

# Sistema de Monitoreo en Tiempo Real utilizando RFID

Alberto Capli  
Facultad Politécnica, UNA  
San Lorenzo, Paraguay  
albertocapli@gmail.com

Nora González  
Facultad Politécnica, UNA  
San Lorenzo, Paraguay  
noritagonzalez@gmail.com

**Resumen**—La gestión de inventario es de gran importancia para cualquier compañía y muchas de ellas han automatizado sus procesos con el fin de minimizar errores y reducir costos. Sin embargo, la forma de obtener el inventario exacto, de manera eficiente, sigue siendo un desafío. Esta investigación presenta un sistema de monitoreo de bienes en tiempo real utilizando la tecnología RFID (*Radio Frequency Identification*). La propuesta permite la localización física de los bienes dentro del área monitoreada. Teniendo en cuenta factores económicos, el análisis realizado muestra que el RFID activo Wi-Fi es el más apropiado para éste tipo de sistema. Durante las pruebas con el prototipo del sistema y la simulación de equipos RFID Wi-Fi se logró obtener una exactitud de 2.3 m en el mejor de los casos.

**Palabras Claves**— SMTR, RFID, Wi-Fi, Punto de Acceso, Etiquetas, Lectores.

## I. INTRODUCCIÓN

El inventario es el proceso de conteo ya sea manual, semiautomático o automático, de bienes tangibles y en existencia, propios y de disponibilidad inmediata para su consumo, utilización, transformación o venta, pertenecientes a una compañía [20]. El control del mismo es de gran importancia para cualquier organización, debido a que consiste en una parte fundamental de los costos de operación. Por este motivo, muchas entidades han automatizado los procesos de gestión de inventario con el fin de minimizar los errores cometidos en los procesos manuales y reducir costos. Sin embargo, la forma de obtener de manera eficiente el inventario exacto sigue siendo un desafío.

El problema del inventario ocurre cuando el sistema de información no está en correspondencia con las cantidades físicas disponibles en el área monitoreada. Algunas causas que originan este problema son: grandes volúmenes de bienes, robo, error en la recepción o en la salida de bienes y la falta de localización de los mismos [22]. La inexactitud del inventario es un elemento determinante para el desarrollo de cualquier organización, ya 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 [3].

Los Sistemas de Monitoreo en Tiempo Real (SMTR) o *Real-Time Locating System* (RTLS) resuelven parcialmente el problema del inventario. Estos sistemas se utilizan para monitorear y localizar objetos en tiempo real, llevar el registro del volumen de productos o bienes y realizar un seguimiento de los mismos, en forma automática; empleando etiquetas que

se adhieren a los mismos, y dispositivos lectores que reciben la señal inalámbrica de dichas etiquetas, permitiéndoles calcular su posición dentro de un área determinada. El estudio realizado por Hariharan demuestra que la localización puede reducir significativamente el tiempo para recuperar los elementos fuera de lugar [8].

Los SMTR permiten localizar los bienes y reducir la posibilidad de extravío, también ayudan a los operadores a encontrar elementos fuera de lugar.

En este trabajo se propone un SMTR implementado con tecnología RFID. RFID es un término genérico que hace referencia a las tecnologías que emplean ondas radiales para identificar de manera automática a personas u objetos [1].

Este proyecto se centra específicamente en el estudio de la tecnología RFID para el monitoreo de bienes en tiempo real, el cual consiste en localizar los bienes y a través de la misma obtener el inventario físico. Se pretende analizar el uso de tecnologías RFID en la gestión de inventario, bajo diferentes ambientes. Para ello, se propone un modelo de sistema que puede ser utilizado en distintos escenarios.

## II. SISTEMA RFID

### II-A. Componentes

Los Sistemas RFID constan de cuatro componentes principales [19], [23] (Figura 1): Etiquetas o *Tags*, Lectores, Antenas y Middleware. Un componente adicional de los sistemas RFID pasivos es la Impresora RFID, también llamada impresora/codificadora RFID.

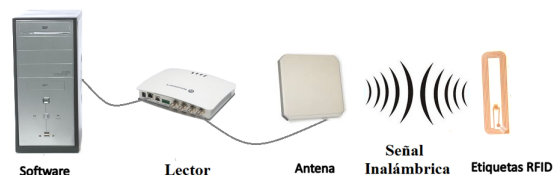


Figura 1. Componentes del Sistema RFID [19].

1) *Etiquetas*: son dispositivos cuya función básica es almacenar los datos y transmitirlos al lector. Una etiqueta consta de un chip electrónico y una antena, encapsulados en un paquete para formar una etiqueta utilizable, tal como una etiqueta de embalaje que podría ser adherida a una caja [11].

Las etiquetas RFID se diferencian unas de otras de acuerdo a la forma de suministro de energía [5], [12].

- Etiquetas pasivas: no tienen fuente de alimentación propia. La antena de la etiqueta recibe la energía electromagnética, mediante el campo generado por el lector.
- Etiquetas activas: tienen su propia fuente de alimentación, pueden ser construidas para operar en una o varias bandas de frecuencia [9], algunos de ellos funcionan en la banda 2.4 GHz y utilizan el protocolo 802.11 para ser detectado por la infraestructura inalámbrica, a menudo a estas etiquetas se les llaman etiquetas RFID Wi-Fi, [17], [10]. Sin embargo, otros artículos [18], [14] no lo incluyen dentro de los sistemas de RFID.
- Etiquetas semipasivas: contienen una batería integrada que alimenta la electrónica interna de la etiqueta, pero la transmisión de datos al lector se realiza de la misma manera que las etiquetas pasivas.

2) *Lectores*: son dispositivos que permiten enviar y recibir señales de las etiquetas, extraen la información recibida y pasa al subsistema de procesamiento de datos. Estas señales pueden transmitir energía dependiendo del tipo de etiqueta. En los sistemas RFID Wi-Fi, los *Access Point* (AP) son utilizados como lectores [9], [17].

3) *Antenas*: componente encargado de la comunicación entre la etiqueta RFID y el lector [6].

4) *Middleware*: software que se encarga de preparar los datos recogidos de los lectores para los sistemas que apoyan directamente los procesos de negocio [15].

5) *Impresoras*: son dispositivos que escriben datos predefinidos en las etiquetas pasivas mediante transmisión de radio frecuencia, las mismas también pueden imprimir códigos de barras, textos y gráficos utilizando el proceso de impresión estándar [4].

### III. SISTEMAS SMTR

Los sistemas de monitoreo apuntan al seguimiento de los bienes, debido a que se utilizan para rastrear y localizar objetos en tiempo real. Los SMTR consisten en emplear etiquetas que se adhieren a estos objetos, y dispositivos lectores que reciben la señal inalámbrica de dichas etiquetas, permitiéndoles calcular su posición dentro del área monitoreada [21]. La superficie física que se desea controlar puede ser un depósito, una sala, un piso, un bloque, o un edificio en el cual se hallan los bienes que a su vez podrían ser activos fijos, productos comerciales o cualquier otro bien.

#### III-A. SMTR con RFID

Debido a la existencia de más de una alternativa de RFID (pasivo, activo y activo Wi-Fi) para los SMTR, a continuación se realiza un análisis de las mismas.

1) *Comparación de los RFID*: algunos aspectos que deben considerarse en el diseño de un Sistema RFID, según [6], se detalla a continuación. Los RFID pasivos tienen un alcance de lectura y tamaño del *tag* menor que los RFID activos y estos últimos poseen un mejor desempeño con el manejo de interferencias. Los RFID Activos Wi-Fi requiere mayor cantidad de energía para su funcionamiento en comparación a los RFID Activos. A su vez, los RFID pasivos funcionan al recibir energía del lector, debido a esto, no requieren batería. Los RFID pasivos permiten un mayor nivel de precisión de localización en comparación a los RFID Activos.

2) *Consideraciones Generales de Inversión*: a continuación, se detallan los costos aproximados de los *tags* y lectores.

- El costo de los lectores pasivos varía entre 350 y 2000 dólares y de los *tags* pasivos oscila entre 0.1 y 30 dólares.
- El costo de los lectores activos se encuentra entre 350 y 2000 dólares y de los *tags* activos varía entre 10 y 70 dólares.
- El costo de los lectores activos Wi-Fi (AP) oscila entre 20 y 400 dólares, y de los *tags* activos Wi-Fi se encuentra entre 25 y 70 dólares.

Las distintas alternativas 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. Los RFID Pasivos poseen un radio de cobertura de sólo 6 m, razón por la cual para monitorear superficies extensas se requerirá gran cantidad de lectores, impactando en forma negativa en los costos finales del sistema. Sin embargo, las etiquetas RFID pasivas son más económicas que las RFID activas. Esto significa que, aumentando significativamente la cantidad de objetos a monitorear, los RFID Pasivos tienen ventaja, en términos económicos, sobre los otros tipos de RFID.

Es claro que la cantidad de lectores requeridos es proporcional al tamaño de la superficie a monitorear, impactando directamente en el costo.

En la Figura 2 se puede observar que cuando se aumenta la superficie a monitorear, el costo total de lectores necesarios para el SMTR con RFID pasivo aumenta significativamente en comparación al RFID Activo y RFID Activo Wi-Fi. Así también, el costo total de los lectores RFID Activo es mayor que el de los RFID Activo Wi-Fi. En la figura mencionada, se considera el costo promedio de los lectores con funcionalidades básicas.

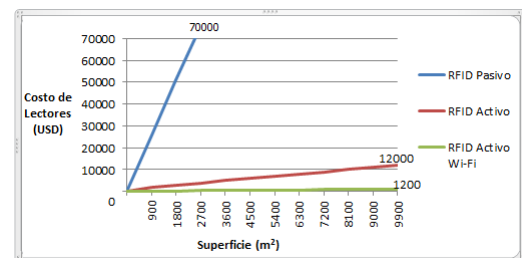


Figura 2. Relación entre costo de lectores y superficie a monitorear.

Teniendo en cuenta los sistemas RFID Activos y Activos Wi-Fi, ambas etiquetas tienen costos similares, mientras que los lectores poseen el mismo alcance, pero difieren en el costo: el del lector activo es mayor que el del lector activo Wi-Fi (AP). Es decir, aunque la cantidad de dispositivos sea la misma, el costo final será superior para el Sistema RFID Activo. Además, para la implementación del sistema RFID sobre Wi-Fi se considera que la mayoría de las empresas o instituciones ya cuentan con una infraestructura Wi-Fi, donde los AP existentes desempeñarán la función del lector RFID y podrán interoperar con los dispositivos RFID Wi-Fi a través del protocolo 802.11. De esta forma se aprovecharán los recursos existentes y se evitará el costo de los lectores. En este contexto, se puede asumir que la elección del RFID dependerá de las características del escenario donde se implantará el sistema. Sin embargo si consideramos factores económicos, la implementación con el Wi-Fi tiene amplia ventaja sobre las demás.

#### IV. SMTR PROPUESTO

##### IV-A. Diseño del Sistema

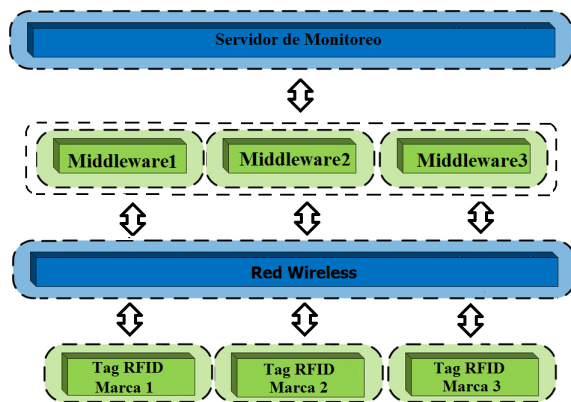


Figura 3. Arquitectura SMTR propuesto.

Se diseñó una arquitectura para el SMTR utilizando RFID, la cual se puede observar en la Figura 3. La misma permite trabajar con diferentes RFID, inclusive de diferentes marcas. Cada marca de *tag* tiene su propio protocolo a nivel de aplicación e interactúa con un *middleware* propio a través de la infraestructura *wireless*. A su vez, cada *middleware* se comunica con el servidor utilizando el mismo protocolo. El SMTR propuesto evita la dependencia de un fabricante específico de tags, debido a que presenta una arquitectura en la cual el servidor puede interactuar con diferentes marcas.

##### IV-B. Metodología de localización

Para la localización de objetos se utilizó la metodología *FingerPrint*, también llamada metodología basada en huellas. Una huella (muestra de señales) es un vector de intensidades de señales asociado a la posición (x, y) donde se registraron dichas señales. La metodología *FingerPrint* consiste en hallar y almacenar el nivel de intensidad de las señales recibidas de los lectores o AP en varios puntos del área a monitorear. Las huellas almacenadas se utilizan posteriormente para comparar con los niveles de señales recibidos por los *tags*, y estimar la posición del mismo [2].

La metodología define tres fases para la estimación de la ubicación del bien monitoreado:

- Fase de configuración. Se configuran y se registran los datos (SSID<sup>1</sup> y MAC<sup>2</sup>) de los AP.
- Fase de muestreo. Se toman las intensidades de las señales en cada punto de la zona a monitorear (huellas) y se almacenan en una base de datos.
- Fase de estimación de posición. Los *tags* RFID Wi-Fi envían las intensidades de las señales de los AP que cubren el área monitoreada, donde se encuentra el *tag*, posteriormente se busca la posición que mejor se ajuste a las huellas relevadas previamente.

La metodología implementada en este proyecto requiere un trabajo de adaptación al ambiente que se desea monitorear. Este consiste en la toma de huellas, donde implícitamente ya se consideran variables que pueden afectar al sistema, como los obstáculos que existen en el ambiente y las diferencias de intensidad de señal emitidas que pueden existir en los AP, de distintas marcas o inclusive de la misma marca.

#### V. CASO DE ESTUDIO

Existen diversos escenarios, en los cuales un SMTR puede ser utilizado para proporcionar visibilidad a las distintas áreas que requieran ser controladas. El escenario seleccionado para el SMTR propuesto es una organización hospitalaria, la cual se toma como caso de estudio particular.

Específicamente, se desea monitorear en tiempo real los equipos médicos dentro de las dependencias de los hospitales. Como por ejemplo: monitorear sillas de ruedas, camillas, desfibriladores o bombas de infusión, especialmente equipos de alto valor. Determinar la existencia de los mismos y dónde se encuentra el más cercano pueden definir la calidad de atención de los pacientes, agilizar la prestación del servicio y permitir una mejor administración de dichos recursos.

El comportamiento del sistema fue evaluado en dos escenarios, la Planta alta del Laboratorio de Computación Científica y Aplicada (LCCA) y el primer piso del Hospital de Clínicas (HC).

La puesta a punto del sistema se realizó en un ambiente de prueba, el LCCA, el mismo cuenta con una dimensión de 29 m x 16 m (464 m<sup>2</sup>) y divisiones de mamparas de 3 cm de grosor y 3 m de altura, las cuales no llegan hasta el techo de la edificación. El ambiente real considerado fue el primer piso del HC, el mismo cuenta con una dimensión de 130 m x 70 m (9100 m<sup>2</sup>) y se encuentra dividido en algunos sectores con paredes de ladrillos cerámicos y en otros con mamparas de 10 cm de grosor. Ambas llegan hasta el techo de la edificación.

##### V-A. Consideraciones Generales

Para realizar las pruebas, las etiquetas RFID Wi-Fi fueron emuladas, utilizando teléfonos inteligentes (con sistema operativo Android), debido al elevado costo del kit de prueba,

<sup>1</sup>Nombre asignado a una red inalámbrica.

<sup>2</sup>Identificador que corresponde de forma única a una tarjeta o dispositivo de red.

mientras que el middleware fue desarrollado para este proyecto.

Para la toma de huellas se desarrolló una aplicación que permite introducir las coordenadas (x, y) donde son captados los niveles de señales. Estos niveles de intensidad de la señal junto con la posición (x, y) se almacenan en un archivo local en el formato que se muestra en la Figura 4.

	X	Y	AP1	AP2	AP3	AP4	
1	{	3, 3, -60, -90, -92, 0,	→ Una Huella				
2	{	3, 3, -61, -89, -92, 0,					
3	{	3, 3, -59, -89, -92, 0,					
4	{	3, 3, -57, -88, -93, 0,					
5	{	3, 3, -56, -88, -92, 0,					
	:						

Figura 4. Ejemplo de Huellas.

Para simular el software de la etiqueta se desarrolló una aplicación con las mismas funcionalidades básicas, que consisten en: captar las intensidades de las señales, la dirección MAC y el SSID de los AP que tienen cobertura sobre el área en cual se encuentra el dispositivo móvil, y enviar dicha información al middleware. El funcionamiento del mismo se observa en la Figura 5. En la aplicación móvil se debe introducir el número IP del servidor (1), luego presionar el botón *Start* (2) para iniciar la aplicación, la misma capta automáticamente las intensidades de las señales de los AP correspondientes (3), dichas intensidades son enviadas al middleware a través de uno de los AP (4), el middleware recibe la información y envía al servidor de localización (5) para estimar la posición del teléfono, finalmente el resultado (posición estimada del teléfono) puede ser observado en el navegador web (6).

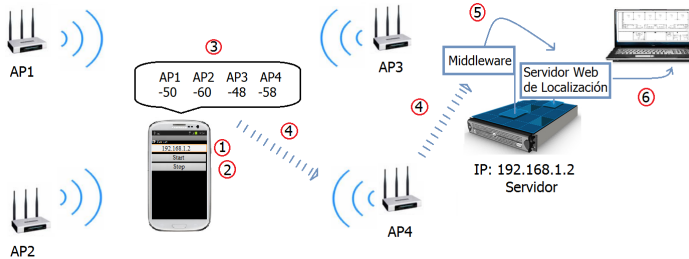


Figura 5. Sistema SMTR utilizando Teléfonos Inteligentes.

El middleware desarrollado interactúa con los teléfonos y con el servidor web, de acuerdo a la arquitectura presentada en la Figura 3.

Para la presentación de los resultados de posicionamiento, el servidor de localización permite visualizar, en el navegador web, las posiciones en un plano correspondiente a la zona monitoreada, como se observa en la Figura 6, los puntos rojos indican las posiciones de los tags.

### V-B. Pruebas y Resultados

En ambos escenarios se requirieron cuatro AP para cubrir el área a monitorear. Dichos AP fueron configurados en

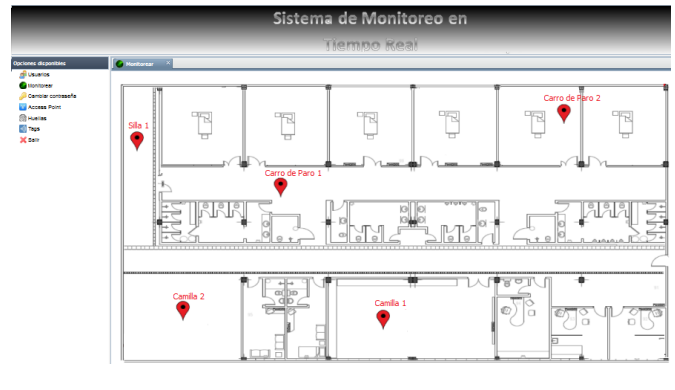


Figura 6. Interfaz web del sistema SMTR del Hospital de Clínicas.

diferentes canales. Esta configuración se realizó debido a que los AP que comparten el mismo canal o canales cercanos, podrían ocasionar interferencias [7].

Debido a la inestabilidad de los niveles de intensidad de señales en un mismo punto, se procedió a analizar las huellas. Para ello se tomaron varias huellas para un mismo punto en un periodo de 60 segundos. Este procedimiento se realizó en varios puntos, y heurísticamente se identificó que pasando la quinta toma de huella por punto para el LCCA y la sexta para el HC, el vector de intensidades se vuelve muy similar y en muchos casos se repite. Si se considera mayor número de huellas, el efecto en los resultados ya no es significativo, sin embargo, implicaría un aumento en los cálculos computacionales.

Haciendo un análisis en relación a la frecuencia de actualización del posicionamiento de los tags, al aumentar la cantidad de objetos a monitorear, aumenta la cantidad de peticiones por segundo realizadas al servidor, pudiendo generar una sobrecarga de procesamiento.

1) *LCCA*: En total se registraron 190 huellas en 38 puntos (cinco huellas por punto) y se realizaron 175 pruebas de localización en posiciones aleatorias, en toda la superficie (23 salas, además de las áreas de circulación), simulando un equipo monitoreado en movimiento. Por cada prueba realizada se registró la posición real (x, y) del tag y la posición estimada por el sistema.

Para el análisis de los datos, la exactitud fue calculada utilizando el promedio de la distancia Euclidiana<sup>3</sup> entre la posición estimada y la posición verdadera, mientras que la precisión fue obtenida utilizando la distribución de probabilidad acumulativa de la distancia de error como se menciona en [16].

De esta primera prueba se obtuvo una exactitud de 3.6 m, una precisión de ubicación física de 43 % dentro de los 3 m, y una precisión de ubicación a nivel de salas de 30 %. Específicamente, de las 175 pruebas, se obtuvieron 17 % de aciertos, 4 % de errores de 1 m, 10 % de errores de 2 m, 12 % de errores de 3 m, 16 % de errores de 4 m, 17 % de errores de 5 m, 7 % de errores de 6 m, 7 % de errores de 7 m, 3 % de errores de 8 m, 5 % de errores de 9 m, 1 % de errores de 10 m y 1 % de errores de 11 m.

<sup>3</sup>Distancia en línea recta o trayectoria más corta posible entre dos puntos [13].



Debido a los resultados obtenidos se realizaron otras pruebas, donde se disminuyó la distancia entre puntos considerando el estudio de Urbina [24], donde se menciona que cuanto más próximos son los puntos de registro de huellas, mejores resultados se podrán obtener.

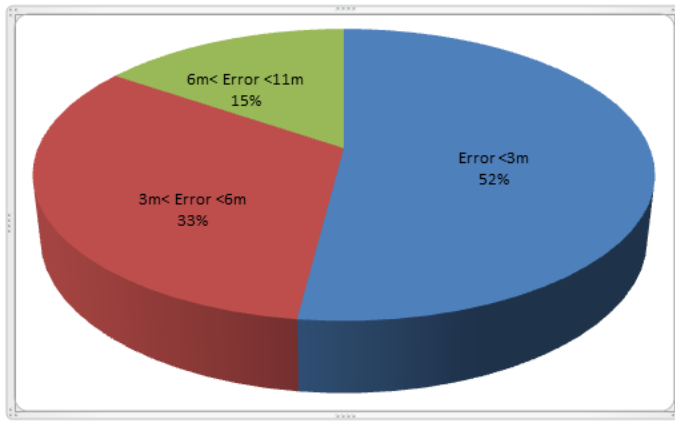


Figura 7. Errores de Localización en el LCCA.

Se tomaron 605 huellas en 121 puntos y se realizaron 175 pruebas de localización en posiciones aleatorias. Se obtuvo una exactitud de 3.2 m, una precisión de ubicación física de 52 % dentro de los 3 m y una precisión de ubicación a nivel de salas de 52 %. De las 175 pruebas, se obtuvieron resultados donde el 52 % de los errores se encuentran dentro de los 3 m, el 33 % de los errores se hallan dentro del intervalo de 3 m a 6 m, en tanto que el 15 % de los errores se localizan dentro de los 6 m a 11 m como se observa en la Figura 7, en la misma se indican los porcentajes de errores agrupados por distancias.

2) HC: las pruebas se realizaron en el sector de Quirófano del primer piso, en una superficie de 39 m x 25 m (975 m<sup>2</sup>), que cuenta con 13 salas, además de las áreas de circulación.

Se tomaron 306 huellas en 51 puntos (6 huellas por punto) y se realizaron 260 pruebas de localización en posiciones aleatorias cubriendo toda la superficie. Se obtuvo una exactitud de 2.3 m, una precisión de ubicación física de 69 % dentro de los 3 m y una precisión de ubicación a nivel de salas de 73 %. De las 260 pruebas, se obtuvieron resultados donde el 69 % de los errores se encuentran dentro de los 3 m, el 16 % de los errores se hallan dentro del intervalo de 3 m a 6 m, en tanto que el 15 % de los errores se localizan dentro de los 6 m a 14 m como se observa en la Figura 8, en la misma se indican los porcentajes de errores agrupados por distancias.

La exactitud y precisión obtenidas fueron razonables considerando el tamaño de la superficie (975 m<sup>2</sup>) y las salas (dimensiones entre 8 m<sup>2</sup> y 56 m<sup>2</sup>), y comparadas con otros sistemas SMTR basados en Wireless existentes, mencionados en [16]. Estos sistemas presentan exactitudes que varían entre 1 m y 5,4 m y precisiones que se encuentran entre 2 m y 5,9 m.

### V-C. Análisis y Discusiones

Los resultados obtenidos en el HC fueron mejores que los obtenidos en el LCCA. Evaluando las huellas obtenidas en

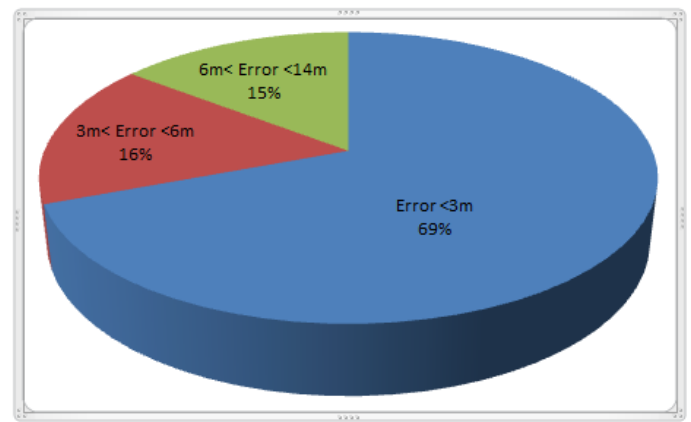


Figura 8. Errores de Localización en el HC.

ambos escenarios, se constató que en el LCCA las huellas son muy similares, hasta inclusive iguales en dos puntos distintos, lo que impacta negativamente al momento de localizar el bien monitoreado. Sin embargo, las huellas tomadas en el HC, entre una sala y otra son muy diferentes, debido a que el ambiente está constituido por paredes que hacen disminuir significativamente la intensidad de la señal entre diferentes salas, lo cual permite al método de localización FingerPrint obtener mejores resultados.

Para ambos escenarios, la precisión de ubicación a nivel de salas es mayor que la precisión de ubicación física debido a que muchos errores de ubicación que están entre 1 m a 6 m caen dentro de la misma sala donde se encuentra el objeto monitoreado.

El sistema posee limitaciones en cuanto a las condiciones y tipo de ambiente. Específicamente, el sistema requiere de un ambiente libre de radiaciones o fenómenos que alteren significativamente las ondas emitidas por los AP. Esto se debe a que las interferencias generan inestabilidad en la señal y en consecuencia tienen un efecto negativo en los resultados de localización. Además, por la metodología de localización utilizada, el sistema tiene un buen desempeño en ambientes estáticos. Cualquier cambio en el ambiente y/o estructura del edificio que modifique la propagación e intensidad de la señal, invalidaría las huellas tomadas. Sin embargo, el SMTR propuesto como solución es un aporte importante y útil, que brinda un progreso significativo en el control de los activos de una compañía, permitiendo la localización de los bienes y ayudando a disminuir la inexactitud del inventario.

## VI. CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

El sistema de monitoreo en tiempo real podría ser implementado con RFID pasivo UHF, debido a que permite alcanzar el objetivo principal (monitorear y llevar el registro del inventario), sin embargo, debido a los costos de infraestructura, resulta poco factible su implementación. Con respecto al sistema RFID activo, se estima que tanto tecnológica como económicamente es factible su implementación, en donde específicamente el RFID Activo Wi-Fi es el más económico para los escenarios propuestos, debido al bajo costo de los AP.

El SMTR propuesto evita la dependencia de un fabricante específico de *tags*, ya que presenta una arquitectura en la cual el servidor puede interactuar con diferentes marcas.

Para la localización de objetos se utilizó la metodología de localización FingerPrint. La metodología utilizada requiere un trabajo de adaptación al ambiente (toma de huellas) que se desea monitorear, pero al mismo tiempo permite evitar complejos modelados de propagación en ambientes interiores.

Los principales resultados obtenidos durante las pruebas fueron:

- Se comprobó que la implementación del SMTR con RFID Wi-Fi es la más económica para ambos escenarios debido al costo total de la infraestructura requerida para lograr el monitoreo de bienes en tiempo real.
- Con la metodología de localización de bienes de *FingerPrint* se logró obtener una exactitud de 2.3 m en el mejor de los casos y 3.2 m en el peor de los casos, acorde con otros sistemas basados en *Wireless*.
- El sistema propuesto arrojó mejores resultados en ambientes cuyas divisiones interiores son de materiales rígidos, como el caso de paredes de ladrillos cerámicos.

El presente trabajo se centró en analizar el uso de tecnologías RFID para la gestión de inventario en tiempo real, no obstante sirve de punto de partida para la apertura de nuevas investigaciones. Seguidamente se enuncian algunas propuestas de ellas:

- Realizar pruebas empíricas en diferentes ambientes reales con RFID Activo y RFID Activo Wi-Fi con el fin de evaluar en desempeño de los mismos para el SMTR propuesto.
- Evaluar el rendimiento del sistema ante situaciones de estrés.
- Mejorar el algoritmo de búsqueda utilizado en el método Fingerprint para disminuir el tiempo de procesamiento. Además, introducir la variable tiempo para el cálculo de posicionamiento, lo que permitirá reducir los errores generados por los saltos bruscos de intensidad de las ondas.
- Evaluar el SMTR propuesto con otras metodologías de localización de interiores.
- Realizar un análisis de costo más profundo del SMTR.
- Evaluar la influencia de la estructura, entre otros elementos que podría afectar la propagación de la señal.
- Considerar e introducir en el SMTR propuesto buenas prácticas en cuanto a seguridad del sistema para prevenir la vulnerabilidad del mismo.

## REFERENCIAS

- [1] RFID Speeds P&G Plant Throughput. <http://www.rfidjournal.com/articles/view?291>, 2003.
- [2] *Indoor Location using Wi-Fi based Fingerprinting and Trilateration Techniques for LBS Applications*, volume Vol. XXXVIII-4/C26. 7th International Conference on 3D Geoinformation, 2012.
- [3] Collao, C. Sistema de Soporte para Control de Inventarios Mediante RFID. Tesis de grado, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, 2008.
- [4] Zebra Technologies Corporation. *Tips for RFID Smart Label Printing/Encoding*, 2011.
- [5] Finkenzeller, K. *RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification*. John Wiley & Sons, Inc., New York, NY, USA, 2 edition, 2003.
- [6] Godínez, L. M. *RFID Oportunidades y riesgos, su aplicación práctica*. Alfaomega, Grupo Editor, México, 2008.
- [7] Guevera, S. Problemática y soluciones a la interferencia entre redes WiFi por solapamiento de canales. August 2011.
- [8] Hariharan, S. Improving Dynamic Decision Making Through RFID: A Partially Observable Markov Decision Process (POMDP) For RFID-Enhanced Warehouse search Operations. December 2006.
- [9] Henry, D. J. *CCNP Wireless IUWMS Quick Reference*.
- [10] <http://www.ekahau.com/>. RFID over Wi-Fi. <http://www.ekahau.com/real-time-location-system/technology/how-rtls-works>, June 2013.
- [11] Hunt, V. D., Puglia, A., Puglia, M. *RFID: A Guide to Radio Frequency Identification*. Wiley-Interscience, 2007.
- [12] Khaddar, M., Boulmalf, M., Harroud, H., Elkoutbi, M. RFID Middleware Design and Architecture. 2011.
- [13] Krajewski, L., Ritzman, L. *Administración de operaciones: estrategia y análisis*. Peterson Education, 2000.
- [14] Lehpamer, H. *RFID Design Principles*. Artech House, Inc., Norwood, MA, USA, 2007.
- [15] Liard, M. Radio Frequency Identification (RFID) Middleware Solutions: Global Market Opportunity. August 2004.
- [16] Liu, H., Darabi, H., Banerjee, P., Liu, J. Survey of wireless indoor positioning techniques and systems. *Trans. Sys. Man Cyber Part C*, 37(6):1067–1080, November 2007.
- [17] Muhammad, A. A real-time laboratory testbed for evaluating localization performance of wifi rfid technologies. Master's thesis, Faculty of WORCESTER POLYTECHNIC INSTITUTE, 2007.
- [18] Ni, L., Liu, Y., Lau, Y., Patil, A. P. LANDMARC: indoor location sensing using active RFID. *Wirel. Netw.*, 10(6), November 2004.
- [19] Observatorio de la Seguridad de la Información. Guía sobre seguridad y privacidad de la tecnología RFID. Technical report, Instituto Nacional de Tecnologías de las Comunicaciones - Agencia Española de Protección de Datos, España, 2010.
- [20] Perdomo M. A. *Fundamentos de Control Interno*. Cengage Learning Editores, 2004.
- [21] Portillo, J., Bermejo, A., Bernardos, A. Tecnologías RFID: Aplicaciones en el ámbito de la salud. December 2007.
- [22] Rekik, Y. An Analysis of the Impact of RFID Technology on Inventory Systems. In Damith C. Ranasinghe, Quan Z. Sheng, and Sherali Zeadally, editors, *Unique Radio Innovation for the 21st Century*, pages 435–450. Springer Berlin Heidelberg, 2011.
- [23] Electrónica Sistema de Codificación. Introducción a la Identificación por Radio Frecuencia. <http://www.telectronica.com/rfidtelectronica.pdf>.
- [24] Urbina, R. Tutorial sobre circuitos RFID. Tesis de grado, Universidad de las Américas Puebla - Escuela de Ingeniería, 2011.