [En línea]. Available: <https://franciscomoya.gitbooks.io/taller-de-Raspberry-pi/es>. [Último acceso: 08 2018].
- [17] «SQLite Documentation,» May 2000. [En línea]. Available: <http://www.sqlite.org/>. [Último acceso: January 2018].
- [18] R. Weinstein, «RFID: a technica overview and its application to the enterprise,» *IT Professional*, vol. 7, nº 3, pp. 27-33, 23 septiembre 2005.
- [19] A. Dory y B. a. B. A. Parrish, *Introduction to Tornado*, Sebastopol: O'Reilly, 2012.
- [20] F. G, «Layered space-time architecture for wireless communication in a fading environment when using multiple antenna,» *Bell Labs Technical Journal*, vol. Volumen 1, 1996.
- [21] Terex, «TFC46 M 6 heights Superstacker,» 2009. [En línea]. Available: <https://logismarketbr.cdnwm.com/ip/equiport-empilhadeira-para-manuseio-de->

container-cheio-reach-stacker-terex-modelo-tfc46-659691.pdf. [Último acceso: 03 2018].

- [22] M.-T. Zhou, J. Jurianto, J. Shankar y M. Fujise, «Characterization of Radio Path Loss in Seaport Environment for WiMAX Applications,» Singapore, 2006.
- [23] S. Savazzi, B. Ramos, J. Winter, S. Kianoush, V. Rampa, E. Del Rosario, T. Chavez y O. Cevallos, «Towards a factory-of-things: Channel modeling and deployment assessment in PetroEcuador Esmeraldas oil refinery,» *IEEE Latin-American Conference on Communications (LATINCOM)*, 2016.

## ANEXO A

### PROGRAMACION DE MIDDLEWARE

#### Servicio Monitor

```
from MonitorPy.DevicePy import DevicePy
from MonitorPy.TagPy import TagPy
from MonitorPy.AlarmPy import AlarmPy
from SettingsPy import
PORT,BAUDRATE,TIMEOUT,LOG_SETTINGS,QUEUE,PORTWEB,ALARM,ALARMDEFAULT
from logging import config
from tornado.ioloop import IOLoop
from tornado.httpserver import HTTPServer
from WebServerPy.ServerPy import AppPy

if __name__ == '__main__':
    config.dictConfig(LOG_SETTINGS)
    devicethread = DevicePy(PORT,BAUDRATE,TIMEOUT,QUEUE,ALARM)
    devicethread.start()
    tagthread = TagPy(QUEUE)
    tagthread.start()
    alarmPy = AlarmPy(ALARM,ALARMDEFAULT)
    alarmPy.start()
    app = AppPy()
    app.listen(PORTWEB)
    IOLoop.current().start()
```

## Servicio Device

```
from threading import Thread

from serial import Serial

class DevicePy(Thread):

    def __init__(self,port,baudrate,timeout,queue,alarm):

        Thread.__init__(self)

        self.logger = getLogger('DevicePy(Thread)')

        self.port = port

        self.baudrate = baudrate

        self.timeout = timeout

        self.connection = None

        self.isactive = True

        self.queue = queue

        self.alarm = alarm

    def run(self):

        self.logger.info('Iniciando el servicio de device en el PORT %s',self.port)

        if self.StartDevice():

            while(self.isactive):

                byteData = self.connection.read(35)

                start_new_thread(self.ReadDevice,(byteData,))

            self.StopDevice()

    def StartDevice(self):

        status = False

        try:

            self.connection = Serial()

            self.connection.baudrate = self.baudrate

            self.connection.port = self.port
```

```
        self.connection.timeout = self.timeout
        self.connection.open()
        self.logger.info('Conectado en el PORT %s',self.port)
        status = True
    except Exception as ex:
        self.logger.error('Error al conectar el PORT %s %S',self.port,ex)
    return status

def StopDevice(self):
    self.isactive = False
    self.logger.info('Desconectado en el PORT %s',self.port)

def ReadDevice(self,byteData):
    if (byteData!=""):
        self.queue.append(byteData)
        self.alarm.append(True)
    else:
        self.alarm.clear()
        self.alarm.append(False)
```

## Servicio Tagpy

```

from logging import getLogger
from datetime import datetime
import time
from threading import Thread
import os
import apsw

class TagPy(Thread):
    def __init__(self,queue):
        Thread.__init__(self)
        self.logger = getLogger('TagPy(thread)')
        self.queue = queue
        self.isactive = True
        self.home = os.getcwd()
        self.db = os.path.join(self.home,'db')

    def run(self):
        self.logger.info('Iniciando el servicio de Tag')
        while(self.isactive):
            if (len(self.queue) > 0):
                byteData = self.queue.pop()
                cadena = ""
                hexa = []
                for h in byteData:
                    cadena += hex(h)[2:].zfill(2)+'!'
                    hexa.append(hex(h)[2:].zfill(2))
                fix = 0
                if(len(hexa) >= 9):
                    cadena = cadena[:-1]
                    if(hexa[0]=='55' and hexa[1]=='55' and hexa[2]=='00'):
                        fix = 1
                        etiqueta = (hexa[9+fix])+hexa[10+fix]+hexa[11+fix]+hexa[12+fix]
                        etiqueta = int(etiqueta,16)
                        self.insertDb(cadena,etiqueta)
                    if(hexa[0]=='55' and hexa[1]=='00'):
                        etiqueta = (hexa[9+fix])+hexa[10+fix]+hexa[11+fix]+hexa[12+fix]
                        etiqueta = int(etiqueta,16)

```

```

        self.insertDb(cadena,etiqueta)

def verificarDb(self):
    FILE = os.path.join(self.db,datetime.now().strftime('%Y%m%d.db'))
    if not os.path.exists(FILE):
        try:
            conn = apsw.Connection(FILE)
            if conn is not None:
                create_table_sql = "CREATE TABLE IF NOT EXISTS TAGS (id INTEGER PRIMARY KEY
AUTOINCREMENT,hexa TEXT,rfid TEXT,first_date DATE);"
                c = conn.cursor()
                c.execute(create_table_sql)
                conn.close()
            except Exception as ex:
                self.logger.error('Error al crear la base de dato %s %s',FILE,ex)
        finally:
            conn.close()

def insertDb(self,cadena,etiqueta):
    self.logger.info('Insertando el tag:'+str(etiqueta))
    FILE = os.path.join(self.db,datetime.now().strftime('%Y%m%d.db'))
    self.verificarDb()
    if os.path.exists(FILE):
        try:
            time.sleep(5)
            conn = apsw.Connection(FILE)
            sql = " INSERT INTO TAGS (id,hexa,rfid,first_date) VALUES (NULL,?,?,?)"
            insert = (cadena, etiqueta,datetime.now().strftime('%Y/%m/%d %H:%M:%S'))
            cur = conn.cursor()
            cur.execute(sql,insert)
            conn.close()
        except Exception as e:
            self.logger.error('Error al insertar en la base de dato %s ',ex)

def inactive(self):
    self.isactive = False

```

## Servicio Alarmy

```
from threading import Thread

from logging import getLogger

from time import sleep as wait

import RPi.GPIO as GPIO

class AlarmPy(Thread):

    def __init__(self,alarm,alarmdefault):

        Thread.__init__(self)

        self.logger = getLogger('AlarmPy(Thread)')

        self.isactive = True

        self.alarm = alarm

        self.alarmdefault = alarmdefault

        self.relaypin = 11

        """gpio 17 unicamente para hacer sonar la alarma
        """

    def run(self):

        self.logger.info('Iniciando el servicio de alarma')

        self.setup()

        """tengo q comentar desde el run para q pueda arrancar
        """

        self.StartAlarm()

    def StartAlarm(self):

        while(self.isactive):

            if (len(self.alarm)>0):
```

```

        if (self.alarm.pop() == True):
            self.ActiveAlarm()

            """hace el pop si es v envio alarma
            """

def ActiveAlarm(self):
    GPIO.output(self.relaypin, GPIO.HIGH)
    self.logger.info('activando alarma')
    wait(self.alarmdefault)
    GPIO.output(self.relaypin, GPIO.LOW)
    self.logger.info('desactivando alarma')
    self.alarm.append(False)

def StopAlarm(self):
    self.isactive = False

def setup(self):
    GPIO.setmode(GPIO.BOARD)    # Numbers GPIOs by physical location
    GPIO.setup(self.relaypin, GPIO.OUT)

    """le indico al Raspberry q se active que voy a utilizar los modulos gpio del mainboard    """

def destroy(self):
    GPIO.cleanup()            # Release resource

    """limpio para poder volverlo a utilizar    """

```

## ANEXO B

## MEDICIONES DE PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS

SECTOR POTENCIA DEL RECEPTOR (dB)	0°		45°		90°		135°		180°		225°		270°		315°		360°		prom	
	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)	D(m)	10*LOG(d/d0)		
0	26	0,00	25	-0,17	30	0,62	27	0,16	26	0,00	25	-0,17	25	-0,17	27	0,16	25	-0,17	26,22	0,04
2	30	0,62	31	0,76	37	1,53	30	0,62	30	0,62	31	0,76	31	0,76	30	0,62	31	0,76	31,22	0,79
4	34	1,17	34	1,17	48	2,66	33	1,04	34	1,17	34	1,17	34	1,17	33	1,04	34	1,17	35,33	1,33
6	39	1,76	40	1,87	58	3,46	39	1,76	39	1,76	40	1,87	40	1,87	39	1,76	40	1,87	41,56	2,04
8	42	2,08	43	2,18	67	4,11	42	2,08	42	2,08	43	2,18	42	2,08	42	2,08	43	2,18	45,11	2,39
10	44	2,28	44	2,28	73	4,48	43	2,18	44	2,28	44	2,28	44	2,28	43	2,18	44	2,28	47,00	2,57
12	46	2,66	47	2,57	79	4,83	47	2,57	48	2,66	47	2,57	48	2,66	47	2,57	47	2,57	50,89	2,92
14	51	2,93	51	2,93	84	5,09	51	2,93	51	2,93	51	2,93	51	2,93	51	2,93	51	2,93	54,67	3,23
16	53	3,09	54	3,17	88	5,34	54	3,17	54	3,17	53	3,09	54	3,17	53	3,09	54	3,17	57,86	3,45
18	56	3,33	57	3,41	91	5,44	57	3,41	57	3,41	56	3,33	57	3,41	56	3,33	57	3,41	60,44	3,66
20	60	3,63	61	3,70	95	5,63	60	3,63	61	3,70	60	3,63	61	3,70	60	3,63	61	3,70	64,33	3,93
22	66	4,05	66	4,05	97	5,72	65	3,98	66	4,05	66	4,05	66	4,05	65	3,98	66	4,05	69,22	4,25
24	70	4,30	70	4,30	98	5,76	69	4,24	70	4,30	70	4,30	69	4,24	70	4,30	70	4,30	72,89	4,49
26	73	4,48	74	4,54	99,5	5,78	73	4,48	74	4,54	73	4,48	73	4,48	73	4,48	74	4,54	76,17	4,67
28	77	4,72	78	4,77	99	5,81	77	4,72	78	4,77	77	4,72	77	4,72	77	4,72	78	4,77	79,78	4,87
30	80	4,98	80	4,98	100,5	5,87	81	4,94	80	4,98	80	4,98	81	4,94	80	4,98	80	4,98	82,50	5,01

D(m) = Distancia en metros

## ANEXO C

## MEDICIONES DE LAS PRUEBAS DE CAMPO REALIZADAS

SECTOR	0°		45°		90°		135°		180°		225°		270°		315°		360°		Promedio	
	Distancia (m)	10°Log (d/d0)																		
0	27	0,00	34	1,00	31	0,60	28	0,16	27	0,00	27	0,00	27	0,00	28	0,16	26	14,15	28,33	14,52
2	32	0,74	41	1,81	39	1,60	32	0,74	32	0,74	33	0,87	33	0,87	32	0,74	33	15,19	34,11	15,33
4	55	3,09	45	2,22	51	2,76	36	1,25	37	1,37	37	1,37	37	1,37	36	1,25	37	15,68	41,22	16,15
6	61	3,54	52	2,85	61	3,54	43	2,02	43	2,02	44	2,12	44	2,12	43	2,02	44	16,43	48,33	16,84
8	65	3,82	56	3,17	71	4,20	47	2,41	47	2,41	48	2,50	47	2,41	47	2,41	48	16,81	52,89	17,23
10	71	4,20	61	3,54	78	4,61	52	2,85	53	2,93	53	2,93	53	2,93	52	17,16	53	17,24	58,44	17,67
12	77	4,85	66	3,88	88	5,13	58	3,32	59	3,39	58	3,32	59	3,39	58	17,63	58	17,63	64,56	18,10
14	83	4,88	73	4,32	95	5,46	65	3,82	65	3,82	65	3,82	65	3,82	65	18,13	65	18,13	71,22	18,53
16	87	5,08	78	4,61	103	5,81	70	4,14	70	4,14	69	4,07	70	4,14	69	18,39	70	18,45	76,22	18,82
18	94	5,42	85	4,98	107	5,98	77	4,55	77	4,55	76	4,49	77	4,55	76	18,81	77	18,86	82,89	19,18
20	101	5,73	92	5,32	115	6,29	83	4,88	84	4,93	83	4,88	84	4,93	83	19,19	84	19,24	89,89	19,54
22	111	6,14	101	5,73	120	6,48	92	5,32	93	5,37	93	5,37	92	5,32	93	19,68	93	19,68	98,67	19,94
24	118	6,41	108	6,02	125	6,66	99	5,64	100	5,69	100	5,69	99	5,64	100	20,00	100	20,00	105,44	20,23
26	126	6,69	117	6,37	128,5	6,78	108	6,02	109	6,06	108	6,02	108	6,02	108	20,33	109	20,37	113,50	20,55
28	145	7,30	126	6,69	134	6,96	117	6,37	118	6,41	117	6,37	117	6,37	117	20,68	118	20,72	123,22	20,91
30	143	7,24	133	6,92	140,5	7,16	126	6,69	125	6,66	125	6,66	126	6,69	120	20,79	125	20,97	128,28	21,12

## ABREVIATURAS

RFID	Radio Frecuency Identification
ISM	Industrial, Scientific and Medical
FHSS	Frequency hopping spread spectrum
UHF	Ultra High Frequency
SRD	Short Range Device
IDE	Integrated Development Environment
ER	Entity Relationship
ITU	Internacionational Telecommunication Union
RSSI	Received Signal Strength Indicator
OSI	Open Systems Interconnection model
GPIO	General Purpose Inputs and Ouputs
ICM	Industrial, cientific and médical applications
INI	National Information Infraestructure
UNB	Ultra Narrow Band
SDR	Software Defined Radio
GFSK	Gaussian Frequency Shift Keyed
SSH	Secure SHell