

# **UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA**

FACULTAD DE INGENIERÍA ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA



OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS OPERATIVOS DEL SECTOR  
INDUSTRIAL MINERO MEDIANTE TECNOLOGÍA RFID

## **INFORME DE SUFICIENCIA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO DE TELECOMUNICACIONES**

**PRESENTADO POR:**

**PERCY IVAN PALOMINO IZQUIERDO**

**PROMOCIÓN**

**2006- II**

**LIMA – PERÚ**

**2011**

**OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS OPERATIVOS DEL SECTOR INDUSTRIAL MINERO  
MEDIANTE TECNOLOGÍA RFID**

## **SUMARIO**

La Identificación por Radiofrecuencia RFID (RadioFrequency Identification), ha experimentado un desarrollo bastante provisorio en los últimos años, por lo que se puede decir que sin duda es una de las tecnologías de comunicación más prometedoras del entorno actual. Las distintas posibilidades que ofrece la lectura a distancia de la información contenida en una etiqueta, sin necesidad de contacto físico, junto con la capacidad para realizar múltiples lecturas y/o escrituras en simultáneo, a abierto la puerta a un conjunto muy extenso de aplicaciones en una gran variedad de ámbitos, desde la trazabilidad y control de inventario, hasta la localización y seguimiento de personas y bienes, o la seguridad en el control de accesos.

El sector minero no ha sido una excepción, pues son muchos los procesos en los que la tecnología puede aportar significativamente, precisamente en procesos operativos como la logística de activos, control de inventarios de material, control de acceso de personal, así como la seguridad del personal y la conservación del entorno ambiental. Son principalmente en estos dos últimos puntos en los que esta industria es bastante minuciosa con los procesos asociados.

En este informe se pretende describir la adecuación y el aporte de la tecnología a los procesos operativos del sector industrial minero, para que sean de mayor eficacia y confiabilidad.

## INDICE

INTRODUCCIÓN.....	1
<b>CAPÍTULO I</b>	
<b>FUNDAMENTOS DE LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA – RFID.....</b>	<b>3</b>
1.1 Antecedentes .....	3
1.2 Base teórica.....	6
1.2.1 Tecnología RFID.....	7
1.2.2 Lectores de RFID.....	9
1.2.3 Frecuencias usadas.....	11
1.2.4 Estándares RFID .....	13
1.2.5 Conectividad .....	14
1.2.6 Middleware RFID .....	15
1.2.7 Tendencias .....	17
1.2.8 Tecnologías de localización de objetos .....	19
<b>CAPÍTULO II</b>	
<b>PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....</b>	<b>23</b>
2.1 Descripción del Problema .....	23
2.2 Objetivos del Trabajo.....	26
2.3 Limitaciones del Trabajo .....	26
<b>CAPÍTULO III</b>	
<b>METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA.....</b>	<b>28</b>
3.1 Alternativas de solución.....	28
3.2 Solución del Problema.....	29
3.2.1 Fase de especificación y Planificación .....	30
3.2.2 Fase de Implantación.....	38
3.3 Recursos Humanos y equipamiento.....	44
3.4 Cronograma del Proyecto .....	49
<b>CAPÍTULO IV</b>	
<b>ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....</b>	<b>50</b>
4.1 Análisis descriptivo mediante FODA.....	50
4.1.1 Análisis externo .....	50

<b>4.1.2 Análisis interno .....</b>	<b>52</b>
<b>4.2 Presupuesto .....</b>	<b>54</b>
<b>CONCLUSIONES.....</b>	<b>55</b>
<b>ANEXO A MIDDLEWARE RFID.....</b>	<b>57</b>
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>62</b>

## INTRODUCCIÓN

En paralelo al desarrollo mundial y la aparición de nuevas tecnologías, se generan también nuevos requerimientos que buscan cubrir necesidades cada vez más complejas y específicas para lograr objetivos con mayor precisión y rapidez, siendo estas dos exigencias algunas de las más solicitadas del mundo actual en el que vivimos. En ese contexto, una de las tecnologías que viene aportando muchas funcionalidades y aplicaciones en diversos ámbitos de la industria moderna y que ha tenido un notorio crecimiento a lo largo de estos años, es la Identificación por Radiofrecuencia, mayormente conocido como RFID por sus siglas en inglés (Radio Frequency Identification), que tal como su nombre lo indica, consiste en utilizar las ondas de radio para realizar un intercambio de datos que permitan la identificación de cierto objeto o individuo. Desde este punto de partida básico se ha podido desarrollar la tecnología para que se adecue a diversos sectores empresariales e industriales de la actualidad.

Es por esta razón que son muchas las grandes compañías que apoyan la implantación y el uso sensato de la RFID, por lo que se avizora un futuro bastante prometedor para la tecnología. No hay duda de que la RFID puede aportar sustanciales ventajas en muchos ámbitos de aplicación. Sin embargo, el éxito final en la implantación de esta tecnología está sujeto a la superación de una serie de obstáculos, entre los que es necesario destacar los aspectos de seguridad, principalmente en lo que respecta a la privacidad de los datos.

De lo expuesto hasta el momento es claro que la RFID provee de alta escalabilidad y diversidad en sus aplicaciones, ya que se pueden adaptar satisfactoriamente a necesidades específicas de muchas empresas.

En ese contexto y siendo la industria minera uno de los sectores económicos más importantes en nuestro país, es por lo que en el presente informe se busca describir el detalle de la aplicación de la RFID a algunos procesos operativos de ésta, centrándose principalmente en la seguridad de las operaciones, que representa uno de los puntos más relevantes y delicados de este sector.

Para tal objetivo en el presente informe se desarrollan cuatro capítulos, donde se buscará plantear una aplicación que sea de especial utilidad en el sector industrial minero. En el primer capítulo se describirá los aspectos generales de la tecnología, así como sus antecedentes, fundamentos y dispositivos que lo componen. El segundo

capítulo se centrará en la exposición de la problemática actual, definiendo también los objetivos y limitaciones del presente trabajo. El tercer capítulo estará dedicado a explicar y detallar las alternativas de solución para lograr un objetivo específico, usando la tecnología de la RFID, previa justificación de su elección, versus las diferentes tecnologías actuales que pueden usarse para brindar solución a la necesidad que será descrita. Finalmente, en el cuarto capítulo se presentará el análisis de los resultados, así como los recursos necesarios para llevar a cabo el proyecto que se desarrollará.

## FUNDAMENTOS DE LA IDENTIFICACIÓN POR RADIOFRECUENCIA - RFID

El presente capítulo busca detallar los aspectos más importantes de la tecnología RFID, iniciando con una breve reseña por medio de sus antecedentes y continuando con la descripción de la tecnología, sus fundamentos básicos y los elementos que la constituyen.

### 1.1 Antecedentes

Hablar de la ascendencia del RFID es volver al principio de los tiempos. El pensamiento científico se resume a que el universo fue creado en sólo un instante con la súper explosión conocida como el Big Bang. De acuerdo a esto, los científicos definieron cuatro fuerzas fundamentales: la gravedad, el electromagnetismo y las fuerzas nucleares fuerte y débil. Durante los primeros segundos de la creación del universo, los protones, neutrones y electrones comenzaron a ser la esencia de ese nuevo ente creado, es aquí que comenzó la formación de los fotones (el elemento cuántico de la energía electromagnética). Se necesitaron más de 14 mil millones de años después para descubrir la forma de aprovechar la energía electromagnética en la región de ondas de radio y aplicar este conocimiento para el desarrollo de la RFID.

Probablemente, los primeros en observar y utilizar los campos magnéticos en forma de imanes en los primeros siglos antes de Cristo, fueron los chinos. Luego de esto, el avance científico en este campo, progresó muy lentamente hasta aproximadamente el año 1600 después de Cristo. En los dos siglos siguientes, el nivel matemático obtenido provocó un despegue importante de conocimientos en campos como la electricidad, el magnetismo y la óptica. Uno de los primeros pioneros de la electricidad en el siglo 18 fue Benjamin Franklin.

Precisamente, este siglo marcó el comienzo de la comprensión fundamental de la energía electromagnética. En 1846, Michael Faraday, fundamentó que la luz y las ondas de radio son parte de la energía electromagnética. En 1864, James Clerk Maxwell, físico escocés, publicó su teoría sobre los campos electromagnéticos y llegó a la conclusión de que las ondas de energía eléctrica y magnética, se propagan a una velocidad igual a la de la luz. Poco después, en 1887, Heinrich Rudolf Hertz, físico alemán, confirmó la teoría

electromagnética de Maxwell y fue el primero en transmitir y recibir ondas de radio. En 1896, Guglielmo Marconi demostró la transmisión con éxito de la radiotelegrafía a través del Atlántico, de aquí en adelante, el mundo no sería el mismo.

El siglo 20 marca el inicio del crecimiento de la RFID. En 1906, Ernst FW Alexanderson demostró la generación de la primera onda continua de radio y la transmisión de señales de este tipo. Este logro marcó el comienzo de las radiocomunicaciones modernas.

Aproximadamente en el año de 1922 nació el radar, desarrollado en el Laboratorio Científico Los Álamos en Manhattan. Durante el desarrollo de la Segunda Guerra Mundial este invento fue esencial para el éxito de Los Aliados. El radar envía ondas de radio para detectar y localizar un objeto mediante la reflexión de las mismas, esta reflexión permite determinar la posición y la velocidad de un objeto.

Como la RFID es la combinación de la tecnología de radio y radar, no es descabellado pensar que la convergencia de estas dos disciplinas, la radio y los fundamentos de la RFID se produjeron en los talones del desarrollo del radar.

Uno de los primeros, quizás el primero, en el trabajo de investigación de la tecnología RFID fue Harry Stockman, con su publicación "Comunicación por medio de energía reflejada", de octubre de 1948 en donde indica que: "el trabajo considerable de investigación y de desarrollo tiene que ser realizado antes de que los problemas básicos restantes en la comunicación de la energía reflejada se solucionen, y antes de que el campo de aplicaciones útiles se explore." Treinta años después, la visión de Stockman comenzaría a llegar a buen término. Otros acontecimientos como la aparición del transistor, el circuito integrado, el microprocesador y el desarrollo de redes de comunicación fueron importantes y necesarios para el avance de la tecnología RFID.

Obviamente, siempre los cambios en la forma de hacer negocio, no es una tarea fácil ni pequeña, por lo que el éxito del RFID tendría que esperar un tiempo más.

La década del 60 fue el preludio de la explosión de la RFID. RF Harrington estudió la teoría electromagnética relacionada con la tecnología RFID y los volcó a sus trabajos: "Mediciones de campos usando dispersores activos" y "Teoría de los dispersores de carga" en 1963 y 1964. En estos años los investigadores estaban ocupados con los inventos relacionados con la RFID, tales como Robert Richardson, con su trabajo: "Dispositivos activados remotamente por radiofrecuencia" en 1963, Otto Rittenback's, con su colaboración: "Comunicación por haces de radar" en 1969, JH Vogelmann con su trabajo: "Técnicas de transmisión de datos usando haces de radar pasivos" en 1968 y finalmente, JP Vinding, con su trabajo: "Sistema de identificación de consulta y respuesta" en 1967. Las actividades comerciales comenzaron en la década de

1960. Sensormatic y Checkpoint se fundaron a finales de los sesenta. Estas empresas, y adicionalmente otras, como Knogo, desarrollaron la vigilancia electrónica de artículos (EAS) para evitar los robos de los mismos. Este tipo de sistemas se utilizaron muy a menudo con etiquetas de un bit, por lo que sólo la presencia o ausencia de una etiqueta, hacía posible la detección por parte del sistema. Las etiquetas se hacían a un costo bajo y siempre eran eficaces contra las medidas de robo. Este tipo de sistemas se utilizaron ya sea por microondas o por tecnología inductiva. La vigilancia electrónica de artículos, sin duda es la primera aplicación comercial y más generalizada de la RFID.

En la década de 1970 los desarrolladores, inventores, empresas, instituciones académicas y laboratorios del gobierno trabajaron activamente en la tecnología RFID, logrando notables avances principalmente en los laboratorios de investigación e instituciones académicas, tales como el Laboratorio Científico de Los Álamos, la Universidad Northwestern y la Fundación Instituto de Microondas en Suecia. El desarrollo del primer e importante trabajo fue presentado en el año de 1975 por Alfred Koelle, Steven Depp y Robert Freyman del laboratorio Los Alamos, con el título de: "Radio-telemetría de corto alcance para la identificación electrónica mediante retrodispersión modulada".

La década de 1980 se convirtió en el decenio para la plena aplicación de la RFID, no obstante los intereses y aplicaciones de la tecnología difirieron en diversas partes del mundo. En los Estados Unidos, por ejemplo, la aplicación principal era en el transporte, el control de acceso del personal y en menor medida, para los animales. En Europa, los mayores intereses se centraron en los sistemas de ubicación de corto alcance para los animales, aplicaciones para actividades industriales y de negocios, aunque también se usó la tecnología RFID para la implementación de peajes automáticos en Italia, Francia, España, Portugal y Noruega. En América, la Asociación Americana de Ferrocarriles usa la tecnología RFID para el programa de manejo de los contenedores.

Las puestas en marcha de pruebas de RFID para la recaudación de los peajes se estuvieron realizando durante muchos años, para finalmente dar pie a la primera aplicación comercial en este rubro, ocurrido en Noruega en el año de 1987. Dos años después, los Estados Unidos de América acogieron la tecnología y la aplicaron para la cobranza de peaje de la autopista al norte de Dallas. También durante este tiempo, la Autoridad Portuaria de Nueva York y Nueva Jersey iniciaron la operación comercial de la RFID para los autobuses que van a través del túnel Lincoln. La funcionalidad de RFID para este caso fue implementar una agencia con cobro electrónico de peajes y registro de los nuevos visitantes que llegaban diariamente.

En los 90, las aplicaciones con RFID utilizaban inicialmente las frecuencias

125KHz y 13.56MHZ, lo cual implicaba un acoplamiento inductivo, una cobertura pobre (menor a 1m), y unas antenas de tamaño importante. A esto, había que sumar una velocidad bastante modesta (menos de 200etiquetas/s). Su aplicación era por ejemplo, los chips de identificación de animales, y los sistemas antirrobo de los coches. Estamos hablando en este último caso de las llaves inteligentes que controlan el arranque del coche.

La empresa Wal-Mart fue la impulsora de esta tecnología a principios de la década de los 90. Utilizando los recursos de las ondas de radio, se pretendía obtener una auto-identificación de cualquiera de sus productos. Con el estándar inicial, esta tarea era imposible dada su baja velocidad de transferencia. De ahí que la evolución y mejora del estándar corrija notablemente estos puntos. Trabajando a 900MHz, se consigue acoplar en radiofrecuencia, reducir el tamaño de las antenas, y aumentar radios de cobertura (unos 10m) y velocidad del dispositivo (máximas en torno a las 1500 etiquetas/s). El chip RFID pasó de ser del tamaño de una tarjeta de crédito, a ser menor a un sello postal.

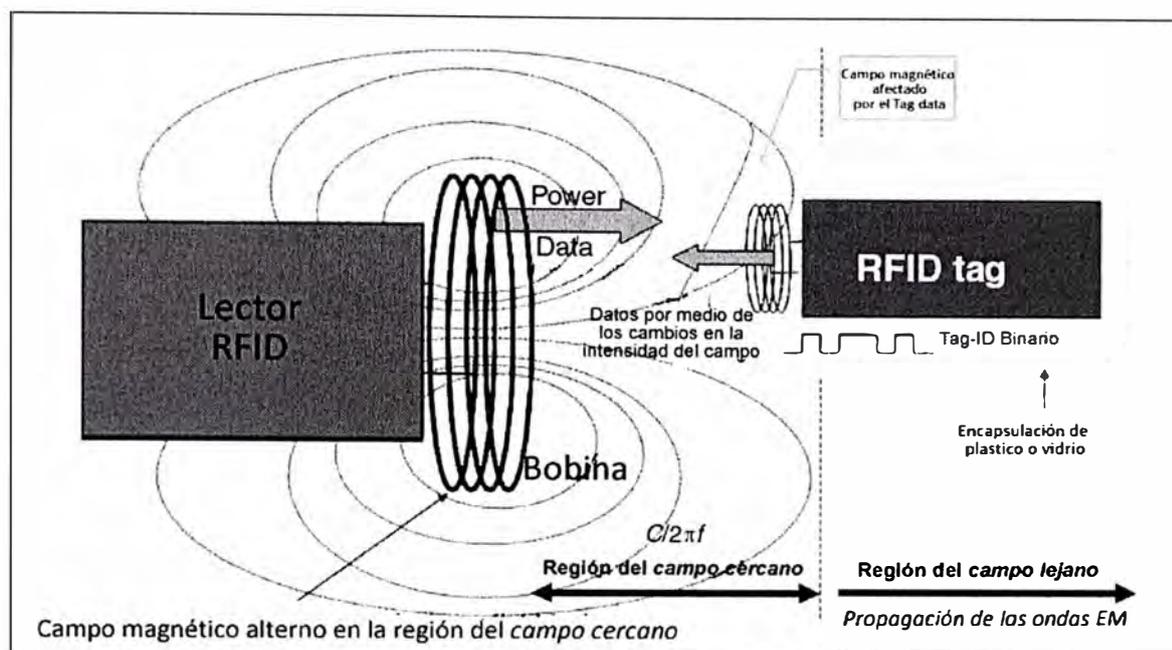
Sus investigaciones fueron rápidamente atractivas para otras empresas, lo que en 1999 llevó a la formación del Auto-ID Center (Centro de Identificación automática) partiendo de un consorcio de empresas y científicos. La idea principal era de formar una red de productos (Internet de objetos) que hoy en día se ha generalizado a escala mundial, permitiéndose así la posibilidad de conocer si el producto está en la cadena de producción, en algún contenedor de transporte, o si está ya por ejemplo en venta.

En la actualidad la RFID ha sido ampliamente desplegada a diversos ámbitos de las empresas e industrias de todo tipo, siendo las del sector logístico una de las más beneficiadas por las prestaciones de los servicios que usan la tecnología. No obstante, por su escalabilidad y diversidad de aplicación, está presente en empresas mineras, petroleras, instituciones de salud, instituciones educativas, entre otras.

Como parte de esta adaptabilidad, actualmente existen diversas plataformas que sirven de nexo entre la parte física de la tecnología y las aplicaciones y servicios empresariales, lo que hace que cada vez el desarrollo de la tecnología avance con pasos acelerados, teniendo una muy buena perspectiva futura para la misma.

## **1.2 Base teórica**

El principio fundamental de RFID consiste en una etiqueta, también conocida como transpondedor y un lector de RFID. El lector interroga a la etiqueta utilizando cierta frecuencia y la etiqueta le contesta a distancia con la información que contiene, que puede ser un número identificador de producto. El lector recoge esta información y la envía a una unidad de cómputo para su procesamiento. La figura 1.1 muestra un diagrama esquemático de la operación del lector y etiqueta RFID.



**Figura 1.1** Mecanismo de la comunicación RFID (Fuente: Roy Want, "RFID Explained")

### 1.2.1 Tecnología RFID

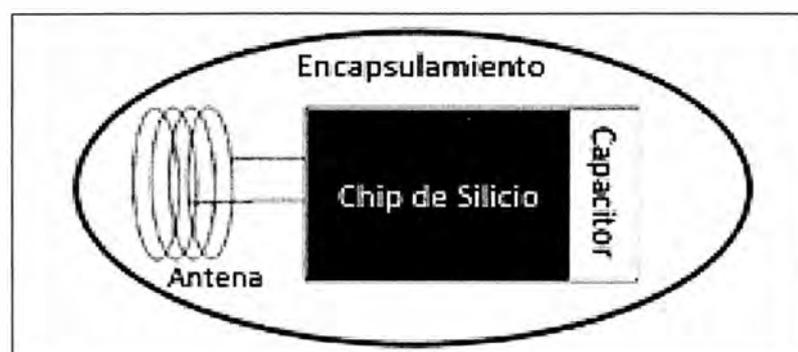
La tecnología RFID consta de un conjunto de elementos, dispositivos y forma de operación, los que se pretende describir en este punto.

#### a. Elementos básicos de un sistema RFID

A continuación se describe los tres elementos básicos en un sistema RFID:

##### a.1 Etiqueta o transpondedor

Este dispositivo RFID, consiste en un pequeño circuito, integrado con una pequeña antena, capaz de transmitir un número de serie único hacia un dispositivo de lectura, como respuesta a una petición. Algunas veces puede incluir una batería. La figura 1.2 muestra los componentes lógicos de una etiqueta RFID.



**Figura 1.2** Componentes lógicos de un etiqueta RFID. (Fuente: Elaboración propia)

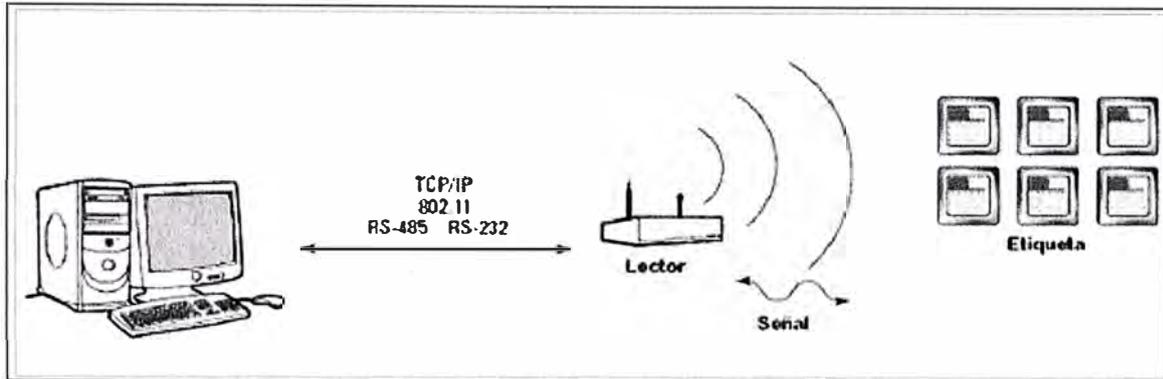
##### a.2 Lector RFID

Está compuesto por una antena, un módulo electrónico de radiofrecuencia y un módulo electrónico de control. Este equipo puede ser tanto de lectura como de escritura.

### a.3 Controlador o equipo anfitrión

Generalmente es una PC o estación de trabajo, con una base de datos levantada y algún software de control.

En la figura 1.3 se muestra un esquema lógico de los elementos que componen un sistema RFID básico.



**Figura 1.3** Elementos de un sistema RFID. (Fuente: Gabriel Chavira, "Localización e Identificación: Una combinación RFID – NFC")

### b. Tipos de sistemas RFID

La tecnología de identificación por radiofrecuencia puede ser dividida principalmente en 3 categorías:

#### b.1 Sistemas pasivos

En los cuales las etiquetas de RFID no cuentan con una fuente de poder. Su antena recibe la señal de radiofrecuencia enviada por el lector y almacena esta energía en un capacitor. La etiqueta utiliza esta energía para habilitar su circuito lógico y para regresar una señal al lector. Estas etiquetas pueden llegar a ser muy económicas y pequeñas, pero su rango de lectura es muy limitado.

#### b.2 Sistemas activos

Utilizan etiquetas con fuentes de poder integradas, como baterías. Este tipo de etiquetas integran una electrónica más sofisticada, lo que incrementa su capacidad de almacenamiento de datos, interfaces con sensores, funciones especializadas, además de que permiten que exista una mayor distancia entre lector y etiqueta (20m a 100m). Este tipo de etiquetas son más costosas y tienen un mayor tamaño. Pueden permanecer inactivas hasta que se encuentran dentro del rango de algún lector o pueden estar haciendo broadcast constantemente.

#### b.3 Sistemas semi-activos

Emplean etiquetas que tienen una fuente de poder integrada, la cual energiza a la etiqueta para su operación, sin embargo, para transmitir datos, una etiqueta semi-activa utiliza la potencia emitida por el lector. En este tipo de sistemas, el lector siempre inicia la

comunicación. La ventaja de estas etiquetas es que al no necesitar la señal del lector para energizarse (a diferencia de las etiquetas pasivas), pueden ser leídas a mayores distancias y como no necesita tiempo para energizarse, estas etiquetas pueden estar en el rango de lectura del lector por un tiempo substancialmente menor para una apropiada lectura. Esto permite obtener lecturas positivas de objetos moviéndose a altas velocidades. Tanto las etiquetas activas como las pasivas pueden adicionalmente ser clasificados de la siguiente forma:

**Solo Lectura (RO).** En estos dispositivos, los datos son grabados en la etiqueta durante su fabricación, para esto, los fusibles en el microchip de la etiqueta son quemados permanentemente utilizando un haz láser muy fino. Después de esto, los datos no podrán ser reescritos. Este tipo de tecnología se utiliza en pequeñas aplicaciones, pero resulta poco práctico para la mayoría de aplicaciones más grandes, que intentan explotar todas las bondades de RFID.

**Una Escritura, Muchas Lecturas (WORM).** Una etiqueta de este tipo puede ser programado sólo una vez, pero esta escritura generalmente no es realizada por el fabricante sino por el usuario en el momento de su configuración. Este tipo de etiquetas puede utilizarse en conjunto con las impresoras de RFID, las cuales escriben la información requerida en la etiqueta.

**Lectura y Escritura (RW).** Estas etiquetas, pueden ser reprogramadas muchas veces, típicamente este número varía entre 10,000 y 100,000 veces, incluso mayores. Esta opción de reescritura ofrece muchas ventajas, ya que la etiqueta puede ser escrita por el lector, e inclusive por sí mismo en el caso de las etiquetas activas. Estas etiquetas regularmente contienen una memoria Flash o FRAM para almacenar los datos.

### 1.2.2 Lectores de RFID

Un lector de RFID es un dispositivo que tiene la capacidad de leer y escribir datos hacia las etiquetas RFID compatibles. El lector es el elemento principal de estos equipos y están compuestos por los siguientes dispositivos:

#### a. Transmisor

El transmisor emite potencia y envía el ciclo de reloj a través de su antena hacia las etiquetas que se encuentran dentro de su rango de lectura.

#### b. Receptor

Este componente recibe las señales analógicas provenientes de las etiquetas a través de la antena y envía estos datos al microprocesador, donde esta información es convertida en su equivalente digital.

#### c. Antena

Esta antena va conectada directamente al transmisor y al receptor. Existen lectores con

múltiples puertos para antenas, lo que les permite tener múltiples antenas y extender su cobertura.

#### **d. Microprocesador**

Este componente es el responsable de implementar el protocolo de lectura empleado para comunicarse con las etiquetas compatibles. Decodifica y realiza verificación de errores a las señales recibidas.

Adicionalmente, algunos de estos dispositivos son más especializados y pueden contener cierta lógica para realizar filtrado y procesamiento de bajo nivel de los datos leídos, esto es, eliminar lecturas duplicadas o erróneas, ayudando con una interpretación más confiable de los datos.

#### **e. Memoria**

La memoria es utilizada para almacenar información como los parámetros de configuración del lector, además de una lista de las últimas lecturas realizadas, de modo tal que si se pierde la comunicación con la PC, no se pierdan todos los datos.

#### **f. Canales de Entrada/Salida**

Estos canales permiten al lector interactuar con sensores y actuadores externos. Estrictamente hablando, es un componente opcional, pero incluido en la mayoría de los lectores comerciales de la actualidad.

#### **g. Controlador**

El controlador es el componente que permite a una entidad externa, sea un humano o un software de computadora, comunicarse y controlar las funciones del lector. Comúnmente los fabricantes integran este componente a una respectiva versión de los dispositivos.

#### **h. Interfaz de Comunicación**

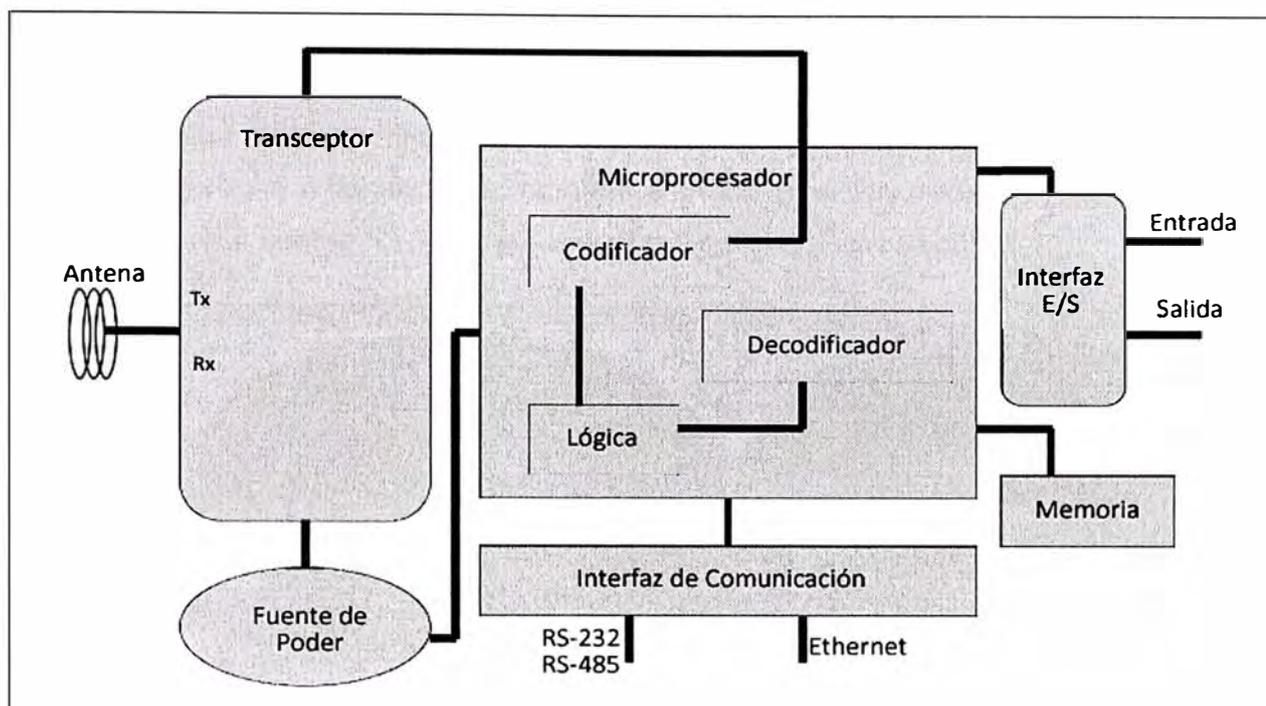
La interfaz de comunicación provee las instrucciones de comunicación, que permiten la interacción del lector RFID con entidades externas, mediante el controlador, para transferir datos y recibir comandos.

Un lector puede tener distintos tipos de interfaz como se discute más adelante, por ejemplo: RS-232, RS-485, interfaz de red, entre otras.

#### **i. Fuente de Alimentación**

La fuente de alimentación es el componente provee de alimentación eléctrica a los componentes del lector y regularmente consiste en un cable con un adaptador de voltaje, conectado hacia la toma de corriente.

Por otro lado en los últimos años se han incrementado el número de lectores de tipo pistola, los cuales son móviles y su fuente de alimentación es una batería recargable compuesta por elementos químicos como el Litio o el Níquel. La figura 1.4 esquematiza los componentes más importantes de un lector RFID.



**Figura 1.4** Componentes de un lector RFID. (Fuente: Roy Want, "RFID Explained")

### 1.2.3 Frecuencias usadas

RFID usa un conjunto de frecuencias para su operación, a continuación se describe los rangos utilizados por la tecnología:

#### a. Baja frecuencia (125-135 KHz)

Los sistemas que utilizan este rango de frecuencia tienen la desventaja de una distancia de lectura de sólo unos cuantos centímetros. Sólo pueden leer un elemento a la vez.

#### b. Alta frecuencia (13.56 MHz)

Esta frecuencia es muy popular y cubre distancias de 1cm a 1.5 m. Típicamente las etiquetas que trabajan en esta frecuencia son de tipo pasivo.

#### c. Ultra alta frecuencia UHF (0.3-1.2GHz)

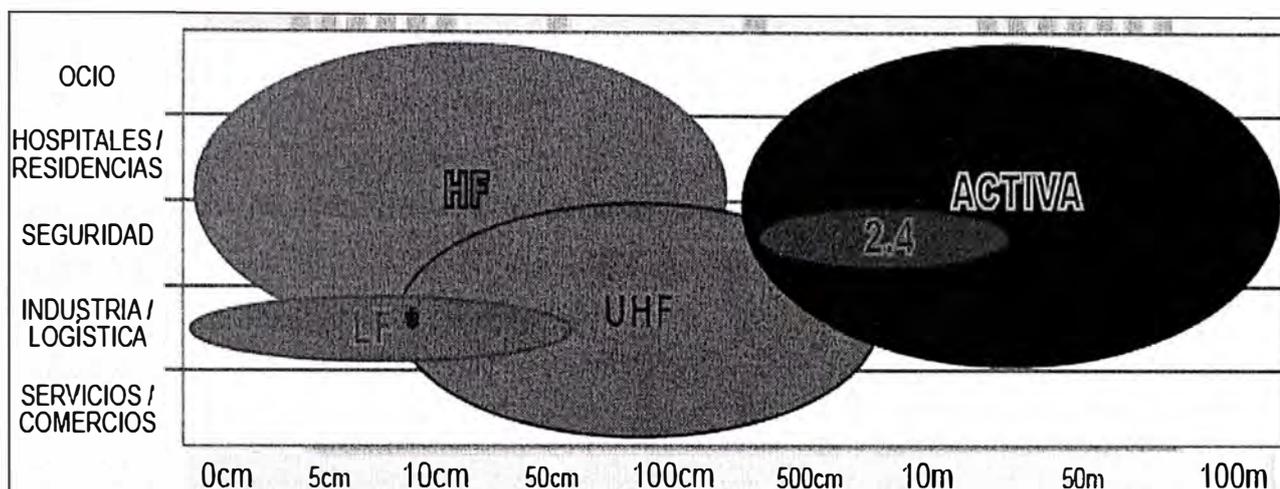
El rango de ultra alta frecuencia se utiliza para tener una mayor distancia entre la etiqueta y el lector (de hasta 4 metros, dependiendo del fabricante y del ambiente). Estas frecuencias no pueden penetrar el metal ni los líquidos a diferencia de las bajas frecuencias pero pueden transmitir a mayor velocidad y por lo tanto son buenos para leer más de una etiqueta a la vez.

#### d. Microondas (2.45-5.8GHz)

La ventaja de utilizar un intervalo tan amplio de frecuencias, es su resistencia a los fuertes campos electromagnéticos, producidos por motores eléctricos, por lo tanto, estos sistemas son utilizados en líneas de producción de automóviles. Sin embargo, estas etiquetas requieren de mayor potencia y son más costosas, pero es posible lograr lecturas a distancias de hasta 6 metros. Una posible aplicación es el cargo automático en

autopistas, en donde se coloca una etiqueta en los automóviles que funciona como tarjeta de prepago. En las casetas de cobro existen lectores, antenas y sistemas que permiten realizar el cargo correspondiente, sin la necesidad de que el auto se detenga.

La figura 1.5 a continuación muestra una gráfica de los sectores empresariales en las que se pueda usar la RFID de acuerdo a la frecuencia de operación.



**Figura 1.5** Frecuencias de operación RFID y sus posibles sectores de aplicación  
(Fuente: Javier Portillo García, "Tecnología de identificación por radiofrecuencia: aplicaciones en el ámbito de la salud")

Por otro lado, independientemente de la frecuencia de operación, los lectores principalmente deben manejar el tema de anticollisión y transferencia de datos en los sistemas de RFID.

Para que un lector de RFID tenga la capacidad de comunicarse con múltiples etiquetas simultáneamente, es necesario implementar algoritmos anticollisión que permitan un mejor control de los datos que son leídos. Un lector antes de emitir una señal de lectura no sabe cuántas etiquetas se encuentran a su alrededor, entonces debe existir un plan de cómo realizar estas lecturas, de lo contrario en el caso en que hubiera cientos de etiquetas en el rango de lectura intentando contestar al mismo tiempo, podrían existir colisiones y por ende generar datos erróneos.

Existen en la actualidad tres técnicas anticollisión. La primera es la denominada espacial, la segunda, por frecuencia y finalmente, en dominio de tiempo. Las tres son utilizadas para establecer un orden jerárquico, o algún método aleatorio en el sistema.

Los sistemas de RFID que operan en la banda de baja frecuencia tienen una transferencia de datos de baja velocidad, en el orden de los Kbps.

No obstante, estas velocidades aumentan de acuerdo con la frecuencia de operación, alcanzando tasas de Mbps en las frecuencias de microondas y que son mucho más factibles para aplicaciones en las que se necesite alta capacidad de transferencia.

### **1.2.4 Estándares RFID**

La tecnología RFID debe cumplir con estándares creados por organizaciones como ISO y EPC.

#### **a. ISO**

ISO tiene 3 estándares para RFID: ISO 14443 (para sistemas sin contacto), ISO15693 (para sistema de proximidad) e ISO 18000 (para especificar la interfaz aérea para una variedad de aplicaciones).

#### **b. EPC**

EPC global es una organización sin fines de lucro que ha desarrollado una amplia gama de estándares para la identificación de productos. Los estándares EPC están enfocados a la cadena de suministro y particularmente definen la metodología para la interfaz aérea; el formato de los datos almacenados en una etiqueta RFID, para la identificación de un producto, captura, transferencia, almacenamiento y acceso de estos datos; así como el middleware y la base de datos que almacena esta información.

Las funciones de EPC o Código Electrónico de Producto son similares a las de UPC o Código de Producto Universal encontrado en la tecnología de código de barras. EPC es un esquema de identificación para identificar objetos físicos de manera universal por medio de etiquetas RFID. El código EPC en una etiqueta RFID puede identificar al fabricante, producto, versión y número de serie, y adicionalmente provee un grupo de dígitos extra para identificar objetos únicos.

La red de EPCglobal es un grupo de tecnologías que habilita la identificación automática e inmediata de elementos en la cadena de suministro y la compartición de dicha información.

La tecnología RFID involucra colocar las etiquetas RFID en los objetos, la lectura de etiquetas (idealmente sin intervención humana) y el paso de la información a un sistema dedicado de infraestructura de Tecnologías de la Información. Con dicha infraestructura se pueden identificar objetos automáticamente, rastrear, monitorear y activar eventos relevantes.

#### **c. ONS**

EPCglobal ha desarrollado un sistema llamado ONS (Object Naming Service) que es similar al DNS (Domain Name Service) utilizado en Internet. ONS actúa como un directorio para las organizaciones que desean buscar números de productos en Internet.

#### **d. Gen 2**

EPCglobal ha trabajado con un estándar internacional para el uso de RFID y EPC, en la identificación de cualquier artículo, en la cadena de suministro para las compañías de cualquier tipo de industria, esto, en cualquier lugar del mundo. El consejo superior de la

organización incluye representantes de EAN International, Uniform Code Council, The Gillette Company, Procter & Gamble, Wal-Mart, Hewlett-Packard, Johnson & Johnson, Checkpoint Systems y Auto-ID Labs.

Por su lado, el estándar gen 2 de EPCglobal fue aprobado en diciembre de 2004, y es probable que llegue a formar la espina dorsal de los estándares en etiquetas RFID de ahora en adelante. EPC Gen2 es la abreviatura de "*EPCglobal UHF Generation 2*".

**e. Otros**

Existen, así mismo, muchos más estándares, pero enfocados a industrias específicas, por ejemplo: el AIAG B-11 (Automotive Industry Action Group) para identificación de llantas y ANSI MH10.8.4, para aplicaciones estándar de RFID con contenedores reutilizables.

### **1.2.5 Conectividad**

Cuando se desarrolla un sistema de RFID la elección de la conectividad de red para los lectores de RFID, es una consideración importante. Históricamente los lectores de RFID han tendido que usar comunicaciones seriales, ya sea RS-232 o RS-485. Actualmente la mayoría de los fabricantes intenta habilitar Ethernet en sus lectores e inclusive conectividad wireless 802.11. Las opciones de conectividad son las siguientes:

**a. RS-232.**

Este protocolo provee sistemas de comunicación confiables de corto alcance. Tiene ciertas limitantes como una baja velocidad de comunicación, que va de 9600 bps a 115.2 Kbps. El largo del cable está limitado a 30 metros, no cuenta con un control de errores y su comunicación es punto a punto.

**b. RS-485.**

El protocolo RS-485 es una mejora sobre RS-232, ya que permite longitudes de cables de hasta 1,200 metros. Alcanza velocidades de hasta 2.5 Mbps y es un protocolo de tipo bus lo cual permite a múltiples dispositivos estar conectados al mismo cable.

**c. Ethernet.**

Se considera como una buena opción, ya que su velocidad es más que suficiente para los lectores de RFID. La confiabilidad del protocolo TCP/IP sobre Ethernet asegura la integridad de los datos enviados y finalmente al ser la infraestructura común para las redes, la mayoría de las instituciones ya cuentan con una red de este tipo, lo que permite una instalación más sencilla y menos costos de integración.

**d. Wireless 802.11:**

Este tipo de tecnología se utiliza en la actualidad en los lectores de RFID móviles. Además de que esta solución reduce los requerimientos de cables y por lo tanto de costos.

#### **e. USB**

Pensando desde la tendiente desaparición del puerto serial en las computadoras, algunos proveedores de lectores RFID han habilitado sus equipos para poder comunicarse mediante el puerto USB.

Con los avances tecnológicos actuales, se habla también que los datos generados por los dispositivos de RFID, podrían ser movilizados a través de la red de telefonía celular.

#### **1.2.6 Middleware RFID**

Las nuevas políticas propuestas por organismos como Wal-Mart, el Departamento de Defensa de EUA, Tesco, Target y Metro AG han forzado a los proveedores a poner sus planes de RFID en práctica, lo más rápido posible. Esto ha provocado que no se exploten al máximo los beneficios operacionales de RFID al utilizar los datos RFID para mejorar sus procesos.

Esto significa que las empresas deben incorporar de una manera inteligente los datos RFID en los procesos de negocio que apliquen, de modo que estos impacten en la toma de decisiones de la empresa. Esta tarea no es nada sencilla pero se resuelve a través de una capa de software llamada middleware.

El middleware es el software que permite la conexión entre el hardware de RFID y los sistemas de Tecnologías de la Información de la empresa como pueden ser sistema legado, ERP (Enterprise Resource Planning), CRM (Client Relationship Management), sistemas de inteligencia de negocio, entre otros. El middleware es una plataforma para filtrar, administrar y rutear datos de las redes de RFID hacia los sistemas empresariales.

El middleware de RFID debe incluir una combinación balanceada de cinco capas:

##### **a. Administración del Lector.**

Debe permitir al usuario configurar, monitorear y aplicar comandos directamente a los lectores, a través de una interfaz común.

##### **b. Administración de los datos.**

Una vez que el middleware de RFID captura los datos enviados por los lectores, debe ser capaz de filtrar lecturas duplicadas o erróneas y enrutar los datos a su correcto destino.

##### **c. Integración de Aplicaciones.**

Debe proveer características de conectividad, enrutamiento y mensajes, requeridas para integrar los datos RFID con sistemas existentes como SCM (Supply Chain Management), WMS (Warehouse Management System), CRM (Client Relationship Management) o ERP (Enterprise Resource Planining), idealmente a través de una arquitectura orientada a servicios (SOA).

##### **d. Integración con socios de negocio.**

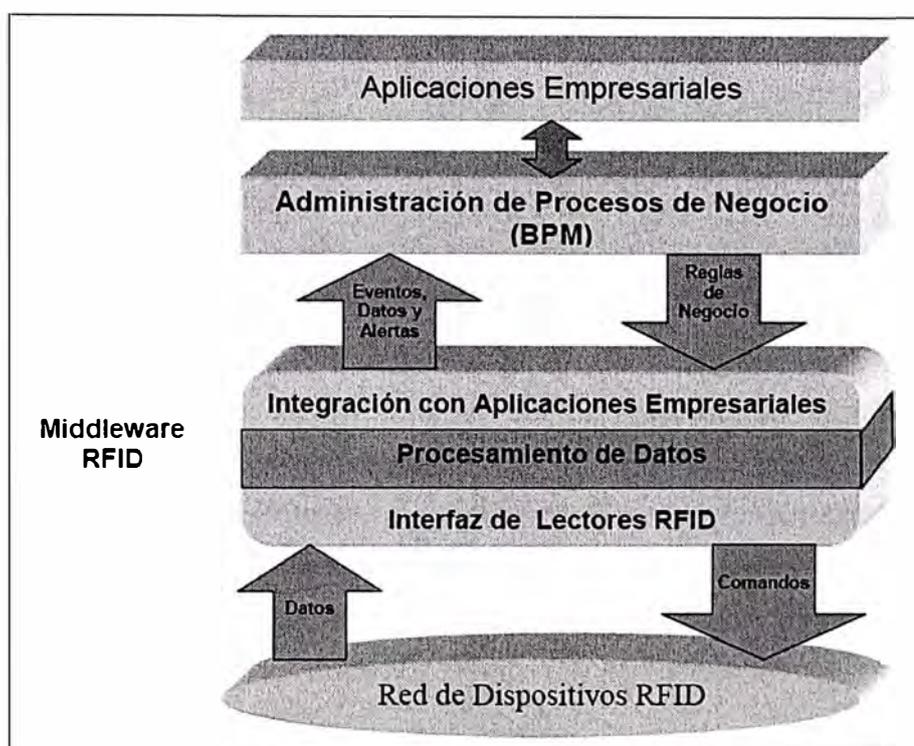
Algunos de los beneficios más prometedores de RFID vendrán al compartir los datos

RFID con los socios de negocio para mejorar los procesos colaborativos, para lo cual es necesaria la compatibilidad con protocolos de transporte B2B (Business to Business).

**e. Administración y escalabilidad en la arquitectura.**

La adopción de RFID producirá mucha información y el middleware de RFID es la primera línea de defensa para un procesamiento de los datos confiable. Esto significa que las plataformas de middleware de RFID deben estar habilitadas para funcionar en ambientes de alta disponibilidad o en cluster, con la capacidad de hacer un balanceo de carga dinámico y re-enrutamiento de los datos en caso de que un servidor falle.

En la figura 1.6 se aprecia las diferentes capas por la que está compuesto un middleware que trabaja y se integra con la RFID.



**Figura 1.6** Capas del middleware RFID (Fuente: Judith Myerson, "RFID in the supply Chain")

Existen en la actualidad ofertas de los mayores fabricantes de software que intentan resolver el problema del middleware de RFID. Cisco, por ejemplo, estableció que para el 2009, la mayor parte del tráfico en sus redes estará relacionada con EPC, y que para el 2014 el número de lectores EPC a escala mundial alcanzaría los 300 millones, que representa una cifra bastante considerable.

Algunas de las empresas líderes de software en el ámbito mundial como IBM, Oracle, Microsoft, SUN y Progress han desarrollado plataformas middleware, aprovechando todo el portafolio de productos con que cuentan, para tratar de dar soluciones más integrales, en las cuales, inclusive ya existía la integración con algunas aplicaciones.

### **1.2.7 Tendencias**

RFID se muestra actualmente como una tecnología con mucho potencial, por lo que aún queda mucho por desarrollar e implementar en los diferentes campos que la integran. A continuación se mencionan algunas de las principales tendencias.

#### **a. Industria**

La disminución en el costo de los componentes, especialmente el de las etiquetas, jugará un rol muy importante para determinar su ubicuidad.

Un nivel de etiquetado, por artículo, es la última frontera del desarrollo de RFID. Este concepto permitiría todo tipo de aplicaciones en la cadena de suministro, sin embargo, quedan por resolverse los problemas de seguridad y privacidad por parte de los consumidores.

Para las industrias mineras por ejemplo, la tecnología apuntará al control de materiales y ubicuidad de repuestos y personal. La trazabilidad que permitirá, será un valor agregado para la seguridad del personal, que es un tema muy crítico en este sector.

#### **b. Aplicaciones**

Aplicaciones como inventarios en tiempo real y una visibilidad total durante toda la cadena de distribución de los productos. Permitirá que la industria sea más eficiente y ahorrará costos ya que se podrían eliminar los centros de distribución y recibir los productos directamente de los proveedores.

Innovaciones en las aplicaciones para beneficio de los consumidores como control de acceso, pagos electrónicos, cuidado de pacientes, cliente frecuente, marcas deportivas y muchas más. Los proveedores de Software [15] de manejo de almacenes y cadenas de suministro, ofrecerán nuevos niveles de funcionalidad en sus aplicaciones, tomando ventaja de los datos RFID

#### **c. Diseños de etiquetas alternativos**

Muchos factores afectan el rango de lectura y precisión de las etiquetas, incluyendo aquellos que son físicos y del ambiente. Algunos ejemplos son: la detección cerca de metales o líquidos y condiciones de clima extremas como baja temperatura o alta humedad. Además de simplemente mejorar estos aspectos en la tecnología existente, se ha empleado física alternativa para cubrir estas limitantes.

La mayor parte del trabajo en esta área incluye desarrollos de etiquetas chipless (etiquetas sin chip). Un ejemplo de estas etiquetas es el de superficie de onda acústica (SAW), la cual envuelve la propagación de las ondas de radio frecuencia acústica.

Otras prometedoras tecnologías de chipless, que tienen el potencial de revolucionar las aplicaciones de RFID, utilizan nanotecnología, genómica e incluso química para generar etiquetas sin chip para la identificación de objetos únicos.

**d. Etiquetas sensoras**

Etiquetas cuyo empaquetamiento integra sensores que pueden monitorear, grabar e inclusive reaccionar ante todo tipo de condiciones ambientales. Estas etiquetas promueven toda una nueva gama de aplicaciones.

**e. Arquitectura**

Los sistemas de RFID generan montañas de información que necesita ser sincronizada, filtrada, analizada, administrada y todo esto en tiempo real. Cada etiqueta es esencialmente un dispositivo de cómputo, que actúa como un nodo en una red de eventualmente millones o billones de dispositivos.

Esta nueva red es diferente y aún más compleja que Internet, debido al número de nodos que pueden existir (un número mucho mayor de nodos). Esto significa que las arquitecturas e infraestructuras de cómputo tradicionales no serán las adecuadas para manejar estos altos volúmenes de información. Considerando el escenario de una cadena de suministro como Wal-Mart, en donde se etiquetan todos los productos de todas las tiendas, el número de elementos etiquetados puede ser de 1000 millones o más. Esto significa que, la información generada por esos 1000 millones de artículos, representa 12 gigabytes. Si estos artículos son leídos una vez cada 5 minutos, en algún punto de la cadena de suministro, generarán cerca de 1.5 terabytes por día. Para alcanzar estas capacidades, actualmente se investiga y desarrolla un nuevo concepto en el desarrollo de una nueva arquitectura de microprocesadores llamada Chip Multi-Threading (CMT). Esta arquitectura permite la ejecución eficiente de múltiples tareas simultáneamente, esto es, cómputo paralelo llevado a la capa del procesador.

Adicionalmente, los lectores de RFID cada vez tendrán mayor poder de procesamiento local, lo cual disminuirá dramáticamente la carga de los recursos de cómputo centralizados.

**f. Inteligencia de Negocios**

Como se ha mencionado RFID genera una gran cantidad de información, pero el valor real de esta información es utilizarla para realizar mejores decisiones de negocios. La capacidad de responder nuevas preguntas o descubrir patrones en los datos que proveen de mayor inteligencia al negocio.

**g. RFID Implantado en Humanos**

La empresa FDA tiene planes de comercializar un chip de RFID implantado debajo de la piel, con el objetivo de almacenar el expediente médico de la persona que permita a los doctores escanear a los pacientes para identificarlos y proporcionarles el mejor tratamiento y los medicamentos más adecuados. Se espera que estos dispositivos salven vidas y reduzcan lesiones ocasionadas por tratamientos no adecuados.

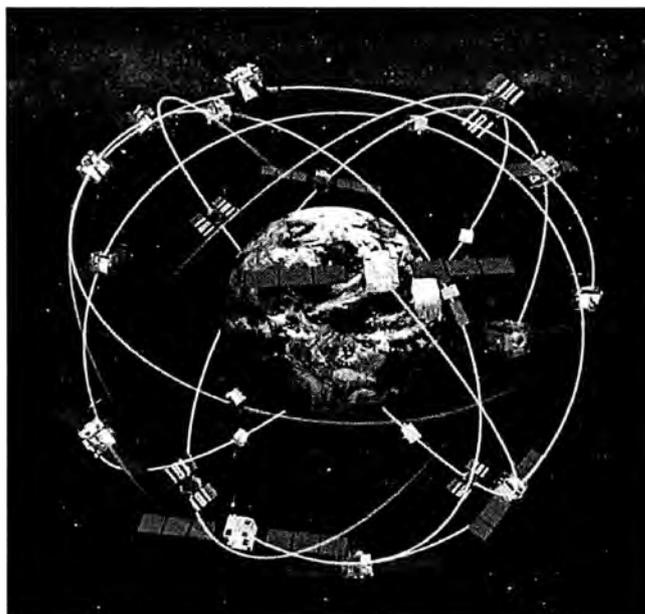
### 1.2.8 Tecnologías de localización de objetos

En nuestro entorno actual, existen varias tecnologías de localización y ubicuidad de objetos. A continuación se definen distintos tipos de sistemas de localización:

#### a. Sistema de Posicionamiento Global

Conocido mundialmente como GPS por sus siglas en inglés (Global Positioning System), este sistema hace uso de hasta 24 satélites que orbitan alrededor de la tierra enviando constantemente señales a los dispositivos que requieran oírlas. De esta manera un receptor GPS que necesite ser localizado en alguna parte del globo, tiene que contactar con al menos 4 satélites para que por medio de un cálculo de triangulación, el receptor pueda estimar su posición absoluta en latitud, longitud y altitud dentro de la Tierra.

La figura 1.7 muestra un esquema básico de este sistema, que puede llegar a tener una precisión de hasta diez metros de error, si el receptor toma referencias de más de cuatro satélites.



**Figura 1.7** Esquema básico del sistema GPS (Fuente: Internet)

De acuerdo con lo dicho hasta el momento, este sistema es bastante atractivo si se desea encontrar algún individuo en alguna parte del mundo, sin embargo no tiene mucho sentido usar esta tecnología para localizar objetos o usuarios en áreas pequeñas.

Otro inconveniente del GPS, es que al necesitar línea de vista directa (LoS), muchas veces no se encontrarán los satélites suficientes para un buen cálculo de la ubicación. Además las señales de GPS viajan muchos kilómetros y son relativamente tenues.

#### b. RFID

Como ya se ha revisado en los puntos anteriores, este sistema se basa en tipos de etiquetas de radiofrecuencia que contienen una antena emisora/receptora que al ser

excitada por un transmisor emite una señal. Así, un colaborador que se quisiera localizar en una planta o edificio de algún ambiente, tendría consigo una etiqueta de radiofrecuencia. En dicho ambiente tendría que existir un arreglo de lectores que reciban dichas señales para poder localizar al individuo.

Un ejemplo de un sistema de localización que usa la RFID es Cricket que fue ideado por ingenieros del MIT (Instituto de Tecnología de Massachusetts), cuya precisión es 2 centímetros y ha sido empleado en otros proyectos como seguimiento de objetos, control de robots o en aplicaciones context-aware (en las cuales la localización del usuario juega un papel muy importante).

En ese mismo sentido, es el nivel de escalabilidad y diversidad de aplicaciones que hacen que la tecnología RFID sea muy adaptable a diferentes necesidades.

En relación a los costos de implementación, con el pasar de los años y el avance de la tecnología, estos se han ido reduciendo, no obstante se debe hablar de una relatividad en los costos dependiendo de que tipo de industria sea la que los asume.

#### **c. Localización mediante telefonía celular**

Otra alternativa posible, que además no necesitaría ningún hardware adicional, pasaría por el uso de un teléfono móvil, ya que es un hecho que hay operadoras de telefonía móvil que ofrecen la opción de localización vía móvil a sus abonados. Sin embargo, la falta de precisión sitúa a esta tecnología en clara desventaja respecto de otras, ya que los sistemas de localización de este tipo no pueden dar precisiones mayores de 50 metros, por lo que su uso en ambientes mineros interiores no sirve, ya que se trataría de asumir un riesgo muy grande manejar ese rango de error. Esto es debido a que la localización con el uso del teléfono móvil (localización por GSM) se basa en la detección de la célula a la que está conectada el móvil, y en zonas urbanas la precisión es de decenas de metros, sin embargo, en las zonas rurales, existen menor número de células instaladas, ya que para nada le es rentable a la empresa operadora colocar mayor cantidad torres celulares en zonas que probablemente están inhabitadas o en su defecto tienen muy pocos pobladores. En este caso, la precisión sería mucho menor.

Por tanto, ésta es una clara desventaja de la tecnología GSM que la hace inapropiada para localización de objetos o personas.

#### **d. Localización por infrarrojo**

La tecnología infrarroja generalmente es usada para la comunicación entre dos nodos cercanos usando un led receptor y otro emisor de longitudes de onda de infrarrojo, es decir en áreas de muy corto alcance. Por esta limitación, habría que incluir una cantidad enorme de emisores de infrarrojos, y aún así sería muy difícil detectar ciertas ubicaciones por el problema de LoS. De las investigaciones realizadas se encontró que existe un

proyecto llamado WIPS (Wireless Indoor Positioning System, por sus siglas en inglés, o Sistema inalámbrico de posicionamiento en interiores) que se basa en la existencia de beacons emitidos vía infrarrojos y SmartBadges que llevan los usuarios del sistema de posicionamiento para localizarse tanto de forma pública como de forma anónima.

**e. Bluetooth**

Bluetooth es una tecnología para la transmisión de datos y voz en redes inalámbricas de área personal (WPAN). Los dispositivos que cuentan con esta tecnología se comunican mediante un enlace por radiofrecuencia en la banda ISM de los 2.4GHz. Es bastante atractiva para ambientes pequeños, en los que se desea comunicar dispositivos para sincronizaciones o envío y recepción de data específica, eliminando los cables.

Para la localización, el objeto o individuo tendría que mirar qué dispositivos Bluetooth hay al alcance y procedería por triangulación a ver su ubicación. La ventaja es que es una tecnología barata, pero el alcance, al igual que el infrarrojo, es demasiado corto y se necesitarían muchos dispositivos para cubrir un área específica. El error arrojado puede estar en el rango de 1.5 metros, lo cual no es nada malo para aplicarlo a la localización de algún objeto o individuo. El mayor inconveniente que tiene Bluetooth es que el indicador de potencia de señal recibida (RSS) no es preciso, por lo que no se puede usar y por ello, si se encuentra un dispositivo cercano, hay que asumir que se está en su entorno pero no se puede estimar el grado de cercanía o lejanía.

**f. Wi-Max**

Pese al avance de las redes inalámbricas Wi-Max es aún bastante desconocida. Son pocas las implementaciones que se han realizado con esta tecnología, pese a ofrecer ventajas en velocidad y cobertura frente al WiFi. Está pensada para la intercomunicación de áreas muy extensas, actualmente puede tener una cobertura de hasta 80 kilómetros de diámetro usando antenas especializadas de alta ganancia y direccionalidad. Con respecto al ancho de banda que ofrece, este puede llegar hasta los 70Mbps.

**g. UWB**

La tecnología de banda ultra ancha, UWB (Ultra Wide Band), realiza la transmisión de señales simultáneamente en múltiples bandas de frecuencia pero emitiendo una potencia muy baja, dotándola de un mayor rango de operación, menor consumo de energía y mayor robustez frente a interferencias.

Además, permite altísimas velocidades de transmisión y rangos elevados, por lo que parece un candidato perfecto para hacer sistemas de localización y ubicación de objetos o individuos en ambientes mineros, pero no solamente en éstos, sino que realmente su aplicabilidad parece enorme en un gran número de campos de acuerdo a la información revisada. La precisión alcanzada con este sistema es de un metro, con lo que

quedan intactas sus posibilidades de aplicación en el ámbito de este informe, sin embargo el mayor inconveniente es que no está regulado de tal forma que se pueda usar libremente y a escala masiva. Además los costos de los dispositivos asociados es mucho mayor que en otras tecnologías. Como ejemplo podemos citar que actualmente las etiquetas que usan esta tecnología pueden costar hasta 30 veces más que una etiqueta de RFID.

En resumen, se puede decir de esta tecnología, que su futuro no está precisamente en implementaciones de sistemas de localización, sino que por ejemplo, puede optar por ser un sustituto del USB para conseguir que todos los dispositivos se conecten entre sí sin cables.

#### **h. ZigBee**

ZigBee es el nombre de la especificación de un conjunto de protocolos de alto nivel de comunicación inalámbrica, para su utilización con radiodifusión digital de bajo consumo, basada en el estándar IEEE 802.15.4 de redes inalámbricas de área personal (wireless personal area network, WPAN). Su objetivo son las aplicaciones que requieren comunicaciones seguras con baja tasa de envío de datos y maximización de la vida útil de sus baterías. De acuerdo a lo revisado, esta es una muy buena tecnología en la actualidad junto con RFID para la localización en interiores, y su viabilidad ya ha sido estudiada en algunos trabajos. Sin embargo, su alcance es uno de los inconvenientes más resaltantes, ya que su señal es un poco más reducida en comparación con la RFID y además fluctúa de igual manera cuando cambian las condiciones del ambiente en donde se le podría utilizar, o con el movimiento de personas.

La ventaja principal de esta tecnología es su bajo coste y baja potencia de emisión, pero su bajo ancho de banda limitado, hace que su utilidad sea reducida.

Actualmente como puede verse en los documentos de la ZigBee Alliance, una de las aplicaciones en donde se prevé mayor incursión de esta tecnología es en la domótica.

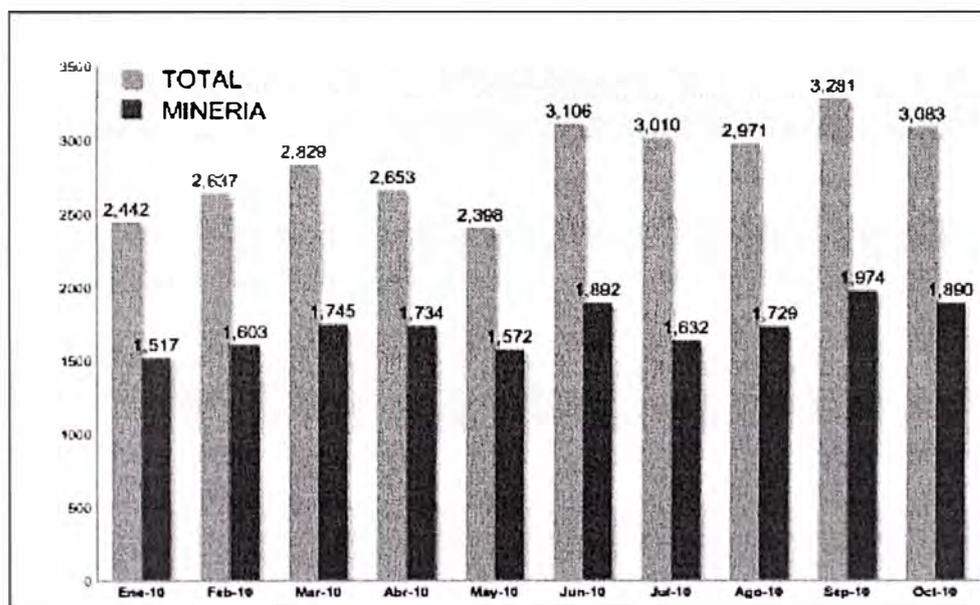
## II

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el presente capítulo se realizará una descripción de la problemática de acuerdo al entorno del sector minero peruano en la actualidad. Adicionalmente se definirán los objetivos del informe, así como las limitaciones a las que se encuentra afecto el presente trabajo.

#### 2.1 Descripción del Problema

Desde los inicios de nuestra historia, nuestro país ha estado muy ligado a la extracción de minerales y otras materias primas. Son diversos los minerales que se explotan en nuestro territorio debido a la riqueza y diversidad de los suelos peruanos. Por tal razón la minería es uno de los sectores más importantes de la economía peruana y representa normalmente más del 50% de las exportaciones del país (Fuente: Ministerio de Energía y Minas - MEM). La figura 2.1 extraída del portal del MEM, da una idea del nivel de exportaciones mineras en nuestro país.



**Figura 2.1** Explotación total del Perú y exportación minera 2010 en millones de dólares americanos (Fuente: Estadísticas del MEM)

Por su propia naturaleza la gran minería constituye un sector que genera grandes movimientos de capital, de esta manera esta industria generó aproximadamente el 9%, en promedio, del PBI peruano en el 2010. La minería en el Perú se ha vuelto tan

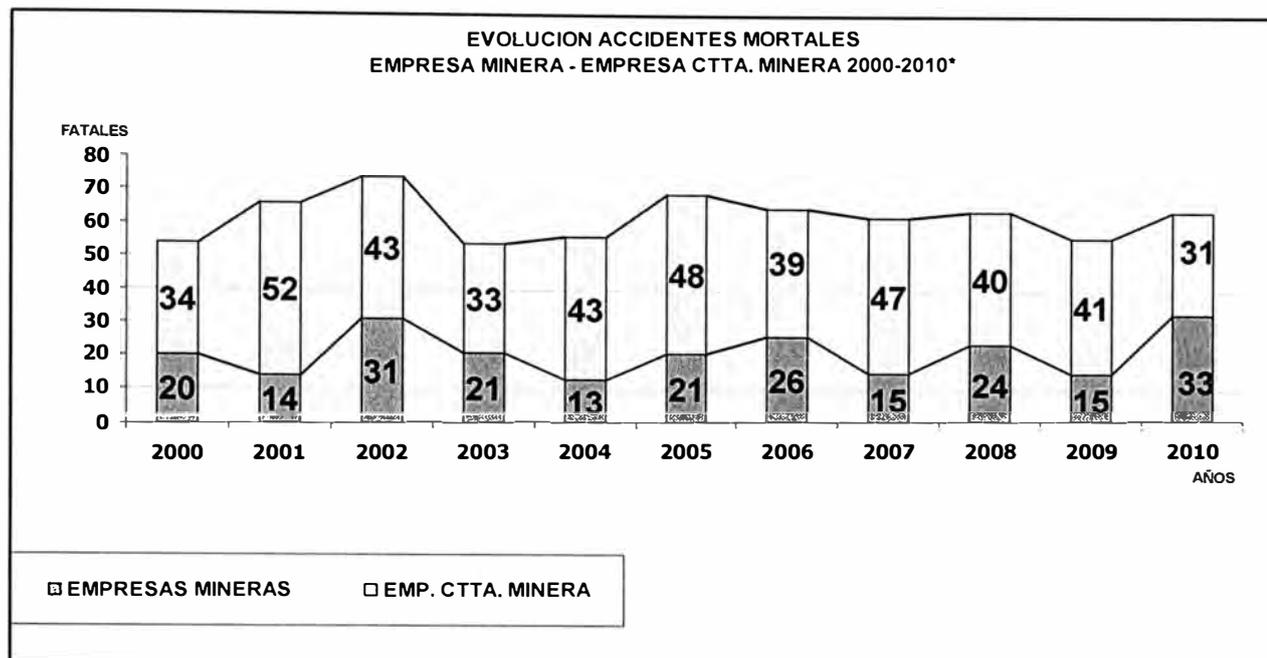
importante, que desde el año 2000 y pese a la crisis económica mundial acaecida en el 2009, ha duplicado su producción de minerales. Con todos estos datos, no está en duda la gran capacidad económica que mueve el sector industrial minero y por ende la capacidad de inversión en nuevas tecnologías que ayude a sus procesos operativos más importantes. La tabla 2.1 a continuación muestra el total de inversiones realizadas en el 2010 por las principales empresas mineras del país.

**Tabla 2.1** Ranking de inversiones mineras 2010 (Fuente: Estadísticas del MEM)

Puesto	Titular Minero	millones de US\$	
		ENE-DIC 2010	%
1	XSTRATA TINTAYA S.A.	604.18	15.01%
2	COMPAÑIA MINERA ANTAMINA S.A.	368.79	9.16%
3	MINERA YANACOCHA S.R.L.	302.38	7.51%
4	COMPAÑIA DE MINAS BUENAVENTURA S.A.A.	301.09	7.48%
5	SOUTHERN PERU COPPER CORPORATION	267.88	6.66%
6	COMPANIA MINERA MISKI MAYO S.R.L.	218.28	5.42%
7	VOLCAN COMPAÑIA MINERA S.A.A.	156.91	3.90%
8	SOCIEDAD MINERA CERRO VERDE S.A.A.	122.26	3.04%
9	CONSORCIO MINERO HORIZONTE S.A.	103.55	2.57%
10	VOTORANTIM METAIS -CAJAMARQUILLA S.A.	99.79	2.48%
11	LUMINA COPPER S.A.C.	83.5	2.07%
12	SOCIEDAD MINERA EL BROCAL S.A.A.	77.1	1.92%
13	MINERA BARRICK MISQUICHILCA S.A.	73.04	1.81%
14	EMPRESA MINERA LOS QUENUALES S.A.	69.4	1.72%
15	GOLD FIELDS LA CIMA S.A.A.	60.96	1.51%
16	COMPAÑIA MINERA MILPO S.A.A.	52.26	1.30%
17	EMPRESA ADMINISTRADORA CHUNGAR S.A.C.	42.54	1.06%
18	MINERA LA ZANJA S.R.L.	42.39	1.05%
19	COMPAÑIA MINERA CONDESTABLE S.A	42.33	1.05%
20	MINERA AURIFERA RETAMAS S.A.	38.91	0.97%
	Otras empresas mineras	897.6	22.30%
	<b>Total de inversiones</b>	<b>4,025.12</b>	<b>100.00%</b>

No obstante al nivel económico manejado, la minería es una industria que posee procesos de operaciones muy delicadas y en la mayoría de casos catalogados como de alto y muy alto riesgo. Tal es el caso, que en el año 2010 se reportaron oficialmente 64 accidentes fatales por diferentes motivos, que llevaron a la muerte del operario y/o trabajador minero.

La figura 2.2 a continuación muestra una estadística de los accidentes mortales reportados desde el año 2000, brindada por el Ministerio de Energía y Minas.



**Figura 2.2** Evolución de accidentes mortales en el sector industrial minero del año 2000 al 2010 (Fuente: Estadísticas MEM)

Por tal razón, las empresas de este sector buscan y deben cumplir con rigurosidad diversos estándares de seguridad que ayuden a mitigar los riesgos presentes durante el proceso operativo. Son diversas las organizaciones internacionales que auditan y acreditan un nivel adecuado de seguridad, como la ISO (Organización Internacional de Estandarización) por ejemplo y son muchas las especificaciones sobre la seguridad y salud en el trabajo, como por ejemplo las dadas por OHSAS (Sistemas de Gestión de Seguridad y Salud Ocupacional).

En ese sentido, el tema de seguridad corresponde a uno de los grandes problemas que afrontan las industrias mineras, no sólo del Perú, sino a nivel mundial. El hecho de conocer el detalle del control de acceso de los operarios o trabajadores mineros, su ubicación dentro de una zona de alto riesgo y la capacidad de responder frente a posibles accidentes, responde a la preocupación cada vez mayor de esta industria por una mejora continua en este tema y la necesidad de nuevos de mecanismos que optimicen dichos procesos.

Otro de los problemas que actualmente tienen las industrias mineras viene por el lado logístico, como se sabe, la fuerza logística de una empresa de este sector, representa una de las áreas más importantes, íntimamente ligada al proceso de producción y con estrecha relación a los procesos operativos generales. La gran cantidad de maquinaria, equipos e instrumentos dan lugar a un considerable número de activos que muchas veces están repartidos por toda la zona de operación, que generalmente es bastante amplia. Muchos de estos activos se catalogan como elementos críticos de la

operación, ya que intervienen en procesos muy delicados, siendo la capacidad de ubicarlos un factor determinante en ciertos casos.

El extravío de activos y sus tiempos ociosos generan millonarias pérdidas en el sector, siendo necesario contar con tecnología que facilite el inventario y ubicuidad de éstos.

En resumen, la industria minera en todos sus contextos experimenta una operación muy delicada en lo que respecta a control de activos y empleados, teniendo necesidad de contar con un control sumamente detallado respecto a sus ubicaciones en tiempo real para poder mitigar riesgos y optimizar sus procesos operativos y de producción.

## **2.2 Objetivos del Trabajo**

El objetivo principal del presente informe, es entregar una descripción con el detalle suficiente, de la adecuación y ventajas de la tecnología de identificación por radiofrecuencia en el sector industrial minero, al aplicarla en la optimización de los procesos de ubicuidad o localización de personas y/o activos, enfocados en la seguridad del personal y el control de inventarios respectivamente. Ambos procesos, considerados como muy importantes y delicados en las operaciones de la empresa minera actual y cuyas implicancias fueron descritas en la descripción del problema. Como objetivos específicos del informe se ha propuesto alcanzar lo siguiente:

Explicar el detalle de la fase de planificación y la fase de implantación de un proyecto que plantea una solución aplicada al sector industrial minero en base a la tecnología RFID, tomando como lugar de referencia de implementación, el área de control eléctrico de una empresa minera.

Presentar un estimado de costos de los dispositivos a usar, así como la descripción de los mismos, para una implementación básica de un sistema de localización de personas o activos mediante RFID.

## **2.3 Limitaciones del Trabajo**

La tecnología RFID tiene actualmente como uno de sus puntos en contra, el coste elevado para su implementación y despliegue. Las grandes compañías, de alta capacidad de producción y operación y con retornos de inversión esperados de mediano o largo plazo, pueden sin problema alguno solventar dichos costos.

No obstante a que en los últimos cinco años los costos de los dispositivos y equipos para la implementación de aplicaciones con RFID se han abaratado, en el presente informe no se presentará un prototipo con equipamiento desplegado, por tanto tampoco se podrá presentar resultados medibles al no existir dicha implementación. En

contraste, sí se presentará el planteamiento de una solución acorde al problema descrito, los elementos que la componen y la descripción detallada de las fases de dicho proyecto.

Además se definirá el análisis de resultados desde el contexto de las fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas que tiene esta tecnología y la solución aplicada al sector industrial minero, persiguiendo implícitamente que este documento sirva como base para terceros, con los recursos necesarios para la implementación de estas aplicaciones.

### III

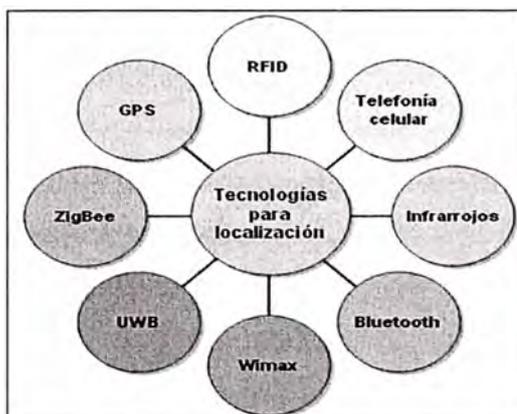
## METODOLOGÍA PARA LA SOLUCIÓN DEL PROBLEMA

En la actualidad existen tecnologías que permiten la ubicación de objetos o individuos en tiempo real, así como sistemas que permiten el control de activos, por lo que se pueden manejar algunas alternativas de solución para el problema. Por su parte, la metodología para encontrar la solución más factible, juega un papel muy importante en el presente informe, ya que es una guía adicional para poder trabajar orientado a los objetivos, alcances y limitaciones de este proyecto. En este capítulo se busca inicialmente explicar el motivo de la elección de la RFID, con el apoyo de los fundamentos del capítulo 1. Además se presentará la solución del problema en base a los objetivos específicos del trabajo y finalmente un análisis de los recursos requeridos.

### 3.1 Alternativas de solución

Lo que se busca para garantizar un punto a favor de la seguridad de las personas en un ambiente minero, como puede ser un socavón, una cantera, un túnel, etc., es poder localizarla rápidamente frente a alguna emergencia o necesidad.

En ese mismo concepto pueden entrar los activos, ya que muchas veces se les requiere para llevar a cabo una determinada actividad del proceso operativo o de producción de la industria minera. En ese contexto, la solución pasa por utilizar mecanismos de rápida ubicación y/o localización a través de tecnologías de factible aplicación en el ámbito minero. En el capítulo 1 se describieron las diferentes tecnologías que se pueden usar para la localización en interiores. La figura 3.1 muestra un recordatorio de lo descrito en el punto 1.2.8 de este trabajo.



**Figura 3.1** Alternativas tecnológicas para localización (Fuente: Elaboración propia)

Tomando como fundamento lo descrito en el punto 1.2.8 del capítulo 1, se ha elaborado la Tabla 3.1 con las ventajas y desventajas que tienen las otras tecnologías frente a la RFID.

**Tabla 3.1** Tabla comparativa de la RFID con otras tecnologías emergentes (Fuente: Elaboración propia)

<b>Tecnología</b>	<b>Ventajas frente a RFID</b>	<b>Desventajas frente a RFID</b>
GPS	- Localización a nivel mundial	- Dependencia de terceros - Altos Costos - Problemas de potencia de señal e interferencia
Localización con telefonía celular	- Costos mucho menor	- Dependencia de terceros - Niveles de error de localización elevados - Problemas con interferencia - Cobertura muy limitada para ambientes mineros
Infrarrojos	- Costo menor	- Operación en distancias muy cortas ( 2 metros con LoS) - Localización poco fiable
Bluetooth	- Costo menor	- Operación en áreas muy pequeñas - Localización con alto grado de imprecisión.
Wi-Max	- Cobertura de área amplia	- Tecnología no desarrollada del todo - Pocas referencias de implementaciones para sistemas de localización
UWB	- Menor consumo de potencia - Mayor cobertura - Robustez frente a interferencias	- Costos mucho mayores - Tecnología más adaptable a otras aplicaciones que a la localización de objetos
Zig-Bee	- Costos Bajos - Baja potencia de emisión	- Problemas de interferencia en interiores como túneles u otro ambiente minero. - Reducción de eficacia con individuos u objetos en movimiento.

La idea de la tabla 3.1 es mostrar que la RFID es la mejor alternativa en base a sus ventajas frente a las otras tecnologías.

### 3.2 Solución del Problema

De acuerdo a los objetivos del presente informe, en este punto se busca detallar la adaptación de la tecnología RFID en el sector minero para la mejora de ciertos procesos operativos. Se ha planteado realizar la explicación de la adecuación de la tecnología y las

ventajas que ofrece en el sector minero, a través de la propuesta de la implementación de la solución basada en RFID, en un área de prueba determinada. Dicha área corresponde al ambiente destinado para el control y monitoreo de la energía eléctrica de la planta de operaciones de la empresa minera Corianta, ubicada en la ceja de selva peruana, en la localidad de Bongará, Amazonas.

Para poder realizar la explicación de una forma más ordenada y como en la mayoría de proyectos, se ha dividido el planteamiento de la solución en dos fases generales. La figura 3.2 muestra un diagrama esquemático de las fases que serán explicadas en este apartado.



**Figura 3.2** Fases del proyecto de optimización de procesos operativos del sector industrial minero mediante RFID (Fuente: Elaboración propia)

La primera, es la fase de especificación y planificación, en donde se realizarán las actividades de análisis previos, evaluación y selección de las tecnologías RFID (equipamiento, dispositivos y herramientas de apoyo) y el diseño de la solución.

La segunda fase, es la fase de Implantación de la tecnología, la cual será descrita a fin de que se tenga la idea y base necesaria para el desarrollo de las actividades que se deben realizar en esa etapa.

### 3.2.1 Fase de especificación y Planificación

La planificación del proyecto juega un rol muy importante durante toda la vida del mismo, ya que provee de las actividades bases, necesarias para la definición y encaminamiento de la solución de una necesidad de acuerdo a los requerimientos obtenidos.

#### a. Análisis Previo

Como en todo proyecto, para dar solución a un problema, primero se debe estudiar las necesidades y requerimientos del entorno o cliente. Una vez adquirido el alcance de la solución, se debe analizar y evaluar técnica y económicamente las opciones que se tienen para cumplir dicho objetivo.

En el punto 1.2.8 del capítulo 1, se describió una serie de tecnologías actuales que pueden hacerle frente al problema propuesto, es decir tratar de optimizar procesos de control de activos y seguridad del personal por mecanismos automáticos de localización y control de accesos. En el punto 3.1 anterior, se estableció las ventajas y desventajas de las alternativas tecnológicas de solución frente a la RFID, tomando como

base el fundamento teórico.

Es en ese sentido por lo que el análisis previo, pasa por realizar la evaluación de dichas tecnologías, con la finalidad de calificarlas y sustentar cualitativa y cuantitativamente la elección, para aplicarla en la optimización de los procesos operativos de localización de personas y control de activos en el sector industrial minero.

En la Tabla 3.2 se muestra el análisis previo correspondiente, del que se puede observar que la RFID es la tecnología que obtiene mejor puntuación para aplicarla en un determinado ambiente de la industria minera.

**Tabla 3.2** Evaluación técnica-económica de alternativas de solución para aplicación en el sector minero (Fuente: Elaboración propia)

Tecnología	Evaluación técnica				Evaluación económica	
	Cobertura	Robustez	Precisión de Localización	Escalabilidad	Costos de despliegue	Puntaje promedio
GPS	8	4	4	4	2	4.4
<b>RFID</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>5</b>	<b>7.4</b>
Móvil celular	1	4	3	5	9	4.4
Bluetooth	1	5	3	7	8	4.8
Infrarrojo	1	5	3	6	8	4.6
Wi-Max	8	5	3	3	5	4.8
UWB	8	9	4	8	1	6
ZigBee	5	7	7	7	9	7

Puntaje: 1-3 Malo ; 4-6 Regular ; 7-8 Bueno ; 9-10 Excelente

Como se puede observar para nuestro caso, de acuerdo al análisis previo, la tecnología RFID es la que encaja de mejor forma para la implementación de la solución.

#### **b. Selección de Tecnología RFID**

Aunque las características generales de la tecnología RFID han sido revisadas en profundidad anteriormente, se tiene que retornar ciertas definiciones en este apartado, con el fin de realizar la selección de los dispositivos que trabajen adecuadamente en la solución que se plantea en este capítulo.

Los componentes RFID fundamentales que intervienen en la solución son antenas, etiquetas y lectores, la selección del tipo de tecnología se detalla a continuación:

Las antenas a seleccionar deben contar con una ganancia aceptable de acuerdo al ambiente en donde se instalarán, su alcance debe ser amplio y de cobertura robusta

frente a interferencias. Preferentemente debe ser una antena orientada a RFID, sin embargo, de acuerdo a lo revisado en las referencias, existen casos de éxito en donde se reutiliza la infraestructura instalada de puntos de accesos con Wifi, para que a su vez lean etiquetas RFID que operan en la banda de 2.4Ghz. En ambientes en donde se instala desde cero la tecnología es preferible contar con equipos especializados. En este caso se debe usar antenas RFID y por la naturaleza de la aplicación, es más recomendable hacer operar el sistema en la banda de microondas, por lo que las antenas RFID deben trabajar a 2.4GHz.

Para la selección de etiquetas, se debe analizar el entorno de implementación y la aplicación para las que serán usadas. En el caso de localización, a pesar de poder utilizar etiquetas pasivas, no es recomendable su uso, ya que su alcance es limitado y va en el orden de un par de metros, frente al par de decenas o más metros de cobertura que puede tener una etiqueta activa. Adicionalmente, en un ambiente donde es probable la presencia de obstáculos e interferencia, se hace menos pensable usar etiquetas pasivas, ya que tienen limitación notable en entornos en donde la línea de vista es escasa. Para este caso, al tratarse de un ambiente en donde es posible que se generen campos de interferencia por la alta tensión y además de la existencia de obstáculos (paredes, equipos), se debe usar necesariamente etiquetas activas, que si bien es cierto tienen un costo mucho mayor, la funcionalidad es bastante mejor para el tema de localización de objetos y para el entorno en el que se plantea la solución. Por otro lado, las etiquetas RFID actuales ofrecen la posibilidad de modificar los datos de acuerdo al estándar que utilice. Por ejemplo, utilizando el estándar EPC Gen2, existen básicamente varias clases de etiquetas: de sólo lectura, de una escritura y múltiples lecturas o de lectura-escritura. Para el sistema de localización sólo se requerirá de etiquetas de sólo lectura. Para el control de accesos, será requerida una etiqueta de lectura-escritura. Sin embargo, al tener ambas funcionalidades de la solución, que se debe implementar en un sólo sistema, lo más conveniente es adquirir etiquetas de lectura y escritura. Asimismo, otro factor importante de las características de las etiquetas, es el rango de frecuencia de operación, como ya se explicó, la RFID trabaja en varios rangos de frecuencias, están desde las bajas frecuencias, hasta la operación en la banda de microondas. La diferencia básicamente radica en el alcance entre lector-etiqueta, cuando la frecuencia de operación es mayor, se pueden obtener lecturas a mayor distancia. Para la solución planteada, se debe escoger etiquetas que operen en la banda de los 2.4GHz al igual que las antenas RFID. Adicionalmente, es recomendable utilizar etiquetas que permitan cifrar los datos para que no sean interpretados por lectores RFID estándar, de esta manera se evita algún problema de intrusión en el sistema o de información falsa e incorrecta.

En relación al tamaño, forma y capacidad de almacenamiento de las etiquetas, se debe tomar en cuenta el tipo de aplicación en donde se las empleará. Se debe escoger las etiquetas para cada proyecto y de acuerdo a las necesidades requeridas, ya que existen multitud de formas de estos dispositivos, incluso existen empresas que las fabrican para que calcen exactamente en el requerimiento del cliente. En la solución planteada se escogerán pulseras RFID activas para la asignación al personal y etiquetas activas adhesivas para la implantación en los activos que interactúen en el área de prueba.

Los lectores son el eje central de un sistema que trabaja con RFID, por lo que es crucial la elección correcta de este dispositivo. Aunque en la actualidad existen muchos tipos de lectores de tecnología RFID en el mercado, se tiene que realizar el análisis respectivo, para hacer el balance de las especificaciones técnicas y económicas de los equipos que se adecuan a la solución. El número de elementos que se pueden leer simultáneamente es un factor técnico muy importante a considerar, por ejemplo, existen lectores que puede leer decenas de etiquetas de forma casi simultánea y otros que pueden hacerlo con centenares de ellas. En una aplicación para un almacén de una empresa logística o de la cadena de suministros, no es posible pensar en lectores de baja simultaneidad de lectura. En otras aplicaciones y dependiendo del alcance y dimensionamiento del proyecto, este factor puede estar atado estrechamente al tema presupuestal. Para el sistema propuesto elegiremos un lector RFID estándar, que opere en la banda 2.4GHz al igual que las antenas y etiquetas RFID, la conectividad con la herramienta de apoyo o middleware debe ser a través de interfaces ethernet.

Adicionalmente, todos los componentes RFID y su sistema, requieren de una herramienta o software de apoyo que permita el manejo de los datos, la interpretación de los mismos en lenguajes amigables para el administrador, provea de interfaces que permitan una gestión eficiente de administración y consulta, y de ser el caso, haga posible la interconexión con las aplicaciones corporativas de una empresa o industria.

Todas estas características definen la necesidad de contar con un middleware apropiado para la solución del problema y apropiado para la integración con la RFID. En el mercado actual hay diversas plataformas middleware que trabajan con RFID, muchas de ellas desarrolladas por grandes empresas tecnológicas y otras por empresas que empiezan a ver el gran futuro de la RFID.

Para la solución que se plantea en este informe, se revisó las especificaciones de diversos middleware que tienen como principal aplicación la localización, ubicuidad, control de accesos, entre otras funciones. Entre ellos se prestó especial interés, en el AeroScout®, el Ekahau y el iBOX Network Wireless Manager, cuyo mayor detalle se

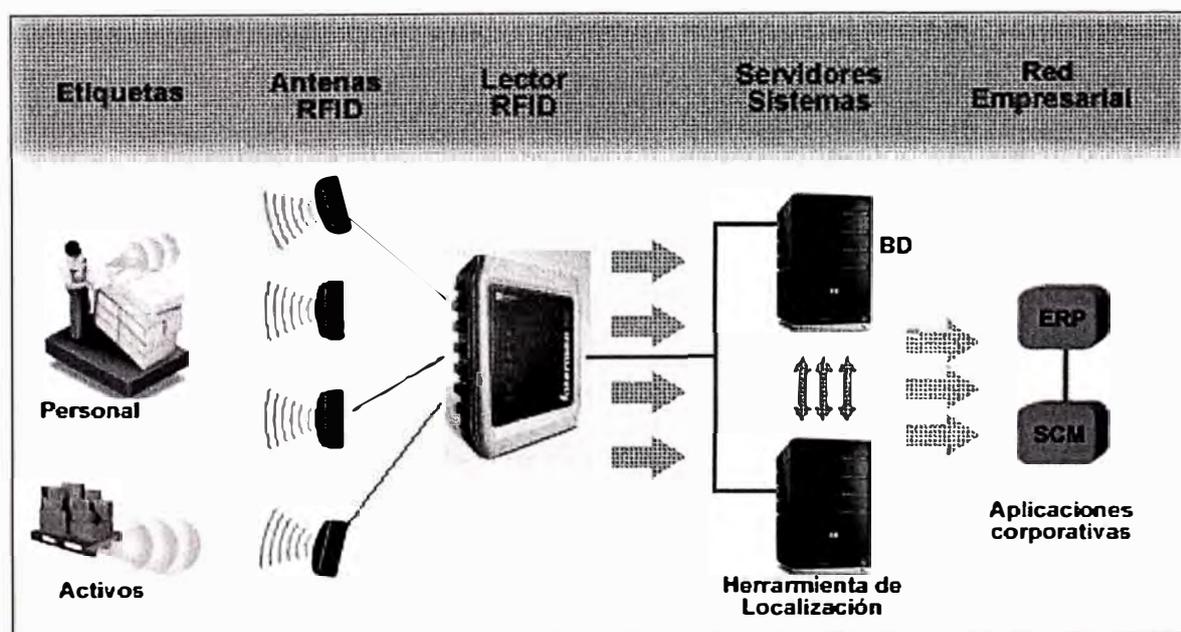
puede revisar en el Anexo A.

Todos estos sistemas de localización con RFID presentan grandes ventajas y proporcionan un middleware adecuado. La elección de este sistema, al igual que los dispositivos RFID, se basa en el alcance del proyecto, los costos asociados y el tiempo de implementación. Tanto AeroScout® y Ekahau, utilizan, adicionalmente del software de localización, dispositivos RFID propietarios fabricados por ellos mismos, e incluyen adicionalmente al middleware, la solución integral con sus dispositivos RFID propios. Por su parte, el iBOX Wireless Network Manager tiene el mismo mecanismo de solución, sin embargo también permite integrarse a dispositivos RFID de otros fabricantes, otorgándole una ventaja adicional sobre los otros desde el punto de vista de escalabilidad y la libertad de elección de dispositivos y marcas.

Es por dicha ventaja, que para la solución planteada en este capítulo se ha seleccionado esta herramienta como middleware y software de apoyo para la localización y control de las personas y activos.

### c. Diseño de Solución RFID

Se describe el diseño de la solución RFID para este caso, a través de la descripción de la arquitectura de la red RFID y el diagrama de casos de uso que participan en el proceso de localización y control del personal o activos. El diseño de la arquitectura de la red RFID, detalla la estructura lógica de la solución, los elementos que participan y su forma de interacción. En la figura 3.3 se muestra el esquema que representa la interconexión de los elementos de la RFID para lograr lo requerido.



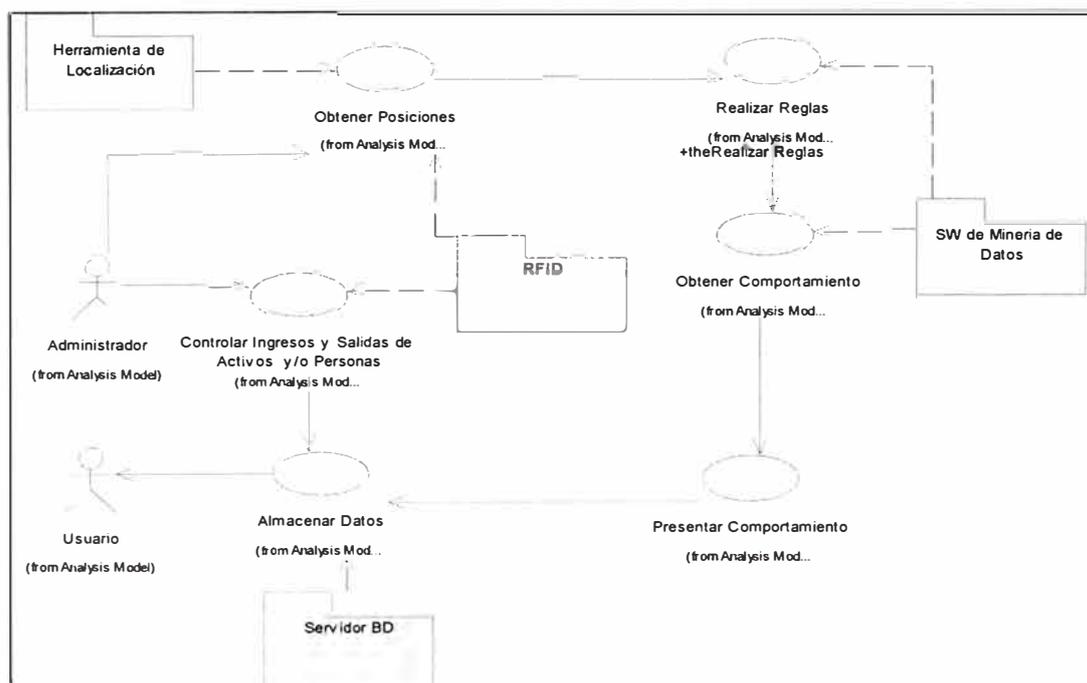
**Figura 3.3** Arquitectura de la red RFID para el sistema de localización y control de personal y activos (Fuente: Elaboración propia)

Es preciso mencionar que lector RFID juega un papel muy importante, ya que es el eje central del sistema. Las señales de radiofrecuencia que las etiquetas activas constantemente transmiten, son recolectadas e interpretadas por el lector, quien a su vez trasmite la información a los servidores de base de datos y la herramienta de localización por protocolos de comunicación ethernet. Según sea el caso y el proyecto, la comunicación entre los lectores y los servidores puede hacerse de distintas formas (RS232, ethernet, wireless, etc.)

Eventualmente y con afán de generalizar la arquitectura del sistema RFID, este sistema se puede integrar a la red empresarial o corporativa y sus aplicaciones a través de un determinado middleware. En este caso, no se desarrolla dicha integración, no obstante se deja indicada la posibilidad, dependiendo de la herramienta de localización que se utilice.

A continuación se utiliza los casos de uso para la captura de los requisitos potenciales del sistema que se propone. Cada caso de uso proporciona el escenario que indica la forma de operación e interacción del sistema con el usuario y con cada componente. Es importante utilizar este diagrama para presentar el diseño funcional de lo que debe realizar el sistema en su conjunto (hardware y middleware), además de servir de complemento a la arquitectura de red, descrita líneas arriba, y de describir en forma global la solución mediante RFID.

La figura 3.4 muestra el diseño del diagrama de casos de uso del sistema de localización y control de personal y activos aplicable a los procesos operativos de control y seguridad en el sector industrial minero.



**Figura 3.4** Diagrama de casos de uso del sistema (Fuente: Elaboración propia)

En las siguientes tablas, desde la 3.3 hasta la 3.8, se describe cada caso de uso, dando a conocer el alcance global de la solución planteada en este informe.

**Tabla 3.3** Caso de uso: Obtener posiciones – Localizar (Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Obtener Posiciones - Localizaciones</b>
Iniciado por:	Administrador del sistema
Terminado por:	Sistema
Condiciones	Las conexiones del software y hardware deben estar realizadas de acuerdo a la arquitectura de red RFID definida
Excepción	---
Actor(es)	Administrador, herramienta o software de localización (iBOX)
Descripción	Este caso de uso debe comenzar con la realización por parte del administrador, de las configuraciones del software y hardware asociado al sistema y la herramienta de localización (iBOX), el cual está compuesto por los lectores y antenas RFID que permitirán realizar el seguimiento del personal y/o activos, con la finalidad de usarlos luego para el respectivo control. Todos los datos generados en este caso de uso deben ser almacenados en un servidor de base de datos local o de la red empresarial y en la ruta y configuración que debe hacer el administrador.

**Tabla 3.4** Caso de uso: Realizar reglas ((Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Realizar reglas</b>
Iniciado por:	Administrador
Terminado por:	Sistema
Condiciones	Configuración en el software de localización debe estar realizado
Excepción	Datos insuficientes enviados por los elementos RFID al software
Actor(es)	Administrador, herramienta o software de localización (iBOX)
Descripción	Este caso de uso debe comenzar cuando el software de localización (iBOX) entregue las posiciones de las personas o activos y datos como la velocidad de las personas. Para el caso de personas, el software de localización debe ser capaz de clasificar el movimiento de las personas en base a la velocidad que presenten. La generación de las reglas se debe realizar con una sola variable dependiente de la velocidad de las personas. El administrador puede generar las reglas por única vez o modificarlas en el sistema de localización de acuerdo al análisis que se realice para cada caso o situación.

**Tabla 3.5** Caso de uso: Obtener comportamiento (Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Obtener Comportamiento</b>
Iniciado por:	Administrador, herramienta o software de localización (iBOX)
Terminado por:	Sistema
Condiciones	Las reglas deben haber sido generadas en el sistema
Excepción	Los datos sean erróneos o no exista datos para la clasificación
Actor(es)	Administrador, software de localización (iBOX)
Descripción	Este caso de uso que aplica al control de las personas, debe permitir que el sistema realice una clasificación en base a las reglas generadas. La clasificación debe permitir al sistema de localización obtener cierto comportamiento tomando como referencia la velocidad de las personas. Este caso de uso también debe permitir en forma automática enviar alertas de emergencia cuando la clasificación sea considerada como crítica o anormal.

**Tabla 3.6** Caso de uso: Presentar comportamiento (Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Presentar comportamiento</b>
Iniciado por:	Administrador
Terminado por:	Sistema
Condiciones	Software de localización operativo y con soporte de minería de datos para la clasificación
Excepción	---
Actor(es)	Administrador, software de localización (iBOX)
Descripción	Este caso de uso debe permitir el análisis del comportamiento del personal en el área de prueba mediante la clasificación que se realizó en el caso de uso anterior. El sistema en conjunto debe permitir presentar resultados en un entorno determinado del software de localización y almacenar toda esta información en el servidor de base de datos.

**Tabla 3.7** Caso de uso: Controlar ingreso y salida de personal y/o activos (Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Controlar ingreso y salida de personal y/o activos</b>
Iniciado por:	Administrador, Hardware RFID
Terminado por:	Sistema
Condiciones	Los equipos de la arquitectura de red RFID deben estar instalados y operando
Excepción	Fallas en el sistema o hardware de RFID
Actor(es)	Administrador, hardware RFID
Descripción	Este caso de uso debe permitir a la solución, realizar el control de acceso del personal y los activos al área de prueba en forma automática, previa instalación de los dispositivos de hardware RFID y la herramienta o software de apoyo (iBOX).

**Tabla 3.8** Caso de uso: Almacenar datos (Fuente: Elaboración propia)

<b>Caso de Uso:</b>	<b>Almacenar datos</b>
Iniciado por:	Administrador
Terminado por:	Sistema
Condiciones	El sistema de localización mediante RFID debe estar operativo para el envío de datos
Excepción	Falla en el sistema o que no se presenten datos algunos
Actor(es)	Administrador, servidor de base de datos
Descripción	Este caso de uso del sistema, indica que la solución debe permitir que los datos generados por el sistema RFID en su conjunto (hardware RFID y software de control y localización) sean almacenados en un servidor de base de datos local o de la red empresarial, con la finalidad de tener control de los mismos y se puedan hacer uso de la información histórica cuando se requiera.

Como se puede ver, se ha realizado el diseño de la solución RFID basado en la arquitectura de red y la definición funcional detallada a través de los casos de uso del sistema, de ellos es notorio el énfasis del sentido bastante orientado al control de los activos y sobre todo la seguridad del personal que labora en el área restringida.

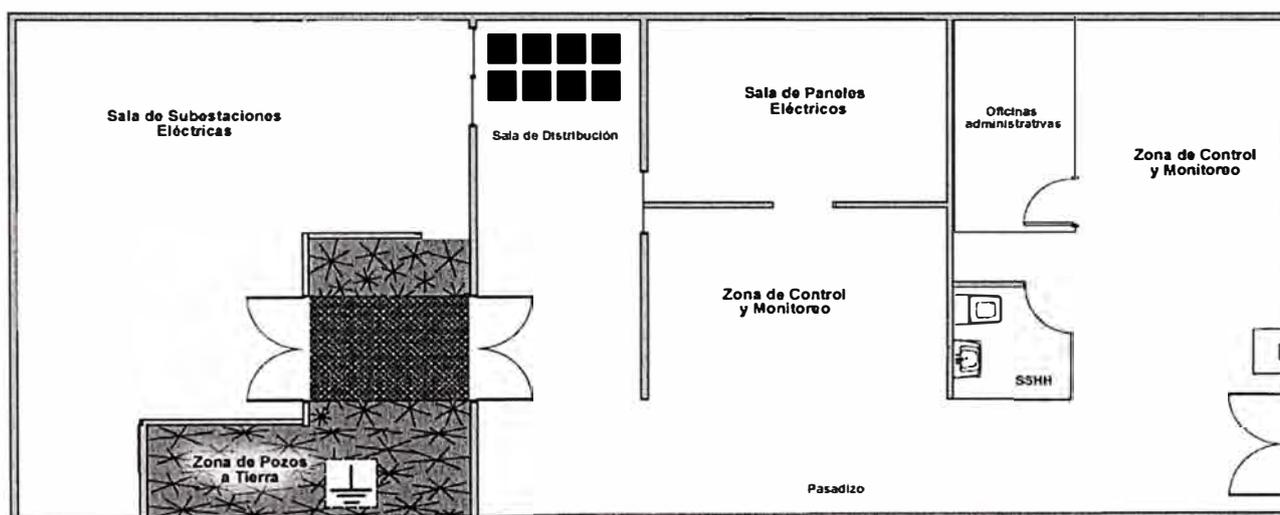
### 3.2.2 Fase de Implantación

En esta fase se pretende describir a detalle las actividades que se deben realizar para llevar a cabo la implementación de la solución mediante la tecnología RFID.

En ese sentido, se ha escogido un área de prueba en donde se realizará el despliegue de la tecnología. Se trata de la sala de control eléctrico de la empresa minera Corianta, dedicada a la extracción de zinc. Se escogió este ambiente, pues es común en las empresas del sector minero, contar con un área específica para el control del sistema de energía eléctrica de sus plantas de operación y con la finalidad de que sea visto como un ejemplo para complementar la arquitectura de la red RFID y la definición funcional planteada para el sistema.

En dicho ambiente, se encuentran los controladores de equipos de alta tensión, así como subestaciones, paneles y numerosas cajas de distribución eléctrica de la planta de operación. Está demás mencionar que este ambiente es de alto riesgo, por lo que es muy importante estar al tanto del personal que labora en sus instalaciones y de ciertos activos que requieran ubicarse frente a alguna emergencia.

La figura 3.4 muestra el plano del ambiente donde se debe realizar la implementación de la solución.



**Figura 3.4** Plano del área de control eléctrico de la minera Corianta (Fuente: Elaboración propia)

Para poder implementar la tecnología, previamente se determinó en la fase de planificación y especificación los dispositivos RFID que se deben de usar:

- Antenas
- Lectores RFID
- Pulsera y/o etiquetas RFID

Y para la solución global debe añadirse además lo siguiente:

- Servidor de Base de datos
- Servidor con herramienta de sistema de localización (middleware RFID)

A continuación se detalla en forma general las actividades para la implementación de la tecnología.

#### a. **Instalación de la red RFID**

Esta actividad corresponde a la implementación de la arquitectura de la red RFID, específicamente la red física de los dispositivos que intervienen en la solución. Obviamente, se supone instaladas la infraestructura de cableado eléctrico y de datos necesarios. En las siguientes líneas se detalla las tareas a realizar:

**Instalación de antenas.** La instalación de antenas se tiene que realizar de tal forma que se cuide el tema de cobertura. Muchas antenas que trabajan con RFID en la actualidad, pueden cubrir en la práctica, desde 15 metros a 40 metros de diámetro en interiores dependiendo de los obstáculos del área en donde se trabaja. Para un mejor desempeño del sistema, se recomienda colocar antenas cada 20 metros, con el fin de solapar las áreas de cobertura y tener mayor precisión en las lecturas de los datos de las etiquetas RFID. Obviamente, el número de antenas a colocar está estrechamente relacionado a las dimensiones del ambiente en donde se implemente la solución, teniendo que hacer un ajuste de este número para cada proyecto. Para este caso las antenas se deben conectar mediante cableado al lector fijo, existiendo la posibilidad de conectarse también de forma inalámbrica, enviándole los datos de las etiquetas. En nuestro ambiente de prueba se colocarán las antenas convenientemente en zonas centrales del área, instaladas en el cielo raso y en las esquinas de ser el caso.

**Instalación de lectores RFID.** Los Lectores RFID son claves en la implementación de esta tecnología, éstos proporcionarán la interpretación de las lecturas de los ingresos y salidas de las personas o activos del área de prueba y deben interconectarse con la base de datos para guardar dichos registros. Además recibirán las señales que constantemente enviarán las etiquetas RFID activas a través de las antenas conectadas a él mediante cable coaxial y por su propia lectura, ya que el equipo escogido también cuenta con una antena integrada. Esta lectura constante es necesaria para que el sistema de localización efectúe la ubicación de alguna persona u objeto dentro del área. Debido a que una gran cantidad de etiquetas podrían encontrarse en presencia de un lector, los lectores deben ser capaces de recibir y administrar varias respuestas al mismo tiempo (potencialmente cientos por segundo). La capacidad de gestionar una gran cantidad de etiquetas es utilizada para permitir que las etiquetas sean identificadas y seleccionadas individualmente, por eso la importancia de estudiar en cada proyecto, la ubicación tanto del lector y sus antenas. En el presente caso, es recomendable instalar dos lectores, los cuales deben ubicarse convenientemente, uno en la entrada principal al área de prueba y el otro en la entrada a la sala de subestaciones eléctricas. La conectividad de los lectores con la base de datos y el middleware debe ser a través de la red ethernet.

**Instalación de etiquetas RFID.** Para la localización de activos se debe instalar etiquetas y adherirlas a éstos en áreas convenientes de su superficie, previamente habiendo configurado la etiqueta con los datos respectivos, tratando de lograr una mejor exposición de la etiqueta-antena RFID. En el caso de las personas, lo más conveniente, es incluir en los implementos de seguridad exigidos, pulseras RFID que deben llevar obligatoriamente para el ingreso al área restringida. Otra opción es adherir las etiquetas en los chalecos de seguridad que llevan los operarios, personal o colaborador que ingresa al área de prueba. Para el caso de personas se debe tener especial cuidado en que cada operador o personal, utilice el equipo que se le ha asignado, ya que las etiquetas tendrán como parte de su información los datos del personal respectivo, estos servirán tanto para el control de acceso del personal, como para la localización de ser necesario. En este caso, las etiquetas activas elegidas y la frecuencia de operación, ayudan por su mayor robustez en la cobertura, ya que al ser un ambiente dedicado al control de energía de media y alta tensión, existen campos electromagnéticos que pueden generar y causar interferencia.

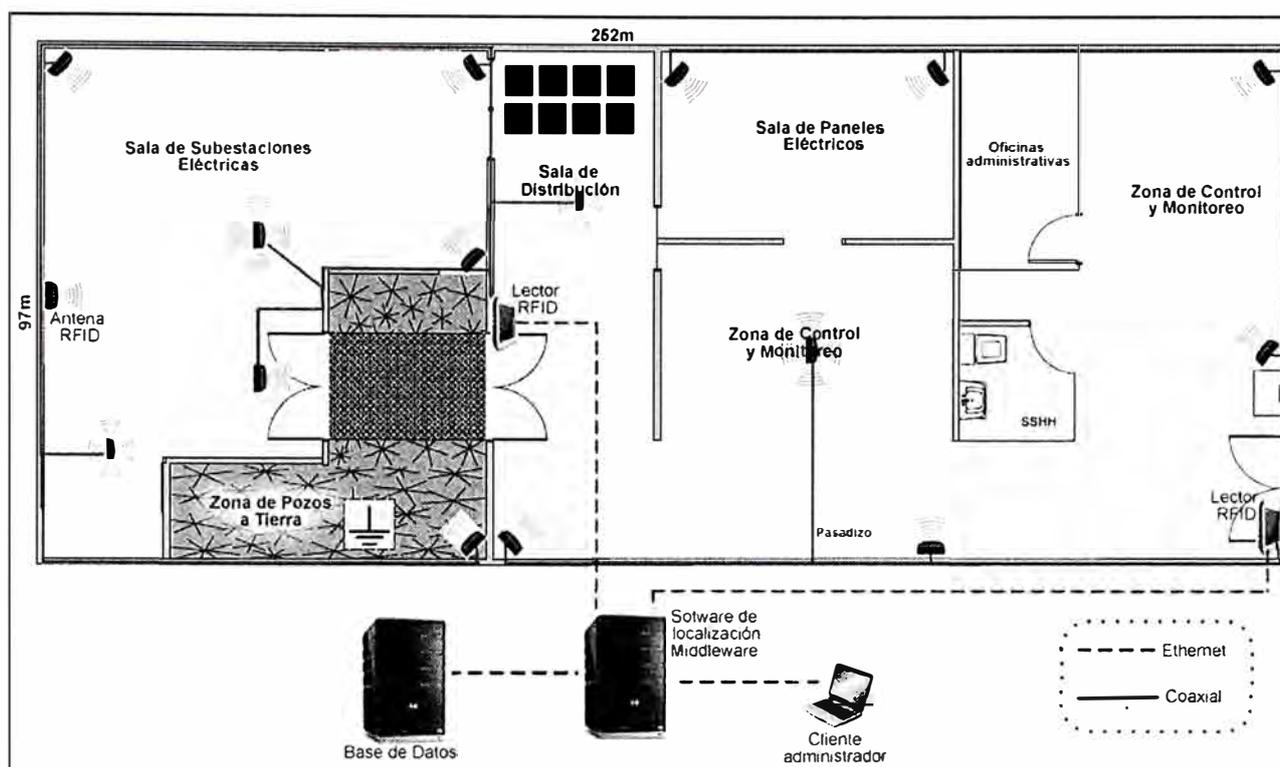
**Implementación de la base de datos.** La mayoría de empresas bien establecidas, cuenta con una base de datos como parte de su infraestructura de TI. Generalmente se tienen servidores centralizados que manejan los datos de muchas de las aplicaciones de la corporación. Es más que seguro que existirán proyectos en los que la base de datos ya esté implementada, en este caso, la idea es reutilizar este servicio. En caso no se cuente con una base de datos o se quiera administrar una propia para la solución con RFID, se recomienda utilizar sistemas robustos. Se recomienda implementar MySQL sobre un servidor Windows o PostgreSQL sobre alguna distribución en Linux.

**Instalación del Middleware.** Dependiendo del tipo de herramienta que se utilice se determinan las especificaciones del hardware requerido. AeroScout trabaja con su propio appliance por ejemplo. En este caso, el software iBOX Network Wireless Manager, puede ser instalado sobre un servidor específico bajo sistema operativo Windows Server 2003 R2(aunque puede depender del cliente ya que también se puede instalar sobre distribuciones Linux).

La figura 3.5 a continuación, muestra la distribución de los dispositivos RFID que se debe hacer en el ambiente de prueba, además, la forma de interconexión con el middleware y la base de datos. Se puede visualizar en la misma una leyenda que indica dicho tipo de interconexión, siendo las conexiones de las antenas hacia los lectores mediante cable coaxial con una línea continua de color rojo.

Por su lado, las líneas entrecortadas de color azul, indican la interconexión por medio de cable UTP (Ethernet) con el servidor de base de datos y el servidor donde se

encuentra alojado el middleware iBox Wireless Network Manager.



**Figura 3.5** Implementación de la arquitectura RFID (Fuente: Elaboración propia)

#### b. Configuración del middleware

El software de apoyo que se ha seleccionado cuenta con módulos desarrollados para que mediante la integración con la RFID se pueda realizar lo siguiente:

- Identificar de forma unívoca activos
- Realizar el control de accesos de personas o activos
- Localizar en tiempo real
- Inventariar de forma automática y rápida
- Controlar stocks
- Realizar búsquedas por referencias
- Gestionar procesos de alta y baja complejidad, así como el mantenimiento del sistema.
- Interconexión con las aplicaciones corporativas

Es decir, de acuerdo al diseño de la definición funcional en base a los casos de uso, la herramienta provee casi en su totalidad el apoyo necesario para la solución planteada, a excepción de la obtención y clasificación del comportamiento del personal. No obstante, la herramienta permite gestionar procesos de alta y baja complejidad. Precisamente esta funcionalidad debe ser explotada para generar un conjunto de reglas, que signifiquen un adicional a la seguridad en el personal, que de por sí ya ofrece este software.

Lo que se plantea, es configurar reglas en el sistema, para clasificar el comportamiento del personal, en base a la velocidad que tienen. La tabla 3.9 muestra la propuesta de clasificación.

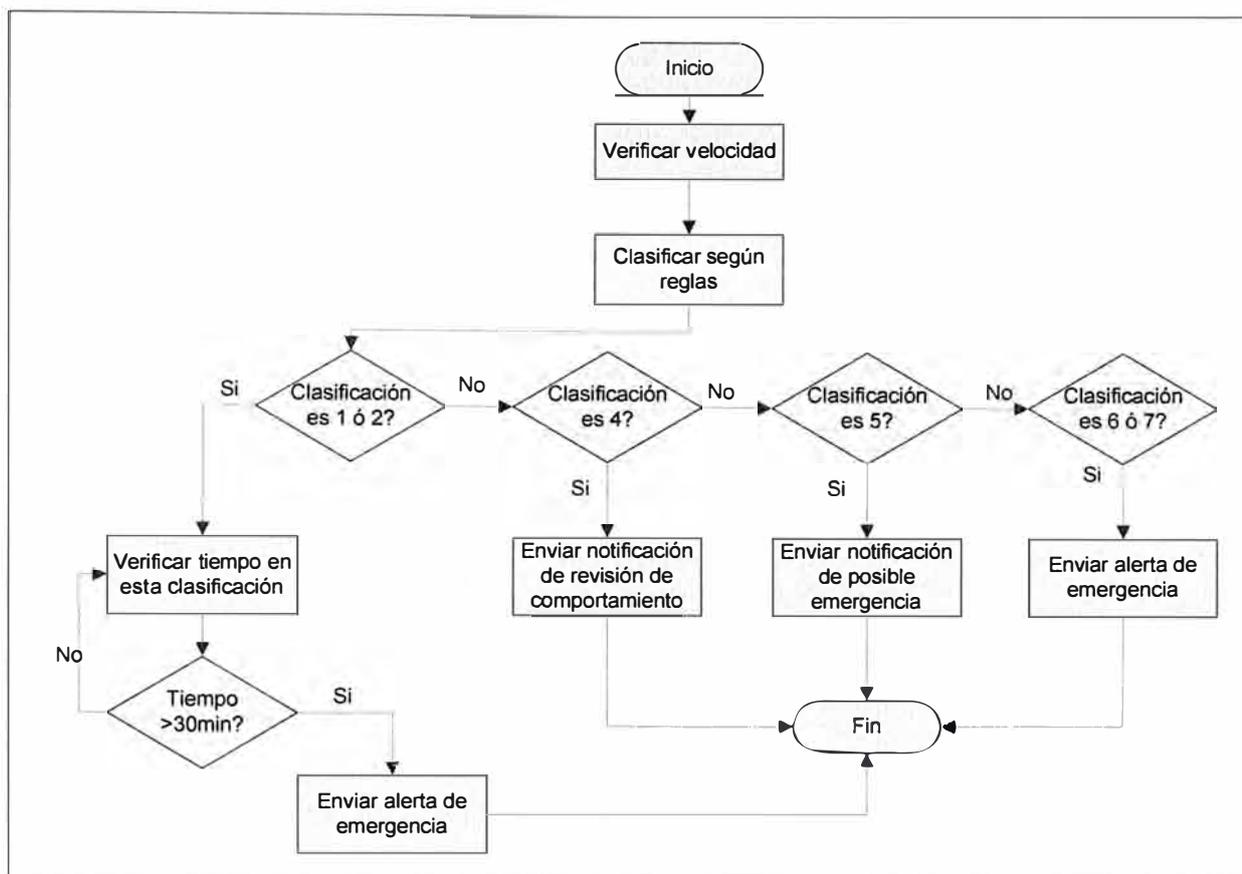
**Tabla 3.9** Clasificación del comportamiento en base a la velocidad (Fuente: Elaboración propia)

Velocidad (Km/h)	Estado o Comportamiento	Clasificación
0.00 - 0.50	Inactivo-Pasivo	1
0.51 – 1.50	Movimientos Leves	2
1.51 – 3.50	Normal	3
3.51 – 5.00	Ligeramente rápido	4
5.10 – 9.00	Rápido	5
9.01 – 30.00	Muy rápido	6
>30.10	Caso anormal	7

El fin de estas reglas, es aterrizar en el sistema, la configuración de un motor de alarmas automáticas de acuerdo al comportamiento establecido. El caso de uso obtener comportamiento debe ser constante para cada persona que ingrese en el área de prueba.

Obviamente se deben configurar acciones frente a un comportamiento específico. Por ejemplo, un operador que ingrese a la zona de subestaciones eléctricas en un día cotidiano (no de mantenimientos programados, cortes de energía u otro parecido), generalmente lo hace para realizar una supervisión rápida y hacer algunas anotaciones. Si este operador, ingresó a dicha zona y ha permanecido estático un tiempo excesivo, puede ser indicador de que probablemente le ha sucedido algo (en el peor de los casos) o que está haciendo tiempo ocioso dentro del área. La acción del sistema frente a esto sería, enviar una alarma de emergencia. En el otro extremo, si un operador tiene un comportamiento catalogado como muy rápido, también es probable que haya ocurrido alguna situación por el que debe correr. La acción a tomar por el sistema es clara, enviar una alerta de emergencia. Lo que se propone entonces, es que se añada una acción en base al tiempo y comportamiento del personal y se aterrice sobre el sistema de apoyo (iBOX). El fin es proporcionar un nivel de seguridad adicional a las operaciones que se realizan en este ambiente.

La figura 3.6 muestra el planteamiento del diagrama de flujo que debe configurarse en el middleware.



**Figura 3.6** Diagrama de flujos para las acciones a tomar de acuerdo a las clasificaciones propuestas (Fuente: Elaboración propia)

Para el tema de localización de las personas, como ya se mencionó, este es un módulo con el que ya cuenta el middleware escogido. La configuración pasa por trasladar el ambiente de prueba (plano) a su interfaz con las indicaciones de cada una de las antenas colocadas.

### c. Ejecución de pruebas pilotos

En esta actividad se deben realizar las pruebas del sistema en general. Debido a que esta actividad es dependiente de las anteriores, se entiende que ya se encuentra lista la instalación de la red RFID y su integración con el middleware. En ese sentido, se debe programar etiquetas con los datos necesarios y realizar las pruebas pilotos en el entorno escogido.

### 3.3 Recursos Humanos y equipamiento

Este punto está dedicado a la estimación del personal que se requiere para la implementación del sistema y el detalle técnico de los equipos que se debe usar. Obviamente, los recursos necesarios para la implementación variarán de acuerdo a la envergadura del proyecto.

Para el caso en particular del presente informe, en la tabla 3.10 se muestra el personal que debe estar involucrado en la implementación de la solución en general.

**Tabla 3.10** Recursos humanos necesarios para la implementación de la solución  
(Fuente: Elaboración propia)

División	N°	Personal
Cuerpo de gestión	1	Gerente de Proyecto
	1	Supervisor de Proyecto
	1	Ingeniero especialista
Cuerpo técnico	1	Administrador de red
	1	Especialista en middleware
	1	Programador de base de datos
	2	Programadores de etiquetas
	3	Técnicos de cableado
	2	Técnicos para apoyo de despliegue

En lo que respecta al equipamiento necesario, en las siguientes tablas se da a conocer los equipos RFID y hardware asociado y sus especificaciones técnicas más relevantes.

La tabla 3.11 muestra la descripción de las antenas que se deben usar en la solución:

**Tabla 3.11** Especificaciones de las antenas requeridas para la solución (Fuente: Elaboración propia)

Equipo	Antena HG2408P-NF	Antena HG2458MGRD-RSP
Tipo	Direccional	Omnidireccional
Frecuencia	2400-2500 MHz	2400-2500 MHz
Ganancia	8 dBi	12 dBi
Ancho de onda Horizontal	75°	360°
Ancho de onda Vertical	65°	8°
Impedancia	50 Ohm	50 Ohm
Polarización	Horizontal o Vertical	Vertical
Max. ingreso de energía	300 Watts	50 Watts
Peso	2.0 Kg	1.8 Kg
Dimensiones	10.2 cm dia. x 2.5 cm	1.2m x 18 mm

Las tablas 3.12, 3.13 y 3.14 dan a conocer las especificaciones de las etiquetas y lector RFID que deben usarse para la implementación del proyecto.

**Tabla 3.12** Especificaciones del lector RFID (Fuente: Elaboración propia)

Componente	Lector de RFID Activo (SYRD245-1N)
Descripción	Este lector tiene un rango de lectura elevado, diseño compacto, antena acoplable
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz</li> <li>- Rango de frecuencia: 2,40 - 2,48 GHz</li> <li>- Canal: 255</li> <li>- Dirección: 65536 direcciones</li> <li>- RSSI: 0-255</li> <li>- LQI: 0-255</li> <li>- Rango de lectura: hasta 13 m. con la antena incluida</li> <li>- Programación: configurable a partir de comandos</li> <li>- Led: acción o estatus</li> </ul>
Interface	<ul style="list-style-type: none"> <li>- RS-232: RX, TX</li> <li>- RS-485: +,</li> <li>- Ethernet 10BASE-T/100BASE-TX</li> </ul>
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alimentación de entrada: 7,5 VDC - 28 VDC</li> <li>- Consumo de corriente: Máx. 500 mA @ 9 VDC</li> </ul>
Entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de funcionamiento: -20 °C a 65 °C</li> <li>- Humedad relativa de funcionamiento: 5% al 95%</li> <li>- Temperatura de almacenamiento: -30 °C a 85 °C</li> <li>- Humedad relativa de almacenamiento 5% al 95%</li> </ul>
Dimensiones	- Dimensiones: 42,7 x 55,3 x 6,24 mm

**Tabla 3.13** Especificaciones de las pulseras RFID activas (Fuente: Elaboración propia)

Componente	Pulsera RFID Activo (SYTAG245-TM)
Descripción	Para la localización de personas. Cuenta con botón de emergencia, 2 sensores para detectar T <sup>a</sup> corporal y T <sup>a</sup> ambiente (detección simultánea), visualización del consumo de la alimentación y duración de la batería y sistema

Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz</li> <li>- Rango de frecuencia: 2,40 - 2,48 GHz</li> <li>- Canal: 255</li> <li>- Dirección: 65536 direcciones</li> <li>- Wake on radio: ON / OFF</li> <li>- RSSI: 0-255 - ID: 64 bits</li> <li>- Programación: configurable a partir de comandos</li> <li>- Led: acción o estatus</li> <li>- Conmutación: configurada como tag activo, tag ON / OFF</li> <li>- Memoria: 4 kbytes - 32 kbytes ( opcional )</li> <li>- Sensor de luz: detecta la presencia o ausencia del tag</li> </ul>
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Batería: 3 VDC CR2032</li> <li>- Duración batería: 1 - 2 años</li> <li>- Consumo en reposo: 3 uA @ 3 VDC</li> <li>- Consumo en funcionamiento: 24 mA @ 3 VDC</li> </ul>
Entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de funcionamiento: -10 °C a 55 °C</li> <li>- Humedad relativa de funcionamiento: 5% al 95%</li> <li>- Temperatura de almacenamiento: -20 °C a 65 °C</li> <li>- Humedad relativa de almacenamiento 5% al 95%</li> </ul>
Dimensiones	- Dimensiones: 32,3 x 250 x 11,9 mm

**Tabla 3.14** Especificaciones de las etiquetas RFID activas (Fuente: Elaboración propia)

Componente	Etiqueta RFID Activo (SYTAG245-2C)
Descripción	Tag RFID de lectura desde larga distancia transmitiendo en frecuencias de microondas (2,45 GHz). Los tags serán identificados, localizados y trazados de manera cómoda, segura y fiable en cualquier sitio de su instalación.
Características	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Frecuencia de comunicación: 2,45 GHz</li> <li>- Rango de frecuencia: 2,40 ~ 2,48 GHz</li> <li>- Canal: 255</li> <li>- Dirección: 65536 direcciones</li> <li>- Wake on radio: ON / OFF</li> <li>- RSSI: 0-255</li> <li>- ID: 64 bits</li> <li>- Programación: configurable a partir de comandos</li> <li>- Led: acción o estatus</li> <li>- Conmutación: configurada como tag activo o tag ON/OFF</li> <li>- Memoria: 4 kbytes ~ 32 kbytes (opcional)</li> </ul>
Alimentación	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Batería: 3 VDC CR2032 x 1 o x 2</li> <li>- Consumo en reposo: 3 uA @ 3 VDC</li> <li>- Consumo en funcionamiento: 24 mA @ 3 VDC</li> </ul>
Entorno	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura de funcionamiento: -10 °C a 55 °C</li> <li>- Temperatura de almacenaje: -20 °C a 65 °C</li> <li>- Humedad relativa de funcionamiento y almacenaje: 5% a 95%</li> </ul>
Dimensiones	- Dimensiones: 86 x 54 x 3 mm

A continuación la tabla 3.15 muestra las especificaciones del servidor requerido para albergar el middleware respectivo. Este equipo puede variar de acuerdo a lo que el determinado cliente prefiera, o a su estándar de equipos y/o marcas dentro de su organización.

**Tabla 3.15** Especificaciones del servidor (Fuente: Elaboración propia)

Componente	Servidor HP ProLiant ML110 G6
Procesador	Intel® Xeon® 3400 series, Intel® Core™ i3
Velocidad	3.06 GHz
Memoria estándar	2 GB ó 4 GB
Memoria máxima	Hasta 16 GB
Disco soportado	SAS, SATA
Capacidad de disco	SAS: 1.8 TB (4 x 450 GB 3.5" SAS drives) SATA: 4.0 TB (4 x 1 TB 3.5" SATA drives)
Tarjeta gráfica	NVIDIA Quadro FX 580 NVIDIA Quadro FX 380
Red	NC107i Express Gigabit Ethernet Server Adapter

Finalmente, en la tabla 3.16 se puede observar las especificaciones del middleware sugerido.

**Tabla 3.16** Especificaciones del middleware iBOX (Fuente: Elaboración propia)

Componente	Middleware iBOX Wireless Network Manager
Descripción	iBox es una plataforma de software que permite automatizar los procesos relacionados con la gestión, el inventariado de activos, la localización de personas o activos basados en soluciones que usan la tecnología RFID
Funcionalidades	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Identificar de forma univoca activos</li> <li>- Localizar en tiempo real</li> <li>- Inventariar de forma ágil</li> <li>- Controlar el stock</li> <li>- Realizar búsquedas por referencia</li> <li>- Gestionar procesos de alta y baja así como el mantenimiento</li> </ul>
Plataforma	Windows Server - Linux
Licencia	Copy right

### 3.4 Cronograma del Proyecto

En este punto se muestra el cronograma para el proyecto presentado en este informe. Como se mencionó, en particular, se ha descrito y planteado la solución para la implementación en el área de control eléctrico de la empresa minera Corianta.

El cronograma mostrado a continuación corresponde al diagrama de Gantt del proyecto de implementación en dicha área de prueba. Obviamente, el desarrollo de un proyecto, con sus actividades y tiempos establecidos depende del alcance y la envergadura del mismo, por lo que será diferente en cada proyecto, así la solución sea la misma. En ese sentido, la idea del cronograma mostrado en la Figura 3.7 es establecer la base de los tiempos promedios para una implementación de este tipo, independiente de la fecha de inicio, así como las dependencias de las diferentes tareas y actividades en cada una de las fases del proyecto.

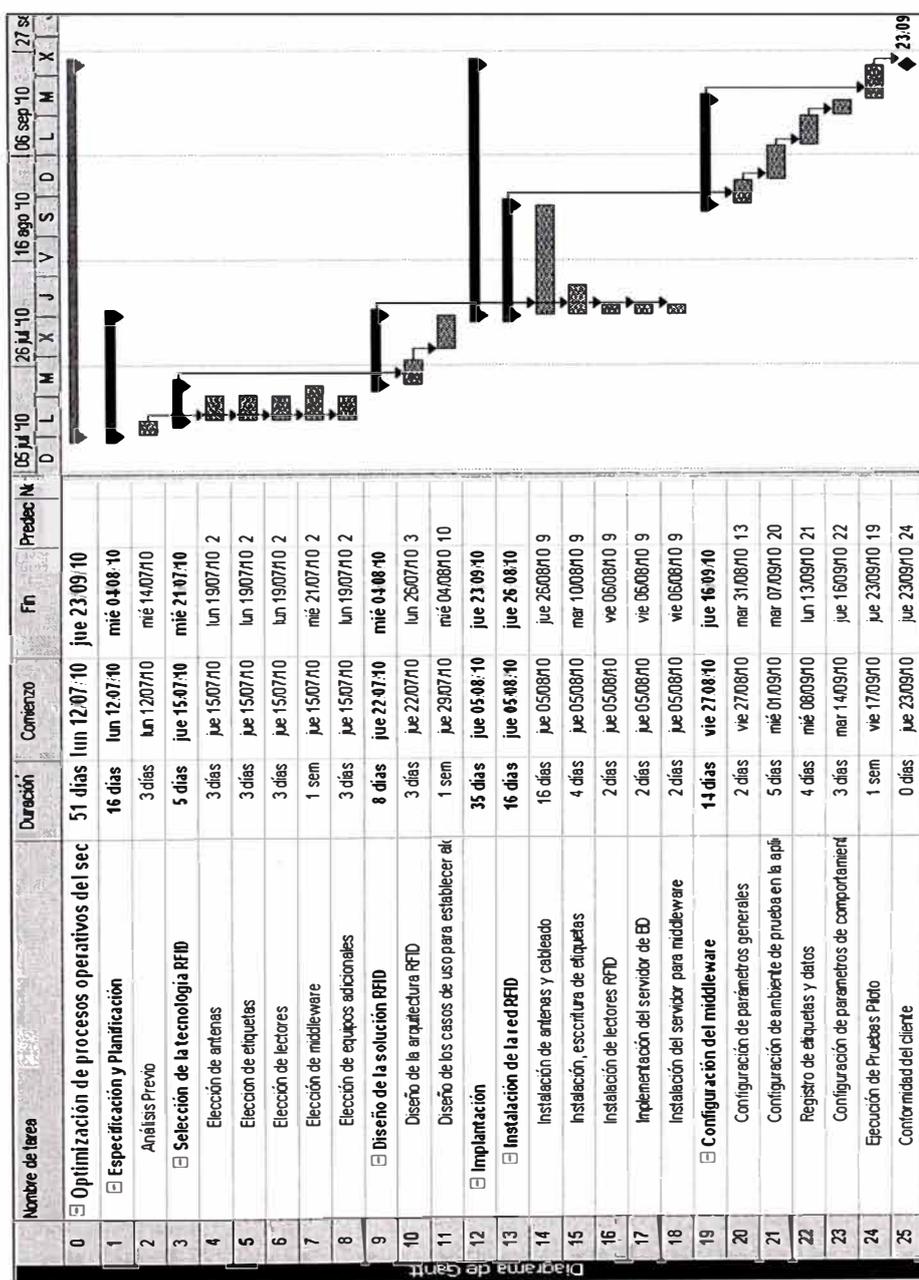


Figura 3.7 Diagrama de Gantt del Proyecto (Fuente: Elaboración propia)

## IV

### ANÁLISIS Y PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

En este capítulo se busca presentar los resultados más destacables del presente informe y el trabajo realizado, a través de una descripción detallada, realizada desde la perspectiva de un análisis FODA (fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas), dado que el presente informe busca brindar las ventajas y adecuación de la tecnología RFID en el sector minero y plantear una solución acorde, para su implementación posterior. Siguiendo el mismo camino, se presentará el presupuesto básico para una implementación de este tipo.

#### 4.1 Análisis descriptivo mediante FODA

El análisis FODA, es una metodología que se emplea en el estudio de situaciones competitivas de una empresa o industria dentro de su mercado y de las características internas de la misma, con el objetivo de determinar sus fortalezas, oportunidades, debilidades y amenazas.

Tanto las fortalezas como las debilidades son internas a la empresa, mientras que las amenazas y oportunidades se presentan en el entorno externo de la misma. Por tal razón, este un análisis doble compuesto por dos perspectivas: interno (debilidades y fortalezas) y externo (amenazas y oportunidades).

Pese a que su definición inicial incluye a empresas a las cuales se les hace esta radiografía competitiva, el análisis FODA se puede aplicar a cualquier desarrollo de proyecto, sistema, solución o tarea con la pretensión de analizar y estudiar su viabilidad y eficacia.

A continuación se detallan cada uno de los puntos fuertes y débiles de la tecnología RFID y la solución planteada. En primer lugar, se realiza el análisis externo considerando las amenazas y oportunidades, y se concluye con el análisis interno que considera las debilidades y fortalezas.

##### 4.1.1 Análisis externo

Se detalla a continuación la descripción del análisis en base a las amenazas y oportunidades.

###### a. Amenazas

**Incertidumbre sobre la viabilidad económica:** como ya se comentó en el

presente informe, se puede hablar de costos relativos de la tecnología, dependiendo de la industria o empresa que los asume, no obstante, en general aún los costos asociados son altos para usarlos en todo tipo de aplicación en los que se adecue y en empresas de toda envergadura. A pesar de esto, por la masificación del uso que se le viene dando, todos los indicadores apuntan hacia una reducción de costos a niveles que serán económicamente aceptables para todo tipo de clientes.

- **Dependencia de la capacidad de proceso:** a medida que aumenta el tamaño del sistema, aumenta el requerimiento de equipamiento y soporte. Por tanto se requieren generalmente de mayores funcionalidades de hardware y software. Es posible el incremento de las especificaciones iniciales, por lo que siempre se debe tener en cuenta este punto para que se pueda estar preparado.

- **Dependencia de las comunicaciones:** como también se ha visto, la solución planteada basada en RFID requiere de comunicación con servidores de la red corporativa y de la infraestructura de red de comunicaciones instalada. Al estar los dispositivos de la tecnología en constante movimiento y generando datos en forma continua, requieren de alta disponibilidad y capacidad de comunicación con los servidores (en este caso, el servidor de base de datos). Este sistema es por tanto sensible a fallas en la red administrativa de comunicaciones.

- **Privacidad:** este es un tema bastante sensible de la tecnología RFID, quizás no aplicable al sistema planteado, debido a que la solución es interna, sin embargo existe un creciente movimiento que alerta sobre la vulneración de la privacidad en esta tecnología.

## **b. Oportunidades**

- **Beneficios directos:** con la solución planteada en base a la RFID, se busca beneficiar en forma directa al sector industrial minero, obteniendo un mayor control del personal, la reducción del riesgo de accidentes, el control de accesos de personas y activos. Con oportunidad de replicarse en distintas áreas en donde la seguridad sea una exigencia.

- **Beneficios indirectos:** al estar la RFID ubicada como una de las tecnologías de vanguardia, permite a la empresa que la adopta para sus necesidades, entrar en el círculo de las industrias tecnológicamente avanzadas.

- **Eficiencia en los procesos:** con un buen manejo de procesos de la solución y una adecuada gestión de los mismos, es posible optimizar muchos procesos operativos del sector industrial minero, en este caso, la seguridad del personal, el control de activos y personal de forma automatizada, obteniendo de ello un beneficio importante, además de eliminación de los tiempos ociosos, que suelen haber en ambientes grandes donde el control de los colaboradores se torna complejo. Esto financieramente significará ahorros

sustanciales a la empresa que lo adopta.

- **Seguimiento personalizado:** el conjunto de la solución planteada en este informe, provee realizar un seguimiento a cada activo o persona. Este hecho ofrece enormes posibilidades de aplicar la misma a otros procesos, no solo operativos, sino de logística y la cadena de suministros. La trazabilidad que se puede lograr en base a la RFID, es notoria y no la ofrece otra tecnología en la actualidad con tal grado de eficiencia y escalabilidad.

- **Monitorización y control en tiempo real:** esta es una de las oportunidades más relevantes de la solución, pues la capacidad de registrar y mantener al sistema puntualmente informado, incluso mantener al tanto de los administradores sobre hechos relevantes o de importancia, le provee de gran funcionalidad.

#### 4.1.2 Análisis interno

Considerando el análisis interno, se detalla a continuación las debilidades y fortalezas que presenta la tecnología y la solución basada en la misma.

##### a. Debilidades

- **Elevado costo del fungible o consumible:** nuevamente este es uno de los puntos más débiles de la tecnología y que a su vez, como ya se revisó representa una amenaza. Lo cierto es que el coste de la implementación de la tecnología RFID es similar o poco superior al de otras tecnologías que pueden usarse para lograr soluciones del tipo planteado. El costo en donde se encuentra la diferencia es en los bienes fungibles o consumibles, refiriéndose a las etiquetas RFID pasivas o activas, de acuerdo a cada caso, las cuales deben utilizarse a razón de una por cada producto, activo o persona que se desee controlar. Las etiquetas actuales tienen un rango de costos bastante amplio, sin embargo las necesidades cada vez complejas, exigen etiquetas de costos más elevados, haciéndolas incluso prohibitivas para determinadas soluciones.

- **Ausencia de estándar único:** actualmente, como se revisó en la fundamentación del presente trabajo, existen varios grupos de especificaciones que compiten por marcar la pauta, por ejemplo ISO y EPC global, sin embargo no se ha llegado a establecer un formato estándar único que opere con la tecnología.

- **La efectividad de la tecnología no es del 100%:** la RFID como tecnología, no está totalmente depurada, por lo que en muchas ocasiones las lecturas de las etiquetas no son totalmente efectivas, encontrando ciertos inconvenientes en etiquetas rodeadas de líquidos y metales. No obstante, los fabricantes avanzan a paso ligero para subsanar estas deficiencias, por lo que se hace previsible que solamente es cuestión de tiempo.

##### b. Fortalezas

- **Automatización de los procesos operativos:** la tecnología RFID es muy

importante al momento de automatizar el proceso de control de personas y activos, desde los registros de ingresos y salidas al ambiente establecido, la capacidad de localización, hasta la toma de decisiones en base a ciertos comportamientos. Provee de una herramienta que puede ser muy apreciada en el sector minero, pues sus operaciones generalmente son de alta delicadeza y riesgo.

**Escalabilidad:** La tecnología RFID y particularmente la solución planteada tiene a su favor una fortaleza bien definida, se trata del nivel de escalabilidad que ofrece para adecuarlas a diversas aplicaciones, desde la identificación (para lo cual fue originada) hasta la trazabilidad y localización.

**Compatibilidad con otras tecnologías:** No ha sido el caso de la solución planteada, pero de acuerdo a la revisión de casos de éxito, la RFID se puede acoplar fácilmente a otras tecnologías instaladas, como Wifi o ZigBee.

**Seguimiento en tiempo real:** la aplicación de la RFID con un middleware determinado, como el de la solución planteada, permite tener información en tiempo real de las personas y activos que ingresan el área de prueba, incluso, dependiendo de las etiquetas desplegadas, se puede conocer datos como la temperatura de cada uno de ellos.

**Aporte de seguridad adicional:** la solución basada en RFID, aporta adicionalmente con la capacidad de ser configurado con clasificaciones un nivel mayor de seguridad, colaborando con el cumplimiento eficiente de los estándares de seguridad exigidos en la industria minera.



**Figura 4.1** Resultados en base a análisis FODA (Fuente: Elaboración propia)

La figura 4.1 anterior muestra un esquema resumido del análisis realizado y que representa la matriz FODA del sistema planteado basado en la tecnología RFID.

## 4.2 Presupuesto

En este punto se presenta el análisis de costos de la solución planteada en el capítulo 3. Implícitamente, lo que se busca con este punto es que se tenga una idea de la inversión necesaria para una implementación de este tipo. Obviamente los costos están estrechamente ligados al alcance de cada proyecto, de acuerdo a su envergadura.

En la tabla 4.1 se muestra el presupuesto total que se debe invertir si se decide desplegar la solución planteada en el presente informe. Puntualmente para este caso, las personas que laboran en el área de prueba son en total 23, entre operadores, obreros y empleados. Por otro lado, los activos que se desean controlar y monitorear son 44.

**Tabla 4.1** Presupuesto aproximado para la solución planteada (Fuente: Elaboración propia)

Qty	Descripción	Marca	Modelo	Part Number	P.U	P.T
<b>Equipamiento</b>						
12	Antenas RFID de 2.4 GHz	Hyperlink	---	HG2408P-NF	41.52	498.24
4	Antenas RFID de 2.4 GHz	Hyperlink	---	HG2458MGRD-RSP	119.00	476.00
23	Tags RFID Activa de Pulsera	Syris	SYTAG245	55SYTAG245-TM	136.40	3137.20
44	Etiquetas de RFID activo	Syris	SYTAG245	55SYTAG245-2C	61.40	2701.60
2	Lector RFID activo	Syris	SYRD245	55SYRD245-1N	881.34	1762.68
1	Servidor HP Bussines Case	HP	Proliant	ML110G6	2760.00	2760.00
1	Middleware iBOX Network Wireless Manager	AT4	---		9550.00	9550.00
Subtotal Equipamiento						20885.72
<b>Servicios</b>						
1	Instalación de cableado				2400.00	2400.00
1	Despliegue RFID				600.00	600.00
1	Configuración de middleware				900.00	900.00
Subtotal Servicios						3900.00
					<b>Total US\$</b>	<b>24785.72</b>
					<b>IGV (18%)</b>	<b>4461.43</b>
					<b>Total general (US\$)</b>	<b>29247.15</b>

Como puede verse en el presupuesto realizado, el costo de la implementación, tiene su punto más fuerte de variación en las etiquetas RFID. Mientras mayor sea el número de etiquetas requeridas, la inversión necesaria será mucho mayor. Esto refleja numéricamente parte del análisis hecho en el punto anterior.

## CONCLUSIONES

De acuerdo a lo desarrollado en el presente informe se pueden mencionar las siguientes conclusiones a las que se ha llegado:

1. A lo largo de los capítulos realizados en este informe, se ha visto como la tecnología RFID se puede adecuar con éxito a entornos en donde la necesidad de automatización de los procesos, es un requerimiento de primera línea e incluso catalogados como urgentes y vitales. Las ventajas que ofrece la tecnología son bastante visibles y aprovechables. En particular, se puede deducir y concluir que en el sector industrial minero, puede aportar satisfactoriamente a diversos procesos de su operación, no sólo de localización y control de personas y activos, sino también de trazabilidad, gestión de stocks, materia prima, insumos, etc. de toda la cadena de operación, suministros y producción. La enorme capacidad de adaptación de la tecnología y su alta escalabilidad, puede proveer beneficios bien definidos en este sector, con aportes económicos a corto y mediano plazo de acuerdo al tipo de implementación y aplicación.
2. La tecnología RFID es en la actualidad una de las más emergentes para aplicaciones de localización y ubicuidad de personas. El análisis de las diferentes tecnologías que permiten realizar dicha operación y que se realizó en el capítulo 3, indica que la RFID se encuentra un escalón por encima de las demás. No obstante, se puede concluir que la RFID no eliminará las otras tecnologías de ubicación, sino que la tendencia será a integrarse con algunas de ellas, como por ejemplo ZigBee, para que la eficiencia de las soluciones y el rango de aplicabilidad sea aún mucho mayor.
3. El sector industrial minero es uno de las industrias más importantes de nuestro país, no cabe duda del gran poder de inversión que puede manejar y tampoco cabe duda de las diversas necesidades que tiene su entorno. La seguridad del personal es un tema muy delicado, de amplio cuidado y una de las muchas necesidades que tiene. La solución planteada a través del detalle de las fases de su despliegue, es un aporte significativo para cubrir dicha deficiencia y es un apoyo importante a áreas como las de seguridad y medio ambiente, recursos humanos e incluso el área de logística. En lo que respecta a seguridad, por ejemplo, la capacidad de la solución, de ubicar a un operador, obtener y clasificar su comportamiento, es vital para mitigar riesgos de accidentes de cualquier

jerarquía. Por su lado, este mismo hecho de poder controlar ciertos comportamientos de los colaboradores en el área de prueba, hace que su trabajo sea mucho más eficiente, eliminando los tiempos ociosos que impactan negativamente en la productividad y por ende en la economía de la empresa. En ese sentido, es correcto concluir que la solución basada en la tecnología RFID cubre satisfactoriamente la necesidad planteada y otorga adicionalmente muchas otras funcionalidades aprovechables en un ambiente determinado del sector minero.

4. Es muy importante seleccionar un middleware adecuado, que se alinee a los requerimientos puntuales de cada necesidad.

5. Del análisis FODA realizado se pueden obtener diversas conclusiones. Es cierto que la tecnología RFID tiene muchas ventajas reflejadas en sus oportunidades y fortalezas, pero es cierto también que las debilidades y amenazas más determinantes van por el lado económico. Se puede afirmar que la tecnología RFID es aún relativamente cara para ciertas aplicaciones, pero principalmente para el tipo de empresa o industria que los asuma, incluso se puede hablar de costos prohibitivos para determinadas soluciones. Esto se produce debido a que el componente que más se utiliza en una implementación de este tipo, son las etiquetas, y debido a que cada vez las aplicaciones para que se los requieren demandan de los dispositivos más robustos, teniendo que necesariamente tomar la tecnología de mayor costo. Pese a esto, el nivel de masificación y grado de crecimiento de la RFID y sus elementos como conjunto, originará que los costos se vayan disminuyendo progresivamente, cayendo en la ley de la oferta y demanda y finalmente siendo muy accesible para cualquier organización. De acuerdo a lo comentado en este párrafo, se puede concluir que el horizonte es provisoria para la tecnología y la solución planteada, y las debilidades y amenazas se pueden mitigar, y en un futuro que no ha de ser muy distante, posiblemente se podrán eliminar.

6. Los presupuestos de la implementación de una solución basada en RFID, generalmente serán muy variables en relación a los costos y equipamientos. Tal y como se vio en el último capítulo, el presupuesto para la implementación de la solución planteada, está afecta a la variación de acuerdo al redimensionamiento del alcance. En conclusión toda solución basada en RFID principalmente estará económicamente atada a los componentes fungibles, es decir las etiquetas.

**ANEXO A  
MIDDLEWARE RFID**

En nuestro entorno actual existen diversos software que permiten la interconexión de los componentes de hardware RFID, con las aplicaciones y sistemas de gestión corporativa de las empresas donde se los implementan.

A dicho software se le conoce como middleware RFID. En el presente informe se revisó las especificaciones de tres plataformas que trabajan con RFID y permiten realizar las operaciones necesarias para la localización y control de personas o activos.

A continuación se mencionan cada uno de ellos y se realiza una breve descripción de los mismos con la finalidad que se conozcan un poco más de sus funcionalidades y prestaciones que pueden ofrecer al aplicarlas en necesidades concretas.

### **Ekahau**

La empresa Ekahau, Inc. es líder de la industria en implantación de redes Wi-Fi y actualmente también ha incursionado en la RFID.

Permiten incorporar un sistema de localización, y por ello entre sus clientes se encuentran importantes empresas de todo el mundo. El sistema que ha desarrollado, llamado Ekahau Positioning Engine, es el primer sistema comercial cuyo método de localización es íntegramente software, al usar para este fin la RSS (potencia de señal recibida) de los puntos de acceso de interés, y por esta razón su método de localización es similar al empleado en este proyecto.

Las personas a localizarse llevan unas etiquetas Wi Fi o etiquetas RFID, de acuerdo al caso, que son las que reciben los beacons de los puntos de acceso de interés. La forma de calibración es totalmente experimental, usando muestras de la RSS en cada localización de interés, las cuales se toman dividiendo la planta en una cuadrícula en lugar de dividirla por localizaciones de interés.

Esto tiene la ventaja de que los errores de estimación del sistema se podrán caracterizar de forma absoluta. La precisión de la estimación de la localización, según la página web del fabricante, es de 1 metro, la cual es muy aceptable para aplicaciones en las que se requiera localizar o ubicar cierto objeto o individuo.

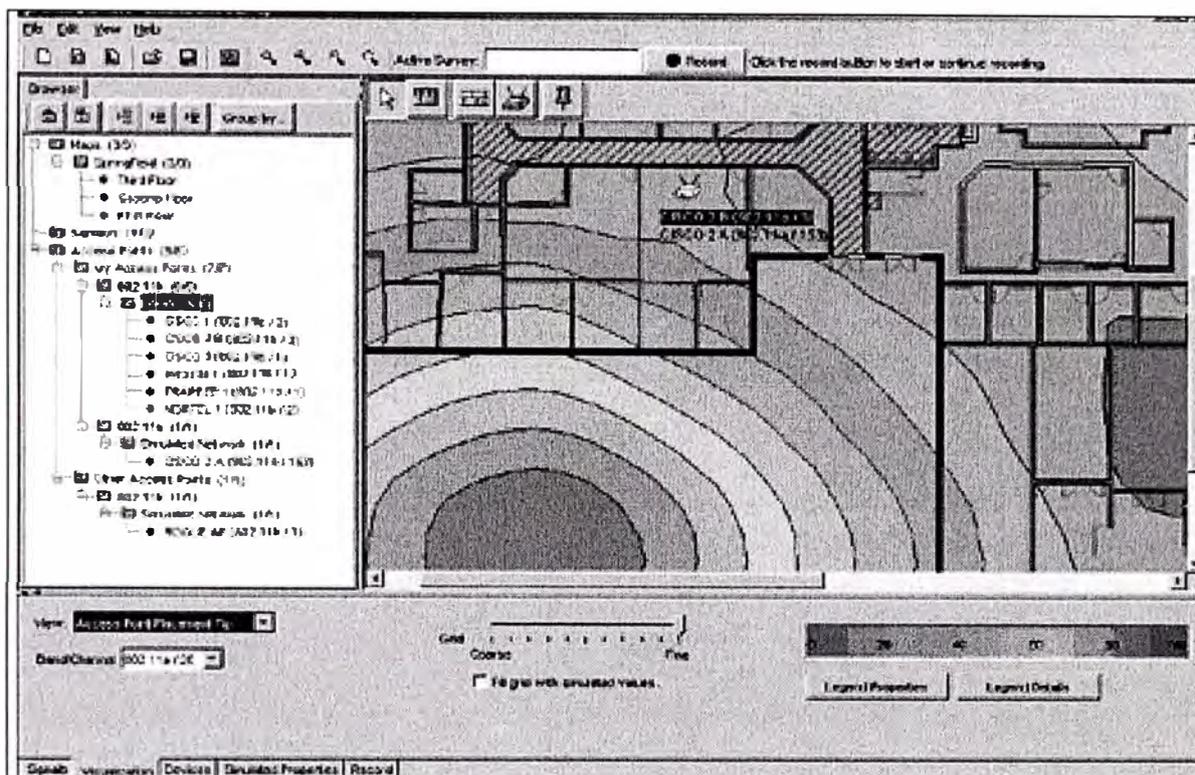
Sus aplicaciones cubren un gran rango, comenzando por localización de personal en hospitales hasta aplicaciones de control de acceso.

Al ser un sistema comercial no se especifica cuál es exactamente el algoritmo que permite la localización, pero su sistema permite lo siguiente:

Localización física (medida en coordenadas de longitud)

Mayor precisión en la localización,

La figura A.1 a continuación muestra un pantallazo del sistema cuando realiza una predicción de potencia recibida.



**Figura A.1** Predicción de potencia recibida según el sistema Ekahau (Fuente: [www.ekahau.com](http://www.ekahau.com))

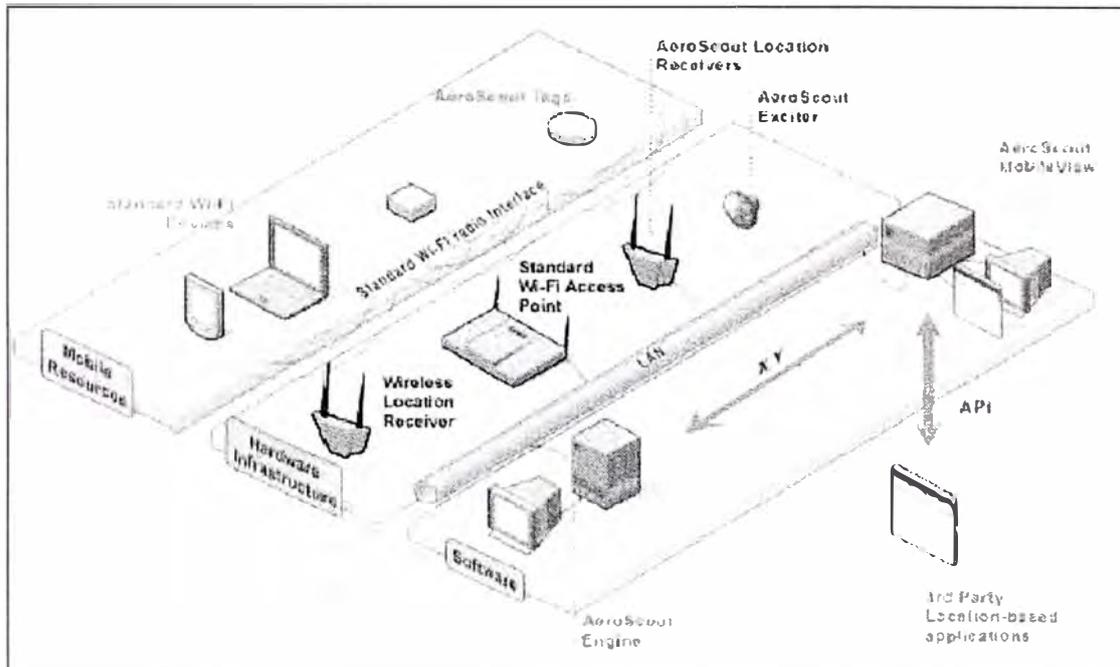
### AeroScout

El Sistema AeroScout es un Sistema de Localización tanto para interiores como para exteriores basado en Wi-Fi y en RFID, que usa las técnicas DToA (Diferencial del tiempo de llegada) y RSS para la localización, y por eso es uno de los Sistemas de Localización más avanzados tecnológicamente hablando. En la Figura 16 se observan los distintos dispositivos de que consta AeroScout, y el funcionamiento es como sigue:

1. Las etiquetas RFID de AeroScout o los terminales móviles que se quieren localizar emiten periódicamente una señal.
2. Los puntos de acceso o receptores de localización AeroScout reciben la señal emitida y la envían al motor de procesamiento de AeroScout.
3. El motor de procesamiento usa métodos de tiempo de llegada o de potencia de señal recibida para determinar la situación del TM o de la etiqueta RFID emisora.
4. Por último, se indica la posición de manera gráfica para que el usuario la conozca.

La principal ventaja de este Sistema de Localización es que, al usar más de una tecnología, su aplicabilidad es mucho mayor que los sistemas de localización tradicionales.

La figura A.2 a continuación muestra un esquema del principio del sistema de localización de AeroScout.



**Figura A.2** Sistema de localización con AeroScout (Fuente: [www.aeroscout.com](http://www.aeroscout.com))

### **iBOX Wireless Network Manager**

iBox es un conjunto de soluciones basadas en dispositivos RFID (Identificación por RadioFrecuencia) y en una plataforma software que permite automatizar los procesos relacionados con la gestión y el inventariado de activos. No obstante, permite integrarse con diferentes componentes RFID de diversos fabricantes, a diferencia de Ekahau y AeroScout que implementan la solución completa, tanto el middleware como los dispositivos RFID.

La técnica de localización usada por este sistema es basado en RSS al igual que Ekahau y AeroScout.

Entre las principales funcionalidades con la que cuenta este middleware se tiene lo siguiente:

- Identificar de forma unívoca activos
- Realizar el control de accesos de personas o activos
- Localizar en tiempo real
- Inventariar de forma automática y rápida
- Controlar stocks
- Realizar búsquedas por referencias
- Gestionar procesos de alta y baja complejidad, así como el mantenimiento del sistema.

Interconexión con las aplicaciones corporativas

Adicionalmente cuenta con una plataforma de gestión y control con un valor agregado. Esta plataforma permite entre otras cosas:

- Facilita la integración con diferentes protocolos de comunicaciones para integrar otros componentes de la red
- Integración con herramientas de gestión existentes como ERP y SCM
- Compatible con diferentes sistemas operativos, tanto Linux como Windows
- Plataforma compatible con diversos hardware RFID.
- Plataforma escalable, puede implementarse desde un único servidor o con varios.

## BIBLIOGRAFÍA

1. Roy Want, "RFID Explained: A Primer on Radio Frequency Identification Technologies ", Morgan & Claypool - USA, 2006.
2. Judith M. Myerson, "RFID in the Supply Chain. A Guide to Selection and Implementation", Auerbach Publications – New York, 2007.
3. Javier Portillo, Ana Belen Bermejo, Ana M. Bernardos, "Tecnología de identificación por radiofrecuencia (RFID): Aplicaciones en el ámbito de la salud", Fundación madri+d para el Conocimiento – Madrid, 2008.
4. Klaus Finkenzeller, "Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification", John Wiley & Sons – USA, 2003
5. Gabriel Chavira, Salvador W. Nava, "Localización e Identificación: Una combinación RFID-NFC", Universidad Autonoma de Tamaulipas – Tampico, México, 2008
6. Verenice Ruiz, Eduardo Sandoval, "Análisis de la tecnología RFID: Ventajas y Limitaciones", Instituto Politécnico Nacional – México D.F., 2007.
7. Juan Vejar, Raúl Peralta, "Estudio comparativo de la tecnología RFID vs. Tecnologías móviles", Instituto profesional CIISA – Santiago de Chile, 2009.
8. Carlos Collao Vilches, "Sistema de soporte para control de inventarios mediante RFD", Tesis de grado, Universidad de Chile – Santiago de Chile, 2008.
9. Alberto Rodríguez Hernández, "Análisis y descripción de identificación por radiofrecuencia: Tecnología, aplicaciones, seguridad y privacidad", Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional – México D.F., 2009
10. Viridiana Hernández Herrera, Moisés Márquez Olivera, "Tecnología de identificación por radiofrecuencia RFID", Tesis de grado, Instituto Politécnico Nacional – Mexico D.F., 2009.
11. José Miguel Jiménez Cartuche, "Control y localización de niños mediante el uso de tecnología RFID y técnicas de atención visual", Tesis de grado, Universidad Técnica Particular de Loja - Ecuador, 2008.
12. Clive Wilmans, "Paper: Applying active RFID in mining", Core System Integration - USA, 2008.

13. Enrique Vázquez, Carmen Sánchez, "Sistemas Nacionales de Identificación Electrónica en el entorno europeo y norteamericano". Universidad Politécnica de Madrid – España, 2008
14. Víctor Acevedo Duran, Alejandro García Sandoval, Juan Sandino Ariza, "Sistema de registro y control de la salida de elementos mediante tecnología RFID", Trabajo de grado, Pontificia Universidad Javeriana – Bogotá, 2004.
15. J. Hallberg, M. Nilsson, K. Synnes, "Bluetooth Positioning", San Diego, California – USA, 2003
16. Daniel Wierna, "IBM y la gestión eficiente en operaciones mineras", IBM Global Business Services – Buenos Aires, Argentina, 2008.