

Monitoreo de Inventario en Tiempo Real utilizando RFID

Nora González¹, Alberto Capli¹, M.Sc. Claudio Barúa¹, D.Sc. Cynthia Villalba¹

Resumen

Actualmente, muchas organizaciones comprometen grandes inversiones en sistemas de información que apoyan la toma de decisiones para la gestión de inventarios. Sin embargo, si los datos recogidos de los procesos manuales utilizados para alimentar estos sistemas son inexactos, el inventario tendrá incongruencias y el impacto sobre el rendimiento organizacional será severo. Los Sistemas de Monitoreo de Inventario en Tiempo Real (SMTR) surgen como una posible solución al problema de inventario, permitiendo obtener el registro automatizado de los productos o bienes y realizar un seguimiento constante de los mismos dentro de un área específica monitoreada. Este trabajo analiza la aplicabilidad de la tecnología *Radio Frequency Identification* (RFID) en los SMTR, con este propósito se presenta una revisión bibliográfica del estado del arte del tema y se describe el SMTR con RFID para un escenario específico “Hospital de Clínicas”, un hospital escuela de Paraguay.

Palabras Claves

RFID, RTLS, SMTR, monitoreo en tiempo real, control de inventario, localización de inventario.

Abstract

Currently, many organizations assume large investments in decision support systems to improve the performance of their stock management. However, if the data collected from manual processes are inaccurate and they are used as an input data for this kind of systems, the stock will have inconsistencies that introduce severe impacts in the organizational performance. Real-Time Locating Systems (RTLS) emerge as a solution to the stock problem, in order to track the position of the products and obtain the real-time stock in a given monitored area. This work analyzes the applicability of the use of Radio Frequency Identification (RFID) in RTLS. For this purpose we present a review of the state of the art in this field and we describe the RTLS with RFID for a specific scenario: “*Hospital de Clínicas*”, a university hospital from Paraguay.

Keywords

RFID, RTLS, stock management, locating systems.

1 Introducción

El control de los activos o bienes es de gran importancia para cualquier compañía ya que permite minimizar los errores cometidos en los registros, evitar robos y extravíos o detectar deterioros. Estos errores producen inexactitudes en el inventario ya que las cantidades en el sistema de información no están en correspondencia con las cantidades

¹ Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción.

físicas disponibles en el área vigilada. La inexactitud del inventario es un elemento determinante para el desarrollo de cualquier empresa, puesto que el control y monitoreo inadecuado del inventario ocasiona grandes pérdidas a las compañías, además de una administración ineficiente de los recursos y un tiempo de respuesta lento (COLLAO, 2008). La obtención del inventario exacto, de manera eficiente, sigue siendo un desafío. La investigación realizada por Kang y Gershwin muestra que la precisión global del inventario es de 51% (KANG Y GERSHWIN, 2005).

Una posible solución al problema del inventario son los SMTR (Sistema de Monitoreo en Tiempo Real o *Real-Time Locating System*, RTLS) (REKIK, 2006). Este sistema se utiliza para rastrear y localizar objetos en tiempo real empleando etiquetas que se adhieren a los mismos, y dispositivos lectores que reciben la señal inalámbrica de dichas etiquetas, permitiendo calcular la posición de los objetos (PORTILLO et al., 2007). El SMTR puede implementarse con distintas tecnologías como por ejemplo: infrarrojos, Wi-Fi, RFID, ultrasonidos, entre otros.

Este trabajo analiza la aplicabilidad de la tecnología RFID en los SMTR, partiendo de una revisión bibliográfica del estado del arte del tema y utilizando como caso de estudio particular al Hospital de Clínicas (HC). Con la implementación del SMTR en el HC se espera: contrarrestar el problema de inexactitud de inventario y ayudar a la gestión hospitalaria a través de la localización de los equipos médicos.

El resto del artículo está organizado como sigue: en la segunda sección se presentan los aspectos técnicos del sistema RFID y sus principales aplicaciones; en la tercera sección se describe al SMTR utilizando RFID; en la cuarta sección se analizan los resultados a partir de un caso de estudio específico; y en la última sección se dan algunas consideraciones finales.

2 Tecnología RFID

RFID es un término genérico para definir tecnologías que emplean ondas radiales para identificar de manera automática a personas u objetos. Para ello, almacenan información de la persona u objeto en un microchip que anexado a una antena conforman el *tag* o etiqueta. La antena transmite la información a un lector y éste a su vez, la envía a computadoras para realizar el procesamiento (RFID JOURNAL, 2013).

2.1 Componentes de un Sistema RFID

Los Sistemas RFID constan de cuatro principales componentes: etiquetas, antenas, lectores y middleware (INTECO, 2010; TELETRÓNICA, 2013).

2.1.1 Etiquetas o *tags*. Su función principal es almacenar los datos y transmitirlos al lector. En su forma más básica, una etiqueta consta de un chip electrónico y una antena, encapsulados en un paquete, tal como una etiqueta de un embalaje que podría ser adherida a una caja. En general, el chip contiene una memoria de lectura o lectura/escritura, además de otros circuitos importantes. Algunas etiquetas también contienen baterías, y esto es lo que diferencia a las etiquetas activas de las pasivas (HUNT et al., 2007).

Tipos de Etiquetas RFID

Las etiquetas RFID se diferencian unas de otras de acuerdo al suministro de energía (FINKENZELLER, 2003; KHADDAR et al., 2011), a continuación se presentan las etiquetas RFID pasivas, activas y semipasivas, cada una con distintos sistemas de previsión de energía.

- **Etiquetas pasivas.** No tienen fuente de alimentación propia. La antena de la etiqueta permite recibir la energía electromagnética, gracias al campo generado por el lector. Esto implica que la energía emitida por el lector se utiliza para la transmisión de

datos desde el lector a la etiqueta y de vuelta al lector. Si la etiqueta se encuentra fuera del alcance del lector, no tendrá ninguna fuente de alimentación, por lo tanto, no será capaz de enviar señal alguna.

- **Etiquetas activas.** Tienen su propia fuente de alimentación, la cual se utiliza para proporcionar voltaje al chip, por lo tanto, ya no es necesario el campo magnético recibido del lector para la fuente de alimentación del chip. Esto significa que el campo puede ser mucho más débil que el campo requerido para el funcionamiento de una etiqueta pasiva. Esta condición puede aumentar sustancialmente el alcance de la comunicación, si la etiqueta es capaz de detectar una señal más débil enviada del lector. En (HENRY, 2008) se menciona que los RFID activos pueden ser construidos para operar en una o varias bandas de frecuencia, en donde algunos de ellos pueden funcionar en la banda 2.4 GHz y pueden utilizar el protocolo 802.11 para ser detectado por la infraestructura inalámbrica, a menudo a éstas etiquetas se les llama etiquetas RFID Wi-Fi (HEIDARI Y PAHLAVAN, 2008; EKAHAU PAPER, 2013; AEROSCOOUT, 2013; MONTENEGRO, 2007; MUHAMMAD, 2007). Sin embargo, en otros artículos estas etiquetas son incluidas en grupos diferentes (CASAR, 2005; LEHPAMER, 2007; NI et al., 2004).

- **Etiquetas semipasivas.** Contienen una batería integrada que permite a las etiquetas realizar funciones tales como la vigilancia de las condiciones ambientales y alimentación de la electrónica interna de la etiqueta, sin embargo, para la transmisión de datos al lector se realiza de la misma manera que las etiquetas pasivas.

2.1.2 Antena. Es el componente encargado de la comunicación entre la etiqueta RFID y el lector, es el que transforma las corrientes eléctricas en ondas electromagnéticas y estas en corrientes oscilantes (GODÍNEZ, 2008). La antena puede estar integrada o conectada de forma externa al lector. Una o más antenas pueden ser conectadas a un lector, dependiendo de los requerimientos de cada aplicación (TELECTRÓNICA, 2013).

2.1.3 Lector. Es el dispositivo que permite enviar y recibir señales de las etiquetas, extrae la información recibida y se la pasa al subsistema de procesamiento de datos. Estas señales pueden transmitir energía dependiendo del tipo de etiqueta. Algunos lectores cuentan con un módulo programador que permite escribir información en las etiquetas (URBINA, 2011). Los lectores RFID están formados por: antena, transceptor (dispositivo que cuenta con un transmisor y un receptor) y decodificador (INTECO, 2010).

El lector puede ser una unidad, de mano o fija, que interroga a las etiquetas RFID cercanas y obtiene su número de identificación utilizando radio frecuencia (es decir, el proceso no requiere contacto físico). Cuando una etiqueta pasiva está dentro del alcance de un lector, la antena de la etiqueta absorbe la energía que está siendo emitida desde el lector; esto no se cumple en los RFID activos ya que los mismos poseen internamente una batería donde es almacenada la energía (WARD et al., 2006).

En caso de un sistema RFID Wi-Fi, el lector utilizado será un Punto de Acceso (AP), donde el Tag RFID Wi-Fi necesariamente debe conectarse al AP para el envío de la información, como se especifica en el estándar 802.11.

2.1.4 Middleware. En (KARYGIANNIS et al., 2007; LIARD, 2004) lo definen como un software que se encarga de preparar los datos recogidos de los lectores, para los sistemas que apoyan directamente los procesos de negocio. La funcionalidad principal del middleware es la recopilación de datos, la agregación, el filtrado y el enrutamiento, pero algunos productos permiten agregarle paquetes para facilitar la gestión de dispositivos, incluir reglas, lógicas y procesos de negocios; para facilitar las acciones y toma de decisiones aprovechando los datos RFID (LIARD, 2004).

Un componente adicional de los sistemas RFID es la **Impresora RFID**, también llamada impresora/codificadora RFID. La misma es un dispositivo que escribe datos predeterminados en las etiquetas mediante transmisión de radio frecuencia, también puede imprimir códigos de barras, textos y gráficos utilizando el proceso de impresión estándar (ZEBRA, 2011).

2.2 Frecuencias de Operación

Las etiquetas de RFID y los lectores funcionan en varias bandas de frecuencia. La mayoría de las frecuencias utilizadas son las que están en los rangos de frecuencia industrial, científica o médica (ISM)². Las frecuencias de RFID se dividen en los siguientes tres rangos básicos (AL-MOUSAWI, 2004):

- **Baja Frecuencia (LF).** Este rango opera entre 30 y 500 KHz. Sin embargo, 125-134 KHz es el rango más utilizado en el rastreo de animales, inmovilizadores de vehículos, seguimiento de activos, entre otros. Las etiquetas LF se utilizan comúnmente cuando hay líquidos, ruido eléctrico, o metales presentes y cuando no se requiere una velocidad de lectura rápida. La mayoría de los sistemas de baja frecuencia operan sin la

²Las bandas ISM son reservadas internacionalmente para uso no comercial de radiofrecuencia electromagnética en áreas industrial, científica y médica.

necesidad de batería integrada en las etiquetas, tienen rangos cortos de lectura, y costos del sistema más bajos.

- **Alta Frecuencia (HF).** Este rango opera entre 10 a 15 MHz, pero la frecuencia 13,56 MHz es la más utilizada, principalmente debido a la amplia adopción de tarjetas inteligentes basadas en la tecnología RFID. El costo de los sistemas de alta frecuencia es bajo, pero más alto que los sistemas de baja frecuencia, y las velocidades de lectura son más altas que los sistemas de LF.
- **Ultra Alta Frecuencia (UHF) y frecuencia de microondas.** Los sistemas de Ultra Alta Frecuencia operan entre 400 y 1000 MHz y las frecuencias de microondas entre 2.4 y 2.5 GHz. Estos sistemas son los más caros en comparación con los anteriores. Los etiqueta UHF son considerados como los más prácticos para el seguimiento a nivel de artículo, ya que ofrecen un buen equilibrio entre alcance y velocidad de lectura. A diferencia de los otros sistemas (LF y HF), son más sensibles a la alineación entre el lector y las etiquetas RFID. Los sistemas UHF tienen un rango de lectura muy largo, y se utilizan para aplicaciones tales como seguimiento de vehículos y cobro de peaje automatizado. Las bandas de frecuencias de microondas también son utilizadas por otros sistemas tales como: Sistemas Bluetooth y Wi-Fi. En la Tabla 1 se pueden observar las principales características de las distintas frecuencias utilizadas en los sistemas RFID.

Hasta el momento de la escritura del presente artículo, la Comisión Nacional de Telecomunicaciones (CONATEL) aún no ha reglamentado el uso de los sistemas RFID en Paraguay.

2.3 Aplicaciones

A nivel internacional se encontraron numerosas aplicaciones, proyectos e investigaciones que alientan el uso de la tecnología RFID en diversas tareas.

Para la gestión de inventarios se encuentran diferentes implementaciones (NIEDERMAN et al., 2007; BARDAKI et al., 2008; COLLAO, 2008). Entre las principales aplicaciones se encuentran: trazabilidad como seguimiento de unidades de empaquetado en la cadena de suministro de comestibles (GAJAMANI Y VARGHESE, 2007; KINOSHITA et al., 2005); identificación, utilizadas para la autenticación de personas, control de acceso, localización de personas entre otras, mencionadas en (KINOSHITA et al., 2005; WEINSTEIN, 2005); gestión de cobranza, donde se utilizan tarjetas RFID como billetes de transporte (BACHELDOR, 2013); telepeaje (SWEDBERG, 2004); detección de la actividad humana (SMITH et al, 2005); integración de dispositivos móviles y espacios interactivos (PERING et al., 2005); y en monitoreo (WEINSTEIN, 2005), el cual será analizado en profundidad en la Sección 3.

A nivel nacional existen algunas aplicaciones para el inventariado de productos, las mismas están en producción en el Instituto de Previsión Social (IPS), en el Ministerio de Educación y Cultura, en el Ministerio del Interior, en la Dirección de Contrataciones Públicas y en los sistemas desarrollados a empresas como compañías telefónicas, ensambladoras de piezas de motos, a la industria sojera, entre otros. Aplicaciones de trazabilidad se encuentran en el sector ganadero (GANADERA SOFIA, 2013; AGROMEAT, 2010) y en proyectos de grado como las mencionadas en (OVELAR, 2008; BRÍTEZ et al., 2011; LÓPEZ, 2011). En el área de identificación se encontraron algunos proyectos de grados: uno enfocado a un Sistema de Protección y Control para Bibliotecas (SISPANOV et al., 2005) y otro, enfocado al Diseño de un Módulo Controlador de Acceso con Tecnología RFID (TARELA, 2010). En el contexto de monitoreo, se encontró el proyecto de grado referente a Ubicuidad de Dispositivos Wi-Fi y Bluetooth Emulando Etiquetas RFID (GIBBONS et al., 2012).

3 Sistema de Monitoreo en Tiempo Real utilizando RFID

Los sistemas de monitoreo intentan resolver el problema de control de inventario, debido a que se utilizan para rastrear y localizar objetos en tiempo real. El SMTR emplea etiquetas que se adhieren a los mismos, y dispositivos lectores que reciben la señal inalámbrica de dichas etiquetas, permitiéndoles calcular su posición dentro del área monitoreada (PORTILLO et al., 2007). En este contexto, se define área monitoreada como la superficie física que se desea controlar, ya sea esta superficie un depósito, sala, piso, bloqueo, o un edificio en el cual se hallan los bienes que a su vez podrían ser activos fijos, productos comerciales o cualquier otro bien.

Esta investigación diferencia dos tipos de SMTR: sistema semiautomático, que se define como aquel que requiere de intervención humana e implica procesos manuales, tiempo de comunicación y tiempo de respuesta extra; en tanto un sistema automático se define como aquel que requiere de mínima intervención humana, la comunicación y el tiempo de respuesta son menores como resultado a la interacción proporcionada por sus componentes. Este proyecto se enfoca en los SMTR automáticos.

La capacidad de seguimiento de bienes que posee la tecnología RFID es sumamente útil. Permite localizar los bienes y reducir la posibilidad de extravío, también ayuda a los operadores a encontrar los elementos fuera de lugar. Los SMTR que utilizan tecnología RFID son una buena alternativa, debido a que permiten identificar los bienes con individualización, precisión y en tiempo real. Existen numerosos estudios y casos exitosos de implementación que sugieren el uso de sistemas RFID para el monitoreo en tiempo real (BARDAKI et al., 2008; COLLAO, 2008; NIEDERMAN et al., 2007; SONGINI, 2013; GAJAMANI Y VARGHESE, 2007; KINOSHITA et al., 2005; WEINSTEIN, 2005; BACHELDOR, 2013) por las ventajas que ofrece sobre otros sistemas y además, demuestran su efectividad en la gestión y monitoreo de inventario,

en la eliminación o disminución de errores en el registro de inventario, en la reducción de los procesos de inventario y en los costos laborales.

A continuación, se profundiza el estudio en los SMTR con RFID. Específicamente, se presentan una comparación funcional y técnica de los diferentes tipos de RFID en los SMTR. Luego, se presentan las principales áreas de aplicación de los SMTR.

3.1 Comparación funcional y técnica

Debido a la existencia de varias alternativas en los sistemas RFID, se realizó un análisis de las mismas, teniendo en cuenta criterios de funcionalidad requeridos para implementar un SMTR, factores a tenerse en cuenta en el diseño de Sistemas RFID y costos.

La Tabla 2 compara los diferentes tipos de RFID considerando las funcionalidades requeridas para implementar un SMTR. En la misma se puede observar que todos los tipos de RFID permiten la identificación única de bienes y no poseen limitaciones de línea de visión; los RFID Wi-Fi requieren mucha energía para su funcionamiento y los RFID pasivos poseen un radio de cobertura bajo pero cuentan con una mejor portabilidad y precisión en comparación con los RFID Activos.

La Tabla 3 resume las características técnicas que presentan los diferentes tipos de RFID por cada factor a tenerse en cuenta en el diseño de un Sistema RFID según GODÍNEZ (2008). Mientras la Tabla 4, entre otras cosas, presenta el costo unitario aproximado de los *tags* y lectores RFID.

De las Tablas 2, 3 y 4 se puede concluir que los RFID pasivos poseen un radio de cobertura de 6 m, lo que implica la utilización de una gran cantidad de lectores para un sistema SMTR, impactando directamente en el costo final del sistema. Haciendo una comparación entre los RFID Activos y RFID Wi-Fi, este último posee una ventaja sobre los RFID Activos debido a la diferencia de costo existente entre el lector RFID y el AP

(el costo será mejor evaluado en el caso de estudio). Además, el RFID Wi-Fi permite reutilizar la infraestructura de redes existente en la gran mayoría de las instituciones.

3.2 Aplicaciones

Las aplicaciones realizadas para monitoreo de bienes permiten seguir el movimiento de los objetos dentro de las instalaciones de una organización. En la literatura se hallaron numerosas aplicaciones de SMTR utilizando RFID. Entre ellas, se destacan las siguientes:

En la gestión de inventario (VIOLINO, 2005; VIOLINO, 2004; VIOLINO, 2003; RFID JOURNAL, 2003; SWEDBERG, 2012; BAUDIN Y RAO, 2005), en ambientes de construcción (ZHOU Y SHI, 2008; JASELSKIS Y EL-MISALAMI, 2003), en el área de salud (SWEDBERG, 2013; O'CONNOR, 2007; O'CONNOR, 2005; ZHOU Y SHI, 2008), en el ámbito policial (BACHELDOR, 2013), en la seguridad vial (TONG Y SEYED, 2007), en control de contenedores, en control del proceso de producción, en enrutamiento *Automated Guided Vehicles*, en la seguridad minera (ZHOU Y SHI, 2008), entre muchas otras.

A nivel nacional se encontraron varias aplicaciones semiautomáticas, como ya se había mencionado en la sección 2.3, orientados al control de entrada/salida de equipos, al registro de inventario y a la trazabilidad en la cadena de producción. Con respecto a los sistemas automáticos, no se encontraron antecedentes en nuestro país (ASUCOM, 2013; Newlogistic@, 2013).

4 Caso de Estudio

El escenario analizado para implementar un SMTR automático fue el del Hospital de Clínicas (HC). Específicamente, se desea monitorear en tiempo real los equipos médicos dentro de las dependencias de las instituciones clínicas, aumentando así la visibilidad de los mismos. Lo cual ayudaría a mejorar la calidad de atención de los

pacientes, agilizaría la prestación del servicio y permitiría una mejor administración de los recursos.

Con el fin de acotar el escenario a analizar, se seleccionó el segundo piso del edificio médico (Figura 1) ya que en la misma se encuentra concentrada la mayor cantidad de equipos médicos que se utiliza frecuentemente dentro del Hospital. La misma tiene una superficie total de 9.100 m², equivalente a 130 m x 70 m, dividida en 8 sectores: Centros Clínicos Médicos (CCM), Área Directiva, Área de Cátedra, Área de Diálisis, Banco de Sangre, totalizando 162 dependencias, además de las áreas de circulación correspondientes.

En la siguiente sección se definen los equipos RFID requeridos para la implementación del SMTR automático, y se discuten las posibles alternativas.

4.1 Sistema de Monitoreo en Tiempo Real del Hospital de Clínicas

Uno de los desafíos que presenta el HC es la búsqueda y seguimiento de equipos como: bombas de Infusión, desfibriladores, monitores de telemetría, camas bariátricas, sillas de ruedas, camillas, carro de paro, manómetro de oxígeno, estufa de esterilización, balanza mecánica, entre otros.

El monitoreo de estos equipos permitirá conocer su ubicación y disponibilidad, con lo cual se pretende: mejorar la eficiencia de distribución a través de las unidades de enfermería y otras áreas de atención, optimizar la utilización de los activos disponibles en el Hospital y mejorar la atención de los pacientes.

Las distintas alternativas de implementación de la tecnología RFID ofrecen beneficios que permiten alcanzar el objetivo principal, el cual consiste en llevar el registro de inventario y monitorear los bienes en tiempo real. A continuación, se realiza el planteamiento de cada sistema: pasivo, activo y activo Wi-Fi. En cada caso se detalla la cantidad de dispositivos requeridos de acuerdo a la distribución física de las

dependencias del Segundo Piso del Hospital de Clínicas, para posteriormente evaluar la viabilidad de los sistemas propuestos.

4.1.1 Sistema RFID Pasivo

Los sistemas RFID pasivos que operan en el rango UHF ofrecen un buen equilibrio entre alcance y velocidad de lectura (AL-MOUSAWI, 2004), pudiendo tener una cobertura en promedio de 6 m, como se señaló en la Tabla 3. Este valor se toma como dato para realizar los cálculos de la cantidad de dispositivos que serán necesarios para desplegar un SMTR sobre el escenario propuesto.

Considerando que la superficie a monitorear cuenta con un total de 162 dependencias, como se ha detallado en la sección anterior, y teniendo en cuenta las dimensiones de cada área, se requerirá 1 lector en cada una. De esta forma se precisarán 162 unidades de lectores para las dependencias mencionadas. A su vez, para cubrir las áreas de circulación correspondientes, se necesitarán 53 lectores. De esta manera, se estima que para lograr el objetivo de monitorear completamente el segundo piso del hospital se precisará un total de 215 unidades de lectores pasivos.

4.1.2 Sistema RFID Activo

Los sistemas RFID activos funcionan habitualmente en las frecuencias de 433 MHz y 2,4 GHz (AL-MOUSAWI, 2004). En comparación con las etiquetas pasivas, las etiquetas RFID activas permiten un radio de cobertura mayor, mejor inmunidad al ruido y tasas de transmisión más altas cuando se trabaja a alta frecuencia. Estas ventajas se traducen también en un costo mayor, por lo que se utilizan cuando los bienes a identificar lo justifican. Además, una ventaja adicional es que pueden usarse para gestionar otros dispositivos, como los sensores (CASAR, 2005). Estos permiten un control más específico como el uso de sensores de movimientos, de temperatura, de

humo, entre otros. Permiten un radio de cobertura en promedio de 30 m como se indicó en la Tabla 3. Este valor se toma como dato para realizar los cálculos de la cantidad de dispositivos que serán necesarios para desplegar un SMTR sobre el escenario propuesto. Debido a que el alcance de los dispositivos es mucho mayor que el de los equipos pasivos, permitiendo traspasar los materiales de las paredes, se analiza una ubicación estratégica para los mismos, de manera a optimizar la cantidad de equipos requeridos. Por esta razón se plantea colocar los lectores en las intersecciones de las áreas de circulación, que consiste en dos pasillos principales y dada las dimensiones del piso, ya mencionadas, se propone instalar 3 lectores en medio de cada pasillo principal, separados uno de otro aproximadamente por una distancia de 58 m en forma horizontal y 45 m en forma vertical, de esta manera cada lector proveerá una cobertura de 29 m y 22,5 m a cada lado respectivamente. Esta distribución permitirá monitorear desde dicha ubicación a todas las dependencias del piso y en total se precisarán 6 lectores activos.

4.1.3 Sistema RFID Activo Wi-Fi

Los sistemas RFID activos Wi-Fi trabajan en la frecuencia 2,4 GHz igual que los RFID Activos y por tanto presentan los mismos beneficios. Tienen un promedio de radio de cobertura de 30 m y además, como se indicó en la Tabla 3, permite utilizar la infraestructura WLAN existente en el edificio. Los sistemas que reutilizan la infraestructura Wi-Fi proporcionan un rendimiento equivalente a los que utilizan la infraestructura dedicada exclusivamente para el objetivo de monitoreo de un área. Debido a esto, la adquisición de equipos que funcionan en forma independiente afectará negativamente a los costos de retorno de inversión (EKAHAU, 2013).

El planteamiento del sistema RFID Activo Wi-Fi es el mismo que el propuesto para el Sistema RFID Activo, con la diferencia de que en lugar de lectores se requerirán puntos de acceso, los cuales se ubicarán de la misma forma presentada en el punto anterior,

esto es, se plantea colocar los AP en las intersecciones de las áreas de circulación, que consiste en dos pasillos principales y dada las dimensiones del piso, se propone instalar 3 puntos de acceso en medio de cada pasillo principal, separados uno de otro aproximadamente por una distancia de 58 m en forma horizontal y 45 m en forma vertical, de esta manera cada AP proveerá un radio de cobertura de 29 m y 22,5 m, respectivamente. Esta disposición permitirá monitorear todas las dependencias y áreas de circulación del segundo piso y en total se requerirán seis AP, los cuales forman parte de la infraestructura existente en el Hospital. En la Figura 2 se puede observar la distribución de los AP dentro de las instalaciones del segundo piso del Hospital.

4.2 Análisis de Costo de los Sistemas RFID

Como resultado de evaluación de costos de las tres alternativas (ver Tabla 4), se concluye que entre los Sistemas RFID Pasivo y RFID Activo, la etiqueta pasiva es de menor costo unitario y el lector tiene un costo aproximadamente igual en ambos sistemas, pero teniendo en cuenta las capacidades de alcance de cada uno (como se indicó en la Tabla 3) y la superficie total a cubrir, el costo final del sistema pasivo es ampliamente superior, ya que se requerirán cantidades significativamente mayores de equipos para tener una cobertura total del área. Por esta razón, se ha descartado la alternativa del Sistema RFID Pasivo para el SMTR.

Analizando las alternativas de los sistemas RFID activos (Activo y Activo sobre Wi-Fi), en la Tabla 4 se observa que el costo de la etiqueta es igual en ambos, sin embargo, el costo del lector activo es mayor que un AP, es decir, aunque la cantidad de dispositivos sea la misma, el costo final es superior para el Sistema RFID Activo. Debido a que para la implementación del Sistema RFID Wi-Fi se utilizará la infraestructura Wireless LAN del edificio (principalmente los AP, que desempeñarán la función del lector) se aprovecharán los recursos existentes y se evitarán costos relacionados, como por

ejemplo y el más importante, el costo de los lectores. Por estas razones se concluye que la mejor elección para la implementación del SMTR es el Sistema RFID Activo Wi-Fi.

4.3 Limitaciones de Aplicabilidad en el Escenario Propuesto

Según (NAJERA Y LÓPEZ, 2011), las radiaciones electromagnéticas producidas por el rango HF de la RFID no son perjudiciales debido a los niveles de potencia son menores de los límites de la norma del IEEE C.95-1-1991 (ANSI/IEEE, 2013), que se refiere a los niveles de exposición a los campos electromagnéticos que son considerados seguros para los seres humanos. Además, las interferencias con marcapasos e ICD (*Implantable Cardioverter Defibrillators*) no son factibles de acuerdo con la potencia de emisión utilizada. De todos modos, la Organización Mundial de la Salud (OMS, 2013) señala que se necesita más investigación sobre este tema.

Teniendo en cuenta lo expuesto anteriormente y dependiendo de la aplicación sanitaria específica donde se requiera implementar la tecnología RFID, se recomienda un estudio más detallado sobre las interferencias electromagnéticas en equipos y dispositivos médicos, así como los efectos de la energía de radiofrecuencia en el cuerpo humano.

5 Conclusión

Este trabajo presenta una revisión bibliográfica del estado del arte de los SMTR que usan RFID. La mayoría de los estudios y proyectos pilotos realizados muestran preferencia al uso de sistemas RFID sobre otros sistemas de control de inventario, detección y localización de bienes. Esto se debe al valor añadido que supone la facilidad y rapidez en la lectura y su mejor integración con los sistemas de información existentes, derivando todo esto en un ahorro de tiempo del personal dedicado a tareas fácilmente automatizables, así como la minimización de las pérdidas y de los errores. A nivel nacional, existen algunas aplicaciones de SMTR semiautomáticos. Sin embargo, no se identificaron aplicaciones de SMTR automáticos.

Se analizaron tres opciones de RFID (pasivo, activo y activo sobre Wi-Fi) para la implementar SMTR automáticos. Además, se incluyó un escenario específico de análisis: un SMTR automático de equipos médicos para el Hospital de Clínicas.

A partir de las comparaciones funcionales, técnicas y de costos se concluyó, de manera preliminar, que el RFID Activo sobre Wi-Fi es la mejor opción por ser la más económica y la única que reutiliza la infraestructura de comunicación ya existente. El RFID activo es una buena alternativa, pero tiene como desventaja que sus lectores son muy costosos. El RFID Pasivo, a pesar tener el costo unitario má bajo, fue descartado por ser de corto alcance (6 mts en promedio) y por lo tanto, requerir de varias unidades para cubrir la zona a monitorear. No obstante, para corroborar el análisis realizado, se requiere de evaluaciones empíricas con RFID.

6 Referencias

- AEROSCOUT. 2013. <http://www.aeroscout.com/wi-fi-rfid> Accedido en agosto de 2013 a las 16:50 horas.
- AGROMEAT. 2010. Ganadera Sofía controla sus vacunos con tecnología electrónica de punta. <http://www.agromeat.com/20145/paraguay%C2%A0-%C2%A0%C2%A0-ganadera-sofia-controla-sus-vacunos-con-tecnologia-electronica-de-punta>. Accedido en junio de 2013 a las 14:50 horas.
- AL-MOUSAWI, H. 2004. Performance and Reliability of Radio Frequency Identification (RFID). 107 p. Thesis (Masters in Information and Communication Technology) - Faculty of Engineering and Science, Agder University College.
- ANSI/IEEE, American National Standards Institute and the Institute of Electrical and Electronics Engineers. 2013. Standard for safety levels with respect to human exposure to radiofrequency electromagnetic fields. <http://www.electricwords.com/adey/adeyoverviewI.html>. Accedido en agosto de 2013 a las 16:30 horas.
- ASUCOM. Asunción Comunicaciones S.A. 2013. <http://www.asucom.com.py/movilidad-empresarial.php#promo1>. Accedido en junio de 2013 a las 14:30 horas.
- BACHELDOR, B. 2013. RFID News Roundup. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?10564>. RFIDJournal.
- BARDAKI, C.; KARAGIANNAKI, A.; PRAMATARI, K. 2008. A Systematic Approach for the Design of RFID Implementations in the Supply Chain. In Informatics, 2008. PCI '08. Panhellenic Conference on, pages 244 – 248.
- BAUDIN, M.; RAO, A. 2005. RFID applications in manufacturing, 12 p.

- BRÍTEZ, O.; ALDAMA, J.; GAMARRA, J. 2011. Sistema de Trazabilidad bovina con adquisición de datos mediante tecnologías inalámbricas. Tesis de Grado – Facultad Politécnica, Universidad Nacional de Asunción. 168 p.
- CASAR, J. 2005. Tecnologías y Servicios para la Sociedad de la Información. Consejo Social, Universidad Politécnica de Madrid. 278 p.
- COLLAO, C. 2008. Sistema de Soporte para Control de Inventarios Mediante RFID. Tesis de grado - Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile. 64 p.
- EKAHAU PAPER. 2013. Ekahau White paper: The ROI of Real-Time Location Systems and Active RFID in Healthcare. 12 p.
- EKAHAU. 2013. <http://www.ekahau.com/real-time-location-system/technology/how-rtls-works>, Accedido en junio de 2013 a las 15:00 horas.
- FINKENZELLER, K. 2003. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. 2 Editions. John Wiley & Sons, Inc. 499 p.
- GAJAMANI, G.K.; VARGHESE, K. 2007. Automated Project Schedule, Inventory Monitoring using RFID Proceedings of 24th International Symposium on Automation & Robotics in Construction (ISARC 2007), Construction Automation Group, IIT Madras, 48 – 53.
- GANADERA SOFÍA. 2013. <http://www.sofia.com.py/>. Accedido en junio de 2013, las 15:00 horas.
- GIBBONS, C.; PARRA, R. 2012. Ubicuidad de Dispositivos WiFi y Bluetooth emulando Etiquetas RFID. Tesis de Grado - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción. 110 p.
- GODÍNEZ, L. M. 2008. RFID Oportunidades y riesgos, su aplicación práctica. Alfaomega, Grupo Editor. 191 p.
- HEIDARI, M. AND PAHLAVAN, K., 2008. Performance evaluation of WiFi RFID localization technologies, in RFID Technology and Applications. Cambridge: 2008. Cambridge Books Online. 74-86 pp.
- HENRY, D. 2008. CCNP Wireless IUWMS Quick Reference. Cisco Systems, Inc. 100 pp.
- HUNT, V. D.; PUGLIA, A.; PUGLIA, M. 2007. RFID: A Guide to Radio Frequency Identification. Wiley-Interscience. 201 p.
- INTECO, Observatorio de la Seguridad de la Información. 2010. Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID. Technical report, Instituto Nacional de Tecnologías de las Comunicaciones – Agencia Española de Protección de Datos. 49 p.
- JASELSKIS, E.; EL-MISALAMI, T. 2003. Implementing Radio Frequency Identification in the Construction Process, 129.
- KANG, Y., GERSHWIN, S. 2005. Information Inaccuracy in Inventory Systems - Stock Loss and Stockout. Taylor and Francis Ltd. 17 p.
- KARYGIANNIS, T.; EYDT, B.; BARBER G.; BUNN, L.; PHILLIPS, T. 2007. Guidelines for Securing Radio Frequency Identification (RFID) Systems. Recommendations of the National Institute of Standards and Technology. National Institute of Standards and Technology. 154 p.

- KHADDAR, M.; BOULMALF, M.; HARROUD, H.; ELKOUTBI, M. 2011. RFID Middleware Design and Architecture. 23 p.
- KINOSHITA, S.; OHKUBO, M.; HOSHINO, F.; MOROHASHI, G., SHIONOIRI, O., KANAI, A. 2005. Privacy enhanced active RFID tag. In International Workshop on Exploiting Context Histories in Smart Environments.5 p.
- LEHPAMER, H. 2007. RFID Design Principles. Artech House, Inc. 281 p.
- LIARD M. J. 2004. Radio Frequency Identification (RFID) Middleware Solutions: Global Market Opportunity. Venture Development Corporation. 12 p.
- LÓPEZ, M. E. 2011. Utilización de la Tecnología RFID para Gestión de la Trazabilidad de Barriles de Choop en una Línea de Envasado. Tesis de Grado - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción. 107 p.
- MONTENEGRO, G., MARCHESIN, A. 2007. Sistema de Identificación por Radiofrecuencia (RFID). Comisión Nacional de Comunicaciones. 34 p
- MUHAMMAD , A. 2007. A Real-Time Laboratory Testbed for Evaluating Localization Performance of Wi-Fi RFID Technologies. Masters Thesis. Faculty of Worcester Polytechnic Institute. 100 p.
- NAJERA, P.; LÓPEZ, J. 2011. Real-time location and inpatient care systems based on passive RFID. J. Network and Computer Applications. 34(3): 980-989.
- NEW LOGISTIC@.2013. <http://www.newlogistica.com.py/>. Accedido en junio de 2013 a las 14:50 horas.
- NI, L., LIU, Y., LAU, Y., PATIL, A. P. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. Wirel. Netw., 10: 1- 6. 2004.
- NIEDERMAN, F.; MATHIEU, R. G.; MORLEY, R.; KWON, I. 2007.Examining RFID applications in supply chain management. Commun. ACM, 50(7):92 - 101.
- O'CONNOR, M. 2005. IBSS launches Healthcare Tracking. RFID Journal, 1.
- O'CONNOR, M. 2007. Emory Healthcare Tracks Its Pumps. RFID Journal, 1- 2.
- OMS. Organización Mundial de la Salud. Agenda de investigación de los CEM referente a los Niños. <http://www.who.int/peh-emf/research/children/es/>. Accedido en setiembre de 2013 a las 17:00 horas.
- OVELAR, C. 2008. Tecnologías de Redes Inalámbricas Aplicadas a la Trazabilidad Animal. Tesis de Grado - la Facultad de Ciencias y Tecnología, Universidad Católica de Asunción. 105 p.
- PERING, T.; BALLAGAS, R.; WANT, R. 2005. Spontaneous marriages of mobile devices and interactive spaces. ACM, 48(9):53 – 59.
- PORTILLO, J.; BERMEJO, A.; BERNARDOS, A. 2007. Tecnologías de RFID: Aplicaciones en el Ámbito de la Salud. Centro de Difusión de Tecnologías, Universidad Politécnica de Madrid. 150 p.
- REKIK, Y. 2006. The Impact of the RFID Technology in Improving Performance of Inventory Systems subject to Inaccuracies. Tesis de Doctorado - Escuela Central de Artes y Manufacturas, Escuela Central de París. 179 p.
- RFID Journal. 2003. RFID Speeds P&G Plant Throughput. 1-4.

- RFID JOURNAL. 2013. Preguntas Frecuentes. <http://espanol.rfidjournal.com/preguntas-frecuentes>. Accedido en junio de 2013 a las 14:00 horas.
- SISPANOV S.; VILLAMAYOR J.; ACUÑA, R. 2005. Sistema de Protección y Control para Biblioteca con tecnología RFID. Tesis de Grado - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción. 212 p.
- SMITH, J. R.; FISHKIN, K. P.; JIANG, B.; MAMISHEV, A.; PHILIPOSE, M.; REA, A. D.; ROY, S.; SUNDARA-RAJAN, K. 2005. RFID-based techniques for human activity detection. ACM, 48(9):39 – 44.
- SONGINI, M. L. 2013 Sidebar: Wal-Mart Offers RFID Update. http://www.computerworld.com/s/article/109418/Sidebar_Wal_Mart_Offers_RFID_Update. Accedido en junio de 2013 a las 14:00 horas.
- SWEDBERG, C. 2004. RFID Drives Highway Traffic Reports. RFID Journal, 1.
- TARELA, M.; SANTOS, A. 2010. Diseño de un Módulo Controlador de Acceso con Tecnología RFID. Tesis de Grado - Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Asunción. 110 p.
- TELECTRÓNICA. 2013. Introducción a la Identificación por Radiofrecuencia. <http://www.telectronica.com/rfidtelectronica.pdf>. Accedido en marzo de 2013 a las 10:30 horas.
- TONG, H.; SEYED, A. 2007. A Novel Wireless Local Positioning System via a Merger of DSCDMA and Beam forming: Probability-of-Detection Performance Analysis Under Array Perturbations. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 56(3):1307 – 1320.
- URBINA, R. 2011. Tutorial sobre circuitos RFID. Tesis de Grado - Escuela de Ingeniería, Universidad de las Américas Puebla. 125 p.
- VIOLINO, B. 2003. Boeing Finds the Right Stuff. RFID Journal, 1 - 4.
- VIOLINO, B. 2004. Farm Harvests RFID's Benefits. RFID Journal, 1-3
- VIOLINO, B. 2005. RFID Business Applications. RFID Journal, 1- 4.
- WARD, M.; ROB, V. K.; GAYNOR, B. 2006. RFID: Frequency, standards, adoption and innovation. JISC Technology and Standards Watch, 1: 1-36
- WEINSTEIN, R. 2005. RFID: A Technical Overview and Its Application to the Enterprise. IT Professional, 7(3):27 - 33.
- ZEBRA. Zebra Technologies Corporation. 2011. Tips for RFID Smart Label Printing/Encoding. 8 p.
- ZHOU, J., SHI, J. 2009. RFID localization algorithms and applications a review. Journal of Intelligent Manufacturing, 20(6):695- 707

Figuras

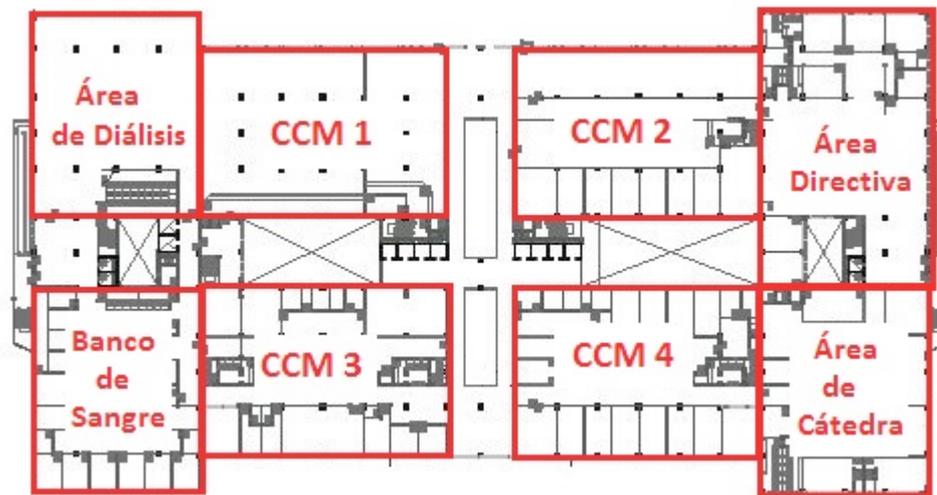


Figura 1: Plano del Segundo Piso del Hospital de Clínicas.

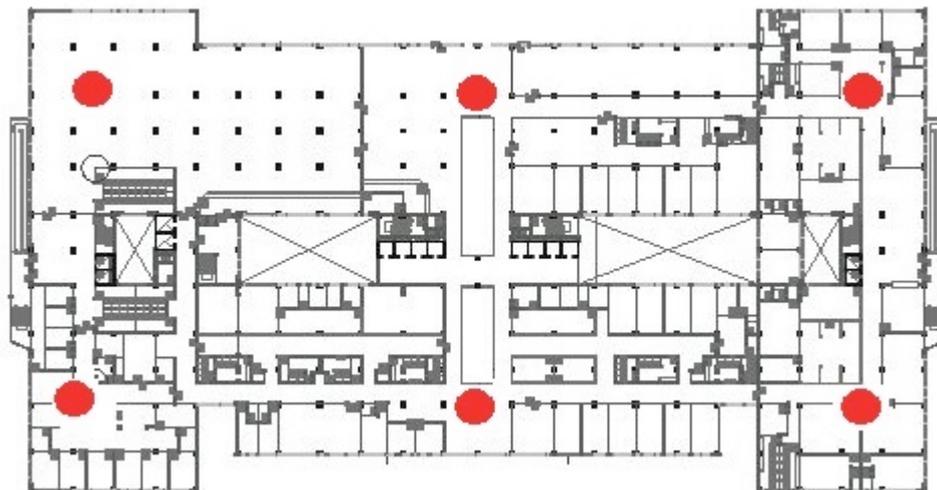


Figura 2: Distribución de Equipos en la Superficie a monitorear.

Tablas

Banda de Frecuencia	LF 125KHz	HF 13,56MHz	UHF 860-960MHz	Microonda 2.5 GHz para arriba
Rango de Lectura (<i>Tags</i> Pasivos)	<0,6m	<1m	6m	10m (Pasivo) 30m (Activo)
Fuente de alimentación	Generalmente de forma pasiva.	Generalmente de forma pasiva.	De forma pasiva y/o activa.	Generalmente activa.
Costo del <i>Tag</i>	Relativamente costoso.	Relativamente costoso pero menos que LF.	Tiende hacia un costo bajo	Tiende hacia un bajo costo.
Aplicaciones	Cerraduras de automóviles.	Identificación de libros en Biblioteca. Identificación de ropas. Tarjetas inteligentes.	Seguimiento en la cadena de suministro: Cajas, Pallets, Contenedores, etc.	Peajes en Autopistas. Identificación de flotas de vehículos.
Velocidad de transmisión de datos	Lento-----Rápido			
Desempeño con metal y líquido	Mejor-----Peor			
Tamaño de <i>Tags</i> Pasivos	Mas grande----- Mas pequeño			

Tabla 1: Características de los RFID de varias frecuencias.

Funcionalidades	RFID Pasivo	RFID Activo	RFID Activo (Wi-Fi)
Identificación única de los bienes	Cumple	Cumple	Cumple
Rendimiento constante	Cumple	Cumple	Cumple
No posea limitaciones de línea de visión	Cumple	Cumple	Cumple
Radio de cobertura de gran alcance	Bajo	Alto	Alto
Portabilidad	Alta	Media	Media
Buena precisión en la localización	Alta	Media	Media

Tabla 2: Criterios Analizados para el SMTR.

Característica	RFID Pasivo (UHF)	RFID Activo	RFID Activo (Wi-Fi)
Alcance	6m	30m	30m
Capacidad de Memoria	Típicamente en orden de bits o pocos kilobytes	Típicamente en orden de kilobytes	Típicamente en orden de kilobytes
Velocidad de flujo de datos	Típicamente 128kbps	Hasta orden de Mbps	Orden de Mbps
Tamaño del <i>Tag</i>	Pequeñas	De mayor tamaño que los <i>tags</i> pasivos	Aprox. entre: 45 x 55 x 19 mm y 180 x 85 x 45 mm
Lectura múltiple	Aproximadamente 1200 <i>tags</i> /seg	Mayor cantidad que los pasivos	Mayor cantidad que los pasivos
Frecuencia Utilizada	860-960MHz	Típicamente 2.4 GHz	2.4 GHz
Tipo de acoplamiento	Propagación por ondas electromagnéticas	Propagación por ondas electromagnéticas	Propagación por ondas electromagnéticas
Manejo de Interferencias Electromagnéticas	Peor	Mejor	Mejor

Tabla 3: Factores importantes para el diseño de un Sistema RFID.

Tipo de RFID	Componente	Cantidad (Unidad)	Costo Unitario (\$)	Total (\$)	Total Gral. (\$)
Pasivo	Lector	215	500	107500	107560
	<i>Tag</i>	20	3	60	
Activo	Lector	6	500	3000	3600
	<i>Tag</i>	20	30	600	
Activo Wi-Fi	Lector	6	50	300	900
	<i>Tag</i>	20	30	600	

Tabla 4: Análisis de Costo.