



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY®**

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Ciudad de México

División de Ingeniería y Arquitectura

Ingeniería en Mecatrónica

Departamento de Ingeniería Electrónica y Mecánica

“Sistema de Localización en Tiempo Real basado en Identificación por Radio Frecuencia Activa”

Autores:

Jhonatan Israel Pineda Garduño

Ricardo Arturo Solano Medina



**TECNOLOGICO
DE MONTERREY**

Biblioteca
Campus Ciudad de México

Asesor: Dr. Raúl Crespo Saucedo

Profesor: M.C. Eugenio Aguilar Ibarra

México, D.F. Enero-Diciembre 2008

Contenido

Índice de figuras.....	5
Capítulo 1: Introducción	8
1.1 Antecedentes.....	8
1.2 Problemática.....	9
1.3 Objetivos.....	11
1.3.1 General.....	11
1.3.2 Específico.....	11
1.4 Justificación.....	11
1.5 Metodología.....	13
1.5.1 Selección del equipo.....	13
1.5.2 Manejo y caracterización del equipo	14
1.5.3 Pruebas de triangulación	15
1.5.4 Localización mediante Landmarc.....	15
1.5.6 Pruebas de localización.....	16
Capítulo 2: Conceptos teóricos.....	17
2.1 Introducción.....	17
2.2 Sistemas RTLS.....	17
2.2.1 Clasificación por tecnologías	18
2.2.2 Sistemas RTLS comerciales.....	21
2.2.3 Técnicas que utilizan RSS y RSSI.....	24

2.3 Sistema Landmarc	28
2.3.1 Ecuaciones del algoritmo	30
2.3.2 Sistema RTLS usando Filtro Kalman	32
Capítulo 3: Desarrollo del sistema.....	34
3.1 Introducción.....	34
3.2 Equipo utilizado.....	34
3.3 Software adquirido.....	38
3.4 Software desarrollado	38
3.4.1 Software para la comunicación con el equipo.....	38
3.4.2 Software de aplicación.....	39
3.4.3 Software de adquisición de muestras.....	41
3.4.4 Software del sistema Landmarc.....	41
3.5 Caracterización del equipo	44
3.5.1 Caracterización del lector.....	44
3.5.2 Factores que afectan al RSSI.....	47
3.5.3 Orientación del TAG	48
3.5.4 Interferencia de materiales	51
3.5.5 Factores que modifican el comportamiento del RSSI.....	55
3.5.6 Pruebas de velocidad	56
3.5.7 Pruebas utilizando Landmarc	58
Capítulo 4: Análisis de resultados y conclusiones	68
4.1 Análisis de resultados	68
4.2 Conclusión.....	71
Las pruebas realizadas en este proyecto y la información investigada sobre estas tecnologías y métodos de localización, así como el análisis de los resultados nos permitieron llegar a las siguientes conclusiones:.....	71

Referencias bibliográficas	73
Apéndices	75
Apéndice A: Hardware	75
Especificaciones del lector	75
Especificaciones de los TAG's	76
Apéndice B: ISO/IEC 24730-1:2006	78
Apéndice C: Software	80

Lista de terminología abreviada

GPS- Global Positioning System

RSSI- Received Signal Strength Indication

RSS-Received Signal Strength

RF -Radio Frecuency

WLAN- Wireless local Area Network

TAG-Etiqueta

UWB -Ultra Wideband

TDOA -Time Difference of Arrival

SHR -Synchronization Header

SFD -Start of Frame Delimiter

AOA -Angle of Arrival

TDOA -Time difference of arrival

TOA -Time of arrival

LANDMARC -Location identification based on dynamic Active Rfid Calibration

NLOS -Non Line Of Sight

Índice de figuras

Figura 1.- Comparación entre equipos RFID activos.....	14
Figura 2.- Tecnologías usadas en RTLS	20
Figura 3.-Marcas de sistemas RTLS [6].....	24
Figura 4.- Región de alta probabilidad donde se encuentra el TAG a localizar	25
Figura 5.- Muestra los puntos caracterizados, los lectores y la geometría del lugar [7]	26
Figura 6.- Muestra un TAG móvil dentro de la casilla de TAG's fijos más próximos	27
Figura 7.- Métodos para sistemas RTLS	28
Figura 8.- Diagrama del sistema Landmarc	30
Figura 9.- Equipo lector R500	35
Figura 10.- Antena STUB	35
Figura 11.- TAG's T100, T800 y T500.....	36
Figura 12.- Tabla comparativa de TAG's [4].....	37
Figura 13.- Conexión a base de datos	Figura 14.- Conector de base de datos 40
Figura 15.- Interfaz para control de accesos	Figura 16.- Control de acceso de autos 40
Figura 17.- Diagrama de flujo del programa	43
Figura 18.- Programa Landmarc operando.....	44
Figura 19.- Cuadrícula de medición que muestra los puntos de medición y el del lector	45
Figura 20.- Superficie Superior	Figura 21.- Superficie a 1.2 metros..... 46
Figura 22.- Superficie al nivel del lector	Figura 23.- Superficie Inferior 46
Figura 24.- Fotografía que muestra los puntos donde se tomaron las mediciones	47
Figuras 25.- Vectores usados en el lector.....	49
Figuras 26.- Vectores usados en los TAG's	49
Figuras 27.- Lugar de prueba de orientación del TAG	49

Figura 28.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T800.....	50
Figura 29.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T500.....	50
Figura 30.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T100.....	51
Figura 31.- Gráfica de Distancia contra RSSI sin interferencia.....	52
Figura 32.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de plásticos.....	53
Figura 33.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia metálica.....	53
Figura 34.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de vidrios	53
Figura 35.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de madera.....	54
Figura 36.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia con agua (sólo en esta prueba se colocaron los TAG's atrás del contenedor plástico con agua).....	54
Figura 37.- Escenario de pruebas de materiales y distancia	55
Figura 38.- Posición del TAG en el vehículo	56
Figura 39.- Lugar de Prueba de Velocidad.....	57
Figura 40.- Velocidad contra porcentaje de detección.....	57
Figura 41.- Diagrama de la prueba	58
Figura 42.- Precisión del sistema.....	59
Figura 43.- Distribución para referencias cada 3 metros para el eje X	60
Figura 44.- Distribución para referencias cada 3 metros para el eje Y	60
Figura 45.- Diagrama de la prueba	61
Figura 46.- Precisión del sistema.....	61
Figura 47.- Distribución para referencias cada 4 metros para el eje X	62
Figura 48.- Distribución para referencias cada 4 metros para el eje Y	62
Figura 49.- Diagrama de la prueba	63
Figura 50.- Precisión del sistema.....	63
Figura 51.- Distribución para referencias cada 5 metros para el eje X	64

Figura 52.- Distribución para referencias cada 5 metros para el eje Y	64
Figura 53.- Muestra en rojo los TAG's móviles y en azul los TAG's de referencia	65
Figura 54.-Resultados en el eje X.....	66
Figura 55.-Resultados en el eje Y.....	66

Capítulo 1: Introducción

1.1 Antecedentes

Cuando hablamos de localización en tiempo real podemos observar el éxito que tienen sistemas de ubicación al aire libre como por ejemplo el GPS, que ofrece un incentivo a la investigación y desarrollo de un sistema de detección en interiores. A través del tiempo se ha colocado en órbita una red de satélites los cuales operan bajo multilateralización para poder inferir la posición del receptor y así poder dar un aproximado acerca de la localización del objeto en el exterior, ésta localización requiere de un hardware que es costoso y además consume una cantidad significativa de energía. Para la detección en interiores se utilizan tecnologías alternativas como el infrarrojo, RF y ultra sonido ya que el ambiente interior a diferencia del exterior nos presenta mayores problemas debido al efecto de multitrayectoria que puede llegar a presentar obstáculos debido al rebote de las ondas en las paredes internas y externas de los edificios, por otra parte, el material del edificio también provoca problemas en la propagación de la señal y todo esto en conjunto representa un reto para el diseño eficiente de un sistema de localización en interiores.

Las tecnologías antes mencionadas cuentan con ciertas características atractivas como la conectividad y la intensidad de la señal, estas características pueden ser explotadas ya que los equipos entregan el valor de estas variables. Dentro de éstas tecnologías inalámbricas el RSSI es una característica muy común, la cual atrae mucho la atención debido a que evita incorporar hardware a los equipos existentes ya que este parámetro es generalmente reportado por los equipos y puede ser usado para determinar la distancia entre receptor y transmisor y de esta manera se puede

estimar la posición de un objeto móvil, sin embargo, este acercamiento requiere modelos detallados y ciertas consideraciones para lograr buenos resultados.

Cuando pensamos en RFID activo, reflexionamos sobre los principios físicos que se utilizan en las emisiones de radio, en donde las ondas transmiten y reciben varios tipos de información. Recordando un poco la historia éste sistema fue concebido por el gobierno de Gran Bretaña desde la Segunda Guerra Mundial para identificar de manera efectiva aeronaves enemigas y a sus propios aviones cuando estos eran detectados por sus sistemas de radar; de esta manera, se aumentó la capacidad de diferenciar a las aeronaves alemanas y determinar mediante esta tecnología la posición en la que se encontraban.

La evolución de RFID pasiva ha llegado a un punto en el que el costo y el tamaño de los dispositivos son extremadamente pequeños, permitiendo el uso de esta tecnología en nuevas aplicaciones comerciales y poco a poco le ha venido ganando terreno al código de barras (su antecesor), debido a su mayor capacidad para almacenar datos, mejor sistema de lectura, la nula necesidad de la visión directa de la etiqueta y por último por no ser un sistema robusto.

Para el caso de RFID activo, la única desventaja que presentan es el costo elevado tanto de los lectores como de los TAG's, pero se espera un aumento en la demanda que traerá consigo que nuevas empresas compitan por este mercado y de ésta manera se espera que aumente el tamaño de la industria logrando así una baja en los precios.

1.2 Problemática

En la actualidad hemos observado un incremento en el interés por localizar objetos y personas, debido a esto se han desarrollado nuevas tecnologías como el GPS que comenzó como un proyecto de investigación y que actualmente ha llegado a crear una nueva forma de vida al poder estar al tanto de nuestra posición, rutas e incluso congestión vial. Sin embargo en el caso de la

localización en interiores aún no hay una tecnología dominante como lo es el GPS en exteriores; de hecho existen pocas opciones comerciales y las que hay son bastante costosas en comparación con un GPS, esto se debe principalmente a que se requieren receptores en cada sistema en lugar de poder compartirlos como es el caso del GPS donde un mismo satélite puede transmitir información a miles de equipos GPS.

Otro ejemplo de éxito en localización en exteriores se puede observar con los teléfonos celulares que determinan su posición gracias a las antenas existentes de telefonía celular, en este caso se utilizó una infraestructura ya existente y los costos de crear un sistema nuevo se eliminaron.

Recientemente se han realizado muchos intentos por utilizar tecnologías existentes para la localización ya sea de objetos o personas, como es el caso del uso de la tecnología Wi-Fi para la localización en interiores y que ha tenido bastante éxito a pesar de ser costosa. Por otra parte se han hecho desarrollos para crear tecnologías diseñadas específicamente para la localización en interiores que utilicen anchos de banda mucho menores y de esta manera se mejore la precisión y se reduzca el efecto negativo de la intensa interferencia que existe por ejemplo en el interior de un edificio.

Una de las tecnologías existentes que se está estudiando para su utilización en sistemas de localización en tiempo real utilizado en interiores es precisamente la de RFID activo, que se comienza a utilizar en el manejo de inventarios y que se espera tenga un rápido crecimiento en los próximos años ya que el uso de ésta tecnología para la localización brinda la posibilidad de que sea más atractivo y viable.

Para lograr la localización con esta tecnología ya existente, es necesario utilizar las características propias de la tecnología y la mejor forma de hacerlo es mediante la interpretación del RSSI que reportan los TAG's y que es relativamente proporcional a la distancia a la que se encuentra el receptor del emisor.

1.3 Objetivos

1.3.1 General

Crear un Sistema de Localización en Tiempo Real (*RTLS: Real Time Location System*) basado en la tecnología RFID activa (*Radio Frequency Identification*), comparando la amplitud de potencia mediante el uso del algoritmo Landmarc con un grado de precisión que cumpla con la norma ISO/IEC 24730-2:2006 [1].

1.3.2 Específico

Realizar un software para operar automáticamente el sistema y que se pueda adecuar al hardware deseado de manera sencilla. Así como evaluar la precisión y el error que posee dicho sistema bajo diferentes condiciones de interés.

1.4 Justificación

La tecnología RFID activa cuenta con las características necesarias para competir por el mercado de tecnologías utilizadas para la localización en tiempo real en interiores gracias a que posee un amplio radio de alcance y que reporta la intensidad de la señal. Debido a que la necesidad de radio localización está adquiriendo mucha importancia en interiores y debido a un rápido crecimiento del mercado, que se menciona en un artículo del RFID Update del 6 de Septiembre de 2005[2], la proyección de crecimiento del mercado de radio localización tendrá un aumento del 1,000% entre 2008 y 2010, mientras que en el periodo de 2005 a 2009 las ventas aumentarán de \$20 millones a \$1,600 millones de dólares anuales gastados en éstas tecnologías, además de las muchas aplicaciones que pueden soportar con RFID activo gracias a sus mayores alcances y su capacidades de manejo de gran cantidad de TAG's simultáneamente.

La incorporación de esta tecnología a proyectos de ingeniería permite desarrollar el conocimiento de esta industria en rápido crecimiento.

La tecnología RFID también puede ser aplicada a proyectos diversos como por ejemplo proyectos de accesos peatonales y vehiculares, dando la posibilidad de acceder a una instalación sin la necesidad de mostrar visualmente nada, haciendo rápido y ágil el proceso. También puede ser implementado en el monitoreo de equipos clave como laptops, equipo médico o armamento por toda una instalación, en el control de equipajes en un aeropuerto, en el cruce a alta velocidad en autopistas de cuota o para localizar rápidamente mercancías en un inventario; todo esto con la posibilidad de informar si el TAG es removido del equipo o la inclinación que posee el TAG entre otros sensores que poseen es modificada.

Después de una revisión bibliográfica y de pruebas sobre triangulación convirtiendo RSSI en distancia, se determinó la realización de un sistema de radio localización basado en amplitud de potencia mediante la utilización de un algoritmo llamado LANDMARC. Este algoritmo se basa en la premisa de que al usar TAG's de referencia se pueden corregir problemas relacionados a distorsión del RSSI, ya que todos los TAG's se encuentran bajo las mismas condiciones. De esta forma, el efecto que perturba las mediciones queda repartido tanto a las referencias como a los objetos a localizar logrando así una mejor precisión.

Adicional a todo esto, la tecnología RFID activa ha tenido una participación cada vez mayor en el manejo y control de inventarios y en el control de accesos, tener un proyecto que incorpora esta tecnología ayuda a cualquier otro proyecto de estas áreas a tener una base de conocimiento que permita una mejor y más fácil implementación de dicho proyecto.

1.5 Metodología

1.5.1 Selección del equipo

Se realizó un análisis de mercado en donde se tomo en cuenta las siguientes características para poder determinar el equipo más versátil y que mejor costo beneficio proporcionara a nuestro proyecto:

- Protocolo utilizado para la comunicación: Éste aspecto es de alta importancia, ya que si se utiliza un protocolo propio se impide la capacidad de migrar a otra marca en caso de ser necesario, mientras que al utilizar la ISO 18000-7 se puede migrar a otra marca y al mismo tiempo mantener la compatibilidad [3].
- Frecuencia de operación del equipo: debe estar en 433 MHz para satisfacer las características del ISO.
- Alcance de las antenas: la importancia de éste punto está dada en términos del costo de la implementación de un sistema de alta cobertura, esto es debido al hecho de que mientras mayor sea la cobertura de una antena, menor será el número requerido de éstas.
- Precio del equipo: Se requieren al menos 3 lectores y 10 TAG's.
- Encriptado y Algoritmo anti-colisión: esto es importante para que la información llegue completa al receptor y que no pueda ser entendida fácilmente por algún otro oyente.
- Batería: ésta cualidad permite facilitar algunas aplicaciones al no tener que reemplazar el TAG en mucho tiempo.

En la Figura 1 se muestra un análisis comparativo de estas características.

Nombre del Kit	Access Evaluation Kit	RFID Asset Tracking KIT Portable Reader	RFID Asset Tracking KIT	RFID Develop Kit
Compañía	Axcess	Wavetrend	Wavetrend	DSS
Frecuencia	315 MHz	433.92 MHz	433.92 MHz	2.4 GHz
Alcance	35 pies en interior	50 pies	Más de 100 pies	Más de 30 metros
Tamaño	0.26 in x 1.2 in x 2.8 in	64 mm x 30 mm x 9 mm	64 mm x 30 mm x 9 mm	180 x 130 x 30 mm
Costo	\$3,354.00	\$1,895.00	\$995.00	\$1,145.00
Conector	USB	Serial, LAN, USB, Bluetooth	Serial, LAN, USB	Serial, USB
Encriptado	Si	Si	Si	Si
Batería	2 - 3 años	Más de 3 años	Más de 3 años	2 años
Algoritmo anticlisión	Si	Si	Si	Si

Figura 1.- Comparación entre equipos RFID activos

La conclusión que se obtuvo fue que el lector R500 de Wavetrend no sólo es el equipo más económico, sino que cuenta con el protocolo ISO y posee muy buenos alcances relativos a otras opciones (mayores a 50 metros). Además, es fabricado por una compañía líder en el mercado y posee una amplia documentación en proyectos que ya se han realizado con este equipo. Sus características de alcance, batería, dimensiones, etc. son muy semejantes a las de sus competidores como se puede ver en la tabla comparativa mostrada en la Figura 1 [4].

1.5.2 Manejo y caracterización del equipo

El segundo paso, una vez adquirido el equipo, fue aprender a utilizar el programa “*analyzer*” que permite explorar las características del equipo, pero no permite explotar esta información en ninguna otra aplicación.

Posteriormente se realizó una caracterización del equipo que nos permitió darnos cuenta de las máximas capacidades del equipo y de todos los puntos que debíamos cuidar así como la medida en la que impactaban en los resultados si no se encontraban bajo control.

1.5.3 Pruebas de triangulación

Posteriormente se intentó determinar si se podía inferir la distancia a la que se encontraba un TAG únicamente mediante su RSS para esto se desarrolló un programa de colecta de datos que se dejó corriendo adquiriendo los valores de RSSI a través del tiempo y bajo diferentes condiciones, con la finalidad de adquirir muchas más muestras que durante la caracterización y de una manera más objetiva ya que no hay interacción humana en el proceso de captura.

Los resultados de estas pruebas fueron desalentadores, ya que la precisión con la que se podía predecir la distancia sin ayuda de ningún algoritmo era de aproximadamente 20 metros, lo que nos dejaba muy por arriba de los límites permitidos por la ISO 24730 y por lo tanto recurrimos a una revisión bibliográfica para buscar alternativas que mejoraran la precisión.

1.5.4 Localización mediante Landmarc

Como resultado de dicha revisión se determinó que se continuaría mediante el uso del algoritmo Landmarc y que se adquirirían otros dos lectores R500 y 9 TAG's tipo T500 para poder realizar la localización mediante esta técnica y bajo condiciones distintas a las documentadas. Así mismo se envió la petición de solicitud de más equipo por parte de la universidad para mejorar aun más las características del sistema en proyectos posteriores.

1.5.5 Programación del algoritmo

Como paso siguiente se hizo la programación del algoritmo en Visual Studio y mientras el equipo llegaba se realizaron pruebas simuladas que se compararon contra los mismos datos analizados de manera manual y con ayuda de Excel, y se lograron detectar y corregir problemas hasta obtener los mismos resultados por los tres medios.

Se desarrolló la conexión de los equipos; la configuración que se adoptó fue la de tener cada lector en un puerto serial diferente de forma que operaran independientemente y se pudieran controlar más fácilmente.

1.5.6 Pruebas de localización

Por último se prosiguió a la colecta de datos en distintas configuraciones de interés, se evaluaron distintos puntos de interés en diferentes configuraciones y se analizó estadísticamente la información adquirida con el fin de concluir las capacidades y mejoras posibles para el sistema.

Capítulo 2: Conceptos teóricos

2.1 Introducción

A lo largo de este capítulo se presentarán los conceptos necesarios que permitan comprender la base teórica sobre la que se basa nuestro sistema. Se comenzará hablando de sistemas RTLS en general, para concluir con el sistema Landmarc en particular.

2.2 Sistemas RTLS

Para entender mejor el mundo de la localización en tiempo real es necesario tener en cuenta las demás tecnologías existentes, éstas se pueden clasificar mediante su principio de medición o mediante la tecnología que usan. En la clasificación por principio de medición, las tecnologías existentes se diferencian por sus métodos para localizar y determinar la posición de un objeto. Principalmente se manejan tres técnicas de medida el AOA, TOA- TDOA y RSS.

- **El sistemas AOA** (*Angle of Arrival*), es un método que se define como el ángulo que se obtiene entre la dirección de propagación de una onda contra una referencia para la cual conocemos su orientación, dicha referencia es una dirección contra la que medimos el ángulo de llegada, esta referencia se expresa en grados en dirección de las manecillas del reloj. La forma más común de obtener la medida del ángulo de llegada es usar un arreglo de antenas direccionales [5].
- **En el TOA-TDOA** (*Time Difference of Arrival*), las técnicas confían en la precisión de medir el tiempo entre el transmisor de la señal y el receptor para utilizar el retardo de propagación y así calcular la distancia entre el transmisor y el receptor. Por lo tanto, una sincronización exacta es también muy importante en tales sistemas. Combinando por lo

menos tres distancias a partir de tres posiciones de la referencia, la triangulación se puede utilizar para estimar la localización móvil de los objetos. Este tipo de técnica requiere un reloj de la alta exactitud en el sistema de comunicación. El sistema más conocido de esta tecnología es el popular GPS [5].

- **RSS y RSSI** (*Received Signal Strength, Received Signal Strength Indication*), generalmente requiere solamente la medida del RSSI, parámetro el cual es entregado generalmente por los equipos. Para estimar la localización de un objeto mediante una aproximación de huella digital, el sistema primero necesita medir la intensidad de la señal en diferentes puntos, los cuales fueron establecidos previamente. Después se saca un patrón, el cual se compara contra una base de datos que nos permite traducir la información del patrón en una posición. La desventaja de esta técnica es que se desperdicia mucho tiempo al tener que realizar una colección de datos representativa para reducir la probabilidad de error. Para lograr una localización mediante referencias, el sistema cuenta con emisores colocados en la zona a localizar y mediante la comparación constante entre el RSSI del objeto a localizar y el de estos emisores fijos se puede hacer una correlación que determine la ubicación. Por desgracia se requiere incorporar más equipo al sistema para poder realizar este tipo de localización [5].

2.2.1 Clasificación por tecnologías

Este tipo de tecnologías inalámbricas heredan ciertas características y limitaciones, las cuales afectan a la señal. La propagación, difracción, reflexión y la dispersión son básicamente las características que afectan a todos los tipos de señales. De manera conjunta el alcance efectivo, el ancho de banda disponible, regulaciones, la interferencia, la seguridad y el costo, limitan la

tecnología. Las tecnologías inalámbricas comúnmente utilizadas para sistemas de posicionamiento en interiores son infrarrojos, radiofrecuencia y ultrasonido.

- **Infrarrojo:** La señal infrarroja es una señal electromagnética de una longitud de onda más larga que la de la luz visible, pero más corto que el de las ondas de radio. El infrarrojo está apenas debajo del espectro visible de la luz en frecuencia y es irradiado fuertemente por los cuerpos calientes. Él infrarrojo no es capaz de atravesar las paredes o cualquier tipo de obstáculo; por lo tanto, tiene una gama algo limitada de ambientes de interior. Así, requiere de circuitería más sofisticada que señales del ultrasonido. La iluminación de interior interfiere con este tipo de señal y causa problemas en la detección. Tiene generalmente una gama de alrededor de cinco metros. Los dispositivos infrarrojos son generalmente más pequeños comparados con los de ultrasonido [5].
- **Radiofrecuencia:** La señal de radiofrecuencia puede penetrar casi todo tipo de material de construcción, por lo tanto, tiene una gama excelente en ambientes de interior. La velocidad de la propagación es también alta, aproximadamente 320 m/s. Cuenta con frecuencias restringidas o no autorizadas para telecomunicaciones, lo cual permite condiciones para su uso libre. Este tipo de señal tiene la gama más grande de frecuencias comparada con infrarrojo y ultrasonido. A pesar de que las ondas de propagación están dentro de una frecuencia más alta, la interferencia con otros componentes es menor que en las otras señales, aunque sí existe y es debida principalmente a metales ferro magnéticos y emisiones de radio en frecuencias próximas, aunque se pueden afectar por factores diversos como la temperatura, humedad o geometría del interior del edificio [5].
- **Ultrasonido:** Aunque el ultrasonido opere en bandas de baja frecuencia, comparado con las otras dos tecnologías, posee una buena precisión para la localización a una velocidad de propagación del sonido (343 m/s). Las ventajas de los dispositivos de ultrasonido son su

simplicidad, por lo que éstos son baratos. Sin embargo, el ultrasonido no penetra las paredes y la temperatura influye su funcionamiento [5].

En la Figura 2 se puede ver una comparación entre las principales características de estas aplicaciones.

Tecnología	Ventajas	Desventajas	Aplicación
Ultra Wide Band	- Transmite más información en menos tiempo. -Precisión (12-36 in).	-Tecnología en desarrollo.	-Aplicaciones a interiores como a exteriores.
Infrarrojo	-Dispositivos infrarrojos son más pequeños.	-No es capaz de atravesar las paredes o cualquier tipo de obstáculo. -Requiere de circuitería más sofisticada.	-Aplicación a exteriores.
Ultrasonido	-Buena precisión para la localización. -Dispositivos de bajo costo.	-No penetra las paredes. -La temperatura influye en su funcionamiento.	-Aplicación a interiores.
Radiofrecuencia	-Penetra casi todo tipo de material. -Gama más grande de frecuencias.	-Se afecta por la temperatura y humedad.	-Aplicación a interiores.

Figura 2.- Tecnologías usadas en RTLS

2.2.2 Sistemas RTLS comerciales

AeroScout, *PanGo Networks*, *Ekabu* son compañías protagonistas en el mercado de RTLS. Los primeros productos o sistemas RTLS se basaban en la tecnología WLAN, la llegada de la norma ISO/IEC 24730-2:2006 obligó a los proveedores a ajustar sus sistemas a los estándares propuestos por la norma. La localización se realiza utilizando dos técnicas el TDOA y RSSI. TDOA sus siglas se refieren a (*time difference of arrival*), es la diferencia de tiempo entre las señales que llegan al punto de acceso. La técnica de RSSI se refiere a la intensidad de potencia ya que es la intensidad de la señal del dispositivo medida desde el punto de acceso.

El ambiente es el que indica cuál es la mejor técnica ya que para el RSSI es mejor utilizarlo en ambientes interiores debido a que la atenuación con los diferentes obstáculos es menor, mientras que el TDOA es mucho más útil en exteriores [6].

2.2.2.1 Aeroscout

El *AeroScout Engine 3.0* ofrece una solución al problema del rastreo de activos, la ventaja de esta solución radica en que la compañía ofrece tags compatibles los cuales pueden ser utilizados por diferentes dispositivos, lo que permite que un producto etiquetado pueda ser localizado en diferentes lugares sin importar el sistema que utilicen. Con la ayuda de Cisco la compañía ofrece un RTLS capaz de satisfacer las necesidades de ambientes interiores como de exteriores, también ofrece aplicaciones en cuanto a seguridad y control de accesos con ayuda de su *AeroScout Exciter* hardware [6].

2.2.2.2 Pango

La plataforma PanOS es un sistema RTLS el cual contiene una plataforma que permite la integración de la infraestructura de una compañía, la plataforma cuenta con diferentes funciones como manejo de dispositivos, rastreo de activos entre otros, el RTLS cuenta con un middleware que

permite conocer información acerca de los dispositivos además de expresar la localización de dicho dispositivo [6].

2.2.2.3 Ekahau

La plataforma de Ekahau *Engine 3.1*, este RTLS es una completa solución que incluye software de servidor, software de aplicación y etiquetas. Ekahau RTLS puede localizar dispositivos Wi-Fi, como portátiles, asistentes digitales personalizados y otros artículos a los que se ha adjuntado la etiqueta de Ekahau [6].

2.2.2.4 3M

Utilizando tecnologías pioneras, 3M ofrece soluciones de seguimiento y localización que ofrecen valor al cliente mejorando la utilización de activos, seguridad utilizando RFID, RTLS, GPS, software y otras tecnologías. La División de 3M *Track and Trace Solutions* ofrece una amplia gama de aplicaciones diversas en muchas industrias, incluyendo sanidad, seguridad, aeroespacial y defensa, extracción mineral, petróleo y gas, gestión de flota y servicio de campo, cadena de suministro, construcción y servicios, bibliotecas, gestión legal y de documentación, gobierno y productos farmacéuticos [6].

2.2.2.5 WhereNet

WhereNet Corp., líder en soluciones inalámbricas para el rastreo y administración de bienes empresariales, anunció que *Broekman Group* está poniendo en funcionamiento un sistema de localización por RFID (identificación por radiofrecuencia) activa en tiempo real (RTLS, por sus siglas en inglés) de *WhereNet(R)*, en su terminal logística automotriz de más de 750.000 metros cuadrados, en el Puerto de Rotterdam. El sistema de rastreo inalámbrico de *WhereNet* ubicará en forma precisa cualquiera de los 40.000 vehículos estacionados en las instalaciones a una hora determinada, cubriendo el Rotterdam Car Terminal y el Rotterdam Car Center, ambos parte de la

división automotriz de *Broekman Group*. Para implementar este sistema -la instalación RFID/RTLS activa más grande del mundo- *WhereNet* se ha asociado con *Mieloo & Alexander*, una empresa consultora europea especializada en la optimización de procesos empresariales a través de la implementación de tecnología innovadora para sus clientes [6].

Cuando un vehículo nuevo llega al Rotterdam Car Terminal de *Broekman*, se le asigna un transmisor activo RFID *WhereTag(TM)* asociado al número de identificación del vehículo (VIN, por su sigla en inglés). El *WhereTag* permanece en el vehículo hasta que se haya procesado y esté preparado para ser enviado a uno de los cientos de distribuidores europeos. Las instalaciones del Rotterdam Car Terminal también incluyen 125 puntos de acceso de localización *WhereLAN(TM)* y 400 dispositivos *WherePort(TM)* que activan cada *WhereTag* para que emitan una señal cuando entren o salgan de un área específica. Este diseño habilita al sistema a registrar esta información automáticamente a la hora de entrada, salida y el tiempo de permanencia en las instalaciones.

2.2.2.6 GPS

Es un Sistema Global de Navegación por Satélite (GNSS), que permite determinar en todo el mundo la posición de un objeto, una persona, un vehículo o una nave, con una precisión hasta de centímetros. El GPS funciona mediante una red de 27 satélites (24 operativos y 3 de respaldo) en órbita sobre el globo, a 20.200 km, con trayectorias sincronizadas para cubrir toda la superficie de la Tierra. Cuando se desea determinar la posición, el receptor que se utiliza para ello localiza automáticamente como mínimo tres satélites de la red, de los que recibe unas señales indicando la posición y el reloj de cada uno de ellos. Con base en estas señales, el aparato sincroniza el reloj del GPS y calcula el retraso de las señales; es decir, la distancia al satélite. Por "triangulación" calcula la posición en que éste se encuentra [6].

La figura 3 muestra una comparación entre los equipos comerciales antes descritos.

Marca	Precisión	RTLS	Técnica utilizada	Norma	Aplicación Principal
Aeroscout	96.2cm	Wi-Fi	TDOA	ISO/IEC 24730-2:2006	Seguridad y control de accesos
Pango	93cm	Wi-Fi	TDOA	ISO/IEC 24730-2:2006	Rastreo de activos
Ekahau	1.23m	Wi-Fi	TDOA	ISO/IEC 24730-2:2006	Seguridad y localización de dispositivos
3M	1.8m	RFID y Wi-Fi	RSSI y TDOA	ISO/IEC 24730-2:2006	Cadena de suministros
WhereNet	1.5m	Wi-Fi	RSSI	ISO/IEC 24730-2:2006	Estacionamientos
GPS	50cm	Radio Frecuencia	TDOA	ISO/IEC 9001:2000	Ubicación de vehículos

Figura 3.-Marcas de sistemas RTLS [6]

2.2.3 Técnicas que utilizan RSS y RSSI

2.2.3.1 Triangulación

Para realizar una localización basada en RSSI se puede determinar la distancia a la que se encuentra un TAG tomando en cuenta que entre más lejos se encuentra un TAG, su intensidad de señal se reduce y esto se puede almacenar en una base de datos precisa que traduzcan el RSSI medido en una distancia. Posteriormente se aplica un algoritmo que estadísticamente reduzca el error y mejore la precisión, a continuación se realiza una triangulación basada en rangos en lugar de distancias, esto quiere decir que en lugar de determinar una distancia a la que se encuentra un TAG, se determina un intervalo en donde sea muy probable que se encuentre el TAG, y al triangular no se obtiene un punto en el espacio, sino que se obtiene una región de probabilidad en donde se puede encontrar el TAG a localizar. El diagrama suele lucir como se muestra en la Figura 4, donde cada lector tiene una zona de probabilidad en donde puede estar el TAG a localizar y una zona en donde estas áreas se intersectan y es donde se encuentra el TAG a localizar, esta técnica requiere un mayor número de lectores para mejorar la precisión y el error.

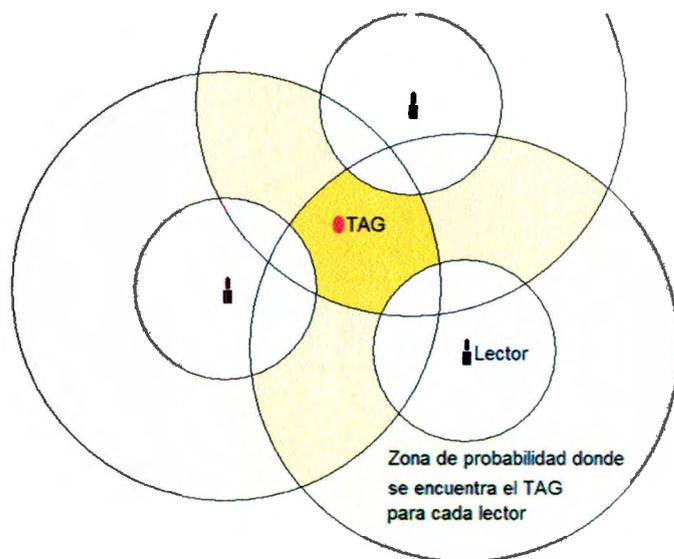


Figura 4.- Región de alta probabilidad donde se encuentra el TAG a localizar

2.2.3.2 Huella digital

La siguiente técnica para localización basada en RSSI usa una calibración por zonas basándose en el principio de que al caracterizar un punto en el espacio, las zonas próximas a este punto poseen características semejantes. Lo que se hace es seleccionar una cantidad de puntos a calibrar y se mantiene un muestreo generalmente de más de una hora en el punto para obtener suficientes muestras desde todos los puntos de vista. Cuando un TAG es detectado, se realiza determinado número de muestras. Se hacen pasar a través de un algoritmo y se concluye qué comportamiento presentan de forma que se les pueda asociar a alguna de las posiciones antes caracterizadas. Estos métodos se les llaman “huella digital” y el diagrama de la Figura 5 nos muestra como se representan:

Este modelo consta en identificar quién es el TAG de referencia más próximo al TAG que se desea detectar, luego localiza al segundo TAG más próximo y así consecutivamente hasta obtener el número de vecinos más próximos que se desee.

A continuación se asigna a cada TAG de referencia un porcentaje del valor total de la coordenada del TAG móvil para que aporte sus coordenadas de manera ponderada y luego suma las coordenadas de estos vecinos próximos de forma tal que el 100% de la coordenada del TAG móvil esté formada por un promedio ponderado de las coordenadas de los TAG's más próximos a éste, en la figura siguiente se puede ver un TAG móvil y sus cuatro vecinos más próximos y como la posición del TAG móvil se puede obtener al promediar las posiciones de sus vecinos.

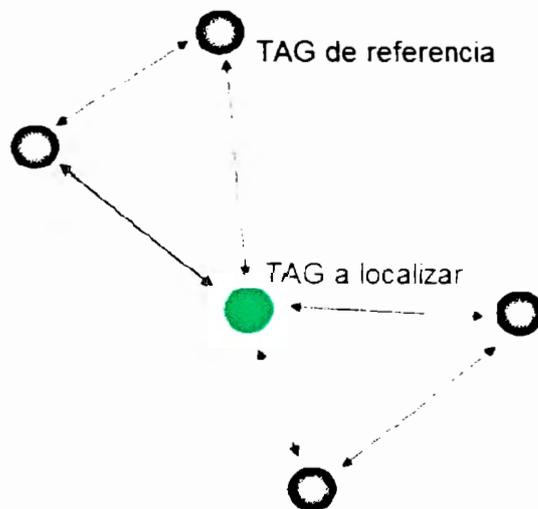


Figura 6.- Muestra un TAG móvil dentro de la casilla de TAG's fijos más próximos

En la Figura 7 se puede ver una comparación entre estas tres técnicas de localización que hacen uso de los valores de RSSI lograrlo.

Métodos	Ventajas	Desventajas
Triangulación	<ul style="list-style-type: none"> - Usa la menor cantidad de hardware. - No necesita referencias. 	<ul style="list-style-type: none"> - Poca precisión. - Se afecta fácilmente. - Requiere grandes bases de datos.
Huella digital	<ul style="list-style-type: none"> - No necesita referencias. - Posee buena precisión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requiere mucho tiempo de calibración. - Se afecta si se modifica su entorno. - Requiere grandes bases de datos.
Sistema de Referencia	<ul style="list-style-type: none"> - Se calibra rápidamente. - Se adapta a condiciones ambientales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Mayor costo en hardware.

Figura 7.- Métodos para sistemas RTLS

2.3 Sistema Landmarc

Para aumentar la exactitud sin la colocación de más lectores, el algoritmo Landmarc emplea el principio de utilizar TAG's fijos para ayudar a la calibración de la localización, ya que estos TAG's fijos están sujetos a los mismos efectos de distorsión del RSSI que poseen los TAG's móviles y si las condiciones varían todos los TAG's se afectan de manera similar y el sistema tiene un mejor desempeño sin necesidad de hacer calibraciones u otra cosa. Este sistema tiene tres ventajas importantes. Primero, no hay necesidad de una gran cantidad de lectores costosos de RFID activo; en lugar de ello se utilizan etiquetas más baratas. En segundo lugar, el ambiente puede ser acomodado fácilmente y solo se requiere determinar de manera precisa las coordenadas de los TAG's de referencia, esto se debe a que con estos TAG's de referencia se compensan muchos factores ambientales que contribuyen a las variaciones del RSSI y que de otra forma se tendrían que calibrar mediante un muestreo extenso cada vez que estos factores variaran. Tercero, la información

de localización es más exacta y confiable comparada con métodos como el de “huella digital”; todo esto hace que el uso de Landmarc sea más flexible y confiable.

Este algoritmo trabaja básicamente mediante una configuración física y 3 etapas.

La configuración física consta de tres o más lectores cuya señal cubra toda el área de trabajo, de preferencia que se encuentren en los extremos más lejanos del área; una superficie de TAG's fijos cuyas posiciones sean conocidas y finalmente uno o más TAG's móviles cuya posición se va a determinar y que se tiene que encontrar dentro de la superficie que ocupan los TAG's de referencia.

Las etapas son las siguientes:

Determinar los tres, cuatro o cinco TAG's fijos más próximos al TAG móvil, es recomendado por estudios previos que el número de vecinos próximos sean 4 pero puede variar. Después se deberá asignar una ponderación a las coordenadas de dichos TAG's más próximos, esto se refiere a que un TAG de referencia más próximo al TAG móvil debe tener mayor peso que un TAG de referencia más distante; y por último se determina la ubicación del TAG móvil mediante un promedio ponderado, esto es, dándole al TAG móvil una coordenada que se forme al promediar las coordenadas de los TAG's de referencia más próximos, pero dándole un peso mayor al TAG de referencia más próximo de los cuatro y reduciendo este peso con forme se encuentren más lejos.

La siguiente imagen muestra la configuración física con 3 lectores y con sus zonas de cobertura así como una cuadrícula de TAG's de 3 x 3 y tres TAG's móvil, uno lo más alejado de las referencias, el segundo muy próximo a una referencia y el tercero en medio de dos referencias.

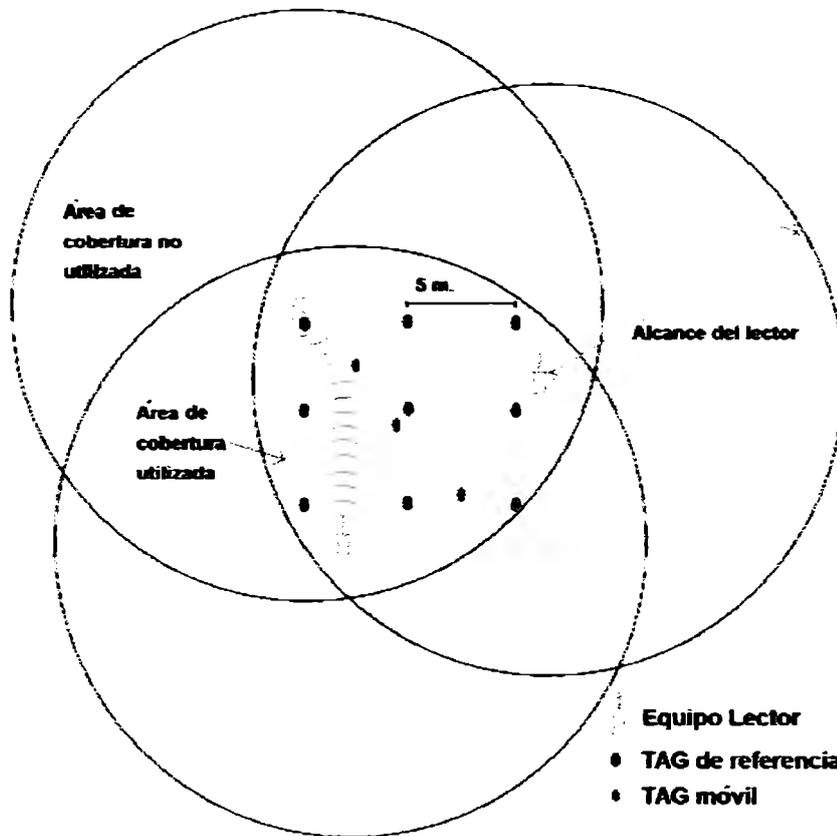


Figura 8.- Diagrama del sistema Landmarc

2.3.1 Ecuaciones del algoritmo

- Primera etapa:** para determinar cuál es el TAG más próximo se hace uso de la función “E”, que saca una relación entre la intensidad de señal de un TAG de referencia contra el TAG móvil y esto lo repite desde todos los puntos de vista, es decir desde todos los lectores. Al comparar la intensidad de señal se puede saber que tan próximo se encuentra ya que entre más próximos estén, en teoría, sus valores de RSSI se parecerán más y el valor de esta función será menor. La forma de la ecuación se muestra en la ecuación 1.

$$E_i = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\theta_i - S_i)^2} \quad \text{Ecuación 1 [8]}$$

Donde “j” es el número de TAG’s fijos o de referencia en el sistema, en nuestro caso son 9, “n” es el número de lectores del sistema, en nuestro caso son 3 y “θ” y “S” son los RSSI del TAG fijo “j” y del TAG móvil. El resultado es que “E” termina siendo la raíz de la suma del cuadrado de la diferencia de intensidades de señal de un TAG móvil “θ” y un TAG fijo “S” vistos desde “n” lectores, con lo que obtenemos 9 valores “E”, uno para cada TAG de referencia. Con esto se generan tantas funciones “E” como TAG’s fijos existan y se puede determinar qué TAG fijo es el más próximo simplemente buscando la función “E” con el valor más pequeño.

- **Segunda etapa:** Se asigna un peso a cada TAG de referencia, esto se logra al analizar los cuatro TAG’s de referencia más próximos al móvil, en otras palabras se seleccionan los cuatro valores de “E” más pequeños y se comparan entre ellos, al final se les reparte un porcentaje a cada TAG de referencia de forma que entre los cuatro sumen 100%, para asignar un peso a las coordenadas de cada TAG se utilizan varios métodos, pero experimentalmente el que mejores resultados ha arrojado y que es el que se utiliza actualmente en la función “Wj” mostrada en la ecuación 2.

$$w_j = \frac{\frac{1}{E_j^2}}{\sum_{i=1}^k \frac{1}{E_i^2}} \quad \text{Ecuación 2 [8]}$$

- Aquí lo que se hace es obtener un valor que le asigne una importancia a las coordenadas de un TAG fijo “j”, pero tomando en cuenta los demás valores de “E” de los cuatro TAG’s fijos más próximos, lo que hacemos es dividir el valor cuadrado inverso de “E” para incrementar su importancia y dividirlo entre la suma del inverso del cuadrado de los cuatro valores “E” más pequeños. Esto permite generar un vector “w” que contiene los coeficientes de peso que se le asignaron a cada TAG de referencia y permite que el

algoritmo funcione bien cuando el TAG móvil sea cambiado de posición ya que no se requiera ningún ajuste en el programa si se quiere colocar el TAG móvil en cualquier parte.

- **Tercera etapa:** se determina la posición del TAG móvil y esto se logra al utilizar las coordenadas de los cuatro TAG's de referencia más próximos al TAG móvil y la forma de hacerlo es multiplicando la coordenada de cada TAG de referencia por el porcentaje obtenido en el paso anterior, de forma que si un TAG móvil es colocado más próximo a una referencia, a este TAG de referencia se le asigna un mayor peso a la hora de determinar la posición y de igual forma si el TAG móvil se encuentra distante de todas las referencias, todas las referencias tendrán un peso similar a la hora de obtener la coordenada final. La función utilizada se muestra en la ecuación 3.

$$(x, y) = \sum_{i=1}^k w_i (x_i, y_i) \quad \text{Ecuación 3 [8]}$$

Las coordenadas (x, y) resultantes se obtiene mediante un promedio ponderado, en lugar de que cada coordenada aporte un porcentaje igual, se les asigna un porcentaje en la función "W", al realizar toda la lógica partiendo de que tanto se parezcan sus RSSI, en ningún momento se trabaja con una conversión a distancia, lo que simplifica mucho el proceso y permite incluso trabajar con otros equipos con características de RSSI diferentes simplemente variando los comandos de comunicación y sin alterar el algoritmo ni la lógica.

2.3.2 Sistema RTLS usando Filtro Kalman

Este modelo también utiliza un sistema de referencias para la localización de los TAG's móviles pero opera de manera diferente a como lo hace Landmarc.

Este modelo es utilizado para sistemas RTLS basados en puntos de acceso los cuales reciben señales de radio frecuencia y operan de manera conjunta con modelos computacionales, se

determina la posición relativa de un objeto transmisor con respecto a los receptores los cuales son capaces de reportar la posición de dicho objeto. Los sistemas RTLS tienen una amplia gama de aplicaciones ya que han sido aplicados a diferentes áreas tales como manejo de automóviles o rastreo de activos. El problema más común o demandante que tienen que resolver este tipo de sistemas es el de la exactitud. El sistema NLOS (*non line of sight*) propone un sistema el cual realiza una estimación de una etiqueta en vez de la localización la cual requiere usar el diferencial de tiempo de llegada (TDOA). Este modelo utiliza un filtro el cual recibe el nombre de Kalman para incrementar la precisión, este filtro es un conjunto de ecuaciones matemáticas que proveen una solución recursiva eficiente del método de mínimos cuadrados.

Esta solución permite calcular un estimador lineal óptimo del estado de un proceso en cada momento del tiempo con base en la información disponible en el momento $t-1$, y actualizar, con la información adicional disponible en el momento t . Este filtro es el principal algoritmo para estimar sistemas dinámicos especificados en la forma de estado-espacio (*State-space*). El filtro Kalman consiste en un conjunto de ecuaciones matemáticas que proveen una solución recursiva óptima, por el método de mínimos cuadrados. La meta de esta solución consiste en calcular un estimador lineal y óptimo del estado de un sistema. El filtro se desempeña suponiendo que el sistema puede ser descrito a través de un modelo estocástico lineal, en donde el error asociado tanto al sistema como a la información adicional que se incorpora en el mismo tiene una distribución normal con media cero y varianza determinada [8].

Capítulo 3: Desarrollo del sistema

3.1 Introducción

Dentro de este capítulo se hablará sobre el hardware utilizado, software adquirido y desarrollado y pruebas realizadas. Las pruebas consisten en la caracterización del equipo y en la evaluación del sistema Landmarc.

3.2 Equipo utilizado

3.2.1 Lectores

El equipo lector que se utilizó en este proyecto fue el R500 con código específico L-RX201, que usa los protocolos de comunicación por RJ-45, RS232 y RS485.

Posee una capacidad para colocar hasta 255 lectores en red, suministrados a 12 Volts mediante cable UTP en configuración *Power Over Ethernet* para lograr el suministro de energía eléctrica.

Cada lector cuenta con dos puertos RJ-45, el izquierdo para la entrada de comandos y comunicación hacia el ordenador y el derecho para continuar con la red en caso de que así se desee.

Cada puerto RJ-45 usa al menos 4 de sus pines durante la operación, en dos de ellos van 0 y 12 Volts y en los otros dos va la información y la información negada para evitar errores, los otros pines se utilizan para programación de los lectores en fábrica.

Operan a 433MHz, con la información en la interfaz aire en ASK y a 115, 200 baudios como máximo, en paquetes de 8 bit's, utilizando paridad non y con checksum por seguridad [9].



Figura 9.- Equipo lector R500

3.2.2 Antenas

Se hizo uso de la antena AA-STUB con rango de operación de 400MHz a 450MHz con conectores BNC, una ganancia de -3dB y un máximo de 100 Watt's, entregando una sensibilidad de hasta -103dB al lector antes descrito[9].



Figura 10.- Antena STUB

3.2.3 TAG's

Se utilizaron los TAG's T-100, T-500 y T-800, donde el TAG T-100 con código L-TG100, cuenta con sensor magnético, transmisión de datos cada 0.8 segundos, vida de batería de hasta 5 años, antena externa, algoritmo anticollisiones, ID único, pesa 15 gramos, opera a 433MHz, transmite en ASK y lo hace encriptado [9].

El TAG T-500 con código L-TG500, con sensor magnético, transmisión de datos cada 0.8 segundos, una vida de batería de hasta 5 años, algoritmo anticollisiones, ID único, pesa 15 gramos, opera a 433MHz, transmite en ASK y lo hace encriptado [9].

Por último el TAG T-800 con código L-TG800, también posee sensor magnético y una resistencia especial ante la presencia de metales, transmisión de datos cada 0.8 segundos, vida de batería de hasta 5 años, algoritmo anticollisiones, ID único, 25 gramos, opera a 433MHz, transmite en ASK y lo hace encriptado [9].



Figura 11.- TAG's T100, T800 y T500

3.2.3.1 Comparación entre TAG's

Número de TAG	Alcance	Ventajas	Desventajas	Aplicación Principal
T100	50m	Tamaño Contiene Sensores Batería prolongada	Mal desempeño en presencia de metales	Rastreo de Activos
T500	60m	Tamaño Contiene Sensores Batería prolongada Optimo desempeño para la monitorear movimiento	Atenuación mínima en presencia de metales	Rastreo y Monitoreo de activos Localización de personal
T800	45m	Optimo desempeño en presencia de metales Contiene Sensores	Tamaño Batería reducida Menor Alcance	Rastreo de activos en áreas pequeñas

Figura12.- Tabla comparativa de TAG's [4]

La información entregada por la tabla mostrada en la Figura indica que el TAG T500 es el más optimo para la implementación del sistema RTLS, debido a que de los tres TAG's evaluados es el que presenta mejores características de alcance a pesar que sufre una atenuación mínima en presencia de metales además este TAG es el que está diseñado para utilizarse en mayor número de aplicaciones entre las que destacan la localización de personal lo cual lo hace ideal para nuestra aplicación. Por otra parte el TAG T500 es el único de los tres evaluados que es capaz usarse en aplicaciones para monitorear movimiento lo cual da pauta para aplicaciones o mejoras a nuestro sistema.

3.3 Software adquirido

Nombre completo del programa de demostración: *Reader Network Analyzer*, permite verificar el correcto comportamiento de todas las características de lectores y TAG's sin permitir hacer uso de la información en otras aplicaciones.

Se puede configurar una o más redes, modificar los valores de Reader ID y Network ID que se utilizan para técnicas avanzadas de comunicación en redes, permite activar el modo automático de búsqueda de TAG's, adquirir toda la información referida a los TAG's desde su ID, vida de batería, hasta los valores del sensor magnético. Se pueden realizar pruebas como una secuencia de envíos de solicitudes de ping para verificar la capacidad de la red para responder peticiones.

3.4 Software desarrollado

3.4.1 Software para la comunicación con el equipo

Siguiendo las hojas de especificación se desarrolló la comunicación con equipo. Estas instrucciones son un arreglo de datos en el cual le enviamos una palabra la cual establece los parámetros deseados para el funcionamiento del equipo.

Los parámetros enviados son *Ping*, *Bauderate* y *Getpacket*. El *Ping* y el *Bauderate* son parámetros de inicialización del equipo mientras que el *Getpacket* es el parámetro encargado de establecer la comunicación con el hardware y los TAG's. Para el fin de la aplicación de localización dentro de esta palabra se encuentra especificado a qué lector le estamos hablando y desde ése adquirimos la información deseada.

Estos comandos se muestran detalladamente a continuación:

```
uint8_t ping = 0x00, bauderate = 0x00;  
uint8_t ping = 0x2A, 0x01, 0x01, 0x01, 0x01, 0x0B, 0x10 ;
```

El comando Ping me permite revisar si un lector se encuentra en la red; éste puede ser usado para obtener *Network ID*, *Reader ID* y el *Node ID*. En caso de error la respuesta que entrega, este comando establece un número el cual se ubica en la posición cinco de la palabra de respuesta:

```
// velocidad de comunicación
[] setbaudrate = { 0xAA, 0x01, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0x00, 0x00 };
```

El comando *Baudrate* permite ajustar la velocidad en la que se mandarían los datos y debe fijarse la misma velocidad a la que se le diga al puerto que va a operar, ya que si las dos velocidades no son las mismas los equipos no podrán comunicarse. La posición seis de esta palabra es la que indica esta velocidad de comunicación:

```
// velocidad de comunicación del lector
[] gettagpacket = { 0xAA, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00 };
```

Getpacket es el comando más común en cualquier sistema de RFID, ya que su función es realizar la petición para acceder a la información del lector. Esta información comprende los datos relacionados al TAG's, los cuales nos permiten explotar la información. En ésta palabra la posición cuatro es la que nos permite indicar a qué lector le estamos hablando.

```
// velocidad de comunicación del lector
gettagpacket = { 0xAA, 0x00, 0x00, 0x00, 0x00, 0x06, 0x00 };
```

3.4.2 Software de aplicación

Se desarrolló una interfaz para simular el potencial del equipo Wavetrend aplicado a control de accesos en nuestra universidad. Se programó una base de datos en el software *MySQL* que contenía la relación entre los TAG's y la información de quien tenía asignado dicho TAG; el usuario, por así decirlo. Las Figuras 13 y 14 muestran un poco de dicha base de datos:

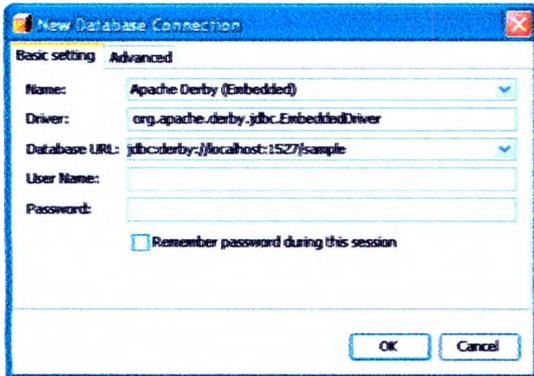


Figura 13.- Conexión a base de datos



Figura 14.- Conector de base de datos

La base de datos en *MySQL* quedó ligada a la interfaz desarrollada en *NetBeans*, en donde se creó una aplicación de demostración que permite administrar accesos y vigilar personal, vehículos y computadores personales simultáneamente mediante pestañas en la parte superior de la interfaz. Las Figuras 15 y 16 muestran dicha interfaz.

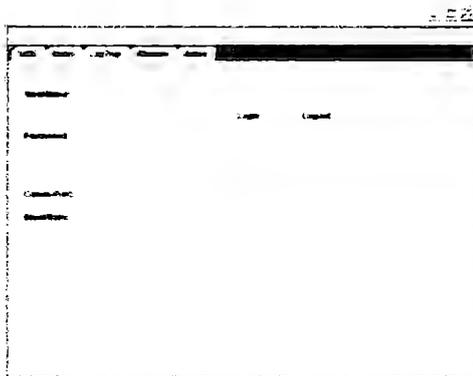


Figura 15.- Interfaz para control de accesos

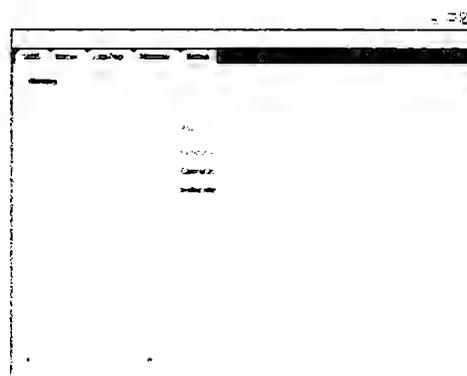


Figura 16.- Control de acceso de autos

Para la realización del software de control de accesos utilizamos *NetBeans* debido a que este programa nos permite programar las interfaces de manera más amigable ya que ofrece opciones las cuales crean la interfaz de manera gráfica de acuerdo al usuario y a su vez generan el código correspondiente de manera automática. Decidimos utilizar *MySQL* para crear la base de datos debido a que existe un conector entre estos dos software el cual me permite manipular la base de datos desde *NetBeans*. El conector también hace la función de desplegar los datos en los campos correspondientes de la interfaz.

3.4.3 Software de adquisición de muestras

Para la adquisición de las muestras de una manera más eficiente y objetiva se desarrolló un programa capaz de coleccionar el número de muestras que se desearan y que al finalizar el almacenamiento de las muestras lo guardara todo en un archivo de Excel para un rápido análisis de los datos. Este programa realiza peticiones al lector cada segundo y guarda en un arreglo la información que le contesta el lector, en dicho arreglo se almacena el ID del TAG, el valor de RSSI que entregó y desde que nodo fue visto este TAG, esto es porque existe la posibilidad de colocar más de un lector en una red y es importante saber que lector es el que está viendo un TAG determinado.

El software de adquisición de muestras fue realizado en el lenguaje de programación C#, optamos por este lenguaje debido a que es el utilizado por el fabricante del equipo, también se hace referencia a este lenguaje en la hoja de protocolos que contenía los comandos para realizar la comunicación.

3.4.4 Software del sistema Landmarc

El algoritmo comienza con la captura de información requerida y no permite que comience la matemática hasta que la información se encuentra completa, de esta manera se evita una programación compleja. Se comienza desde la perspectiva del primer lector y se localizan todos los TAG's, se guardan sus valores de RSSI y una vez terminando con el primer lector, el ciclo atiende al segundo y al tercero sucesivamente hasta llenar la memoria con todos los RSSI que se van a requerir para los cálculos. En cada paso del ciclo la información va siendo almacenada en un arreglo que guarda el ID del TAG detectado y su RSSI y al término del ciclo ordena dicho arreglo tomando como referencia el ID de los TAG's, de forma que siempre queden en la misma posición.

A continuación se programó la función "E" del algoritmo. Para esto se ordenaron los arreglos y fácilmente se pueden realizar las matemáticas de un algoritmo y obtener las funciones "E"s

correspondientes a la relación entre el TAG móvil y algún otro TAG fijo. Una vez que se realizan las matemáticas se almacenan en otro banco y se ordenan de menor a mayor, ya que mientras más chico es el valor de “E”, significa que el TAG móvil se encuentra más cerca de esa referencia, pero al realizar este reordenamiento no se pierde de vista a que ID corresponde cada valor “E”.

A continuación se programó la función “W” del algoritmo y para esto se tomaron únicamente los cuatro valores más pequeños de “E”’s que representan los vecinos más próximos y esto fue debido se decidió utilizar a los cuatro TAG’s de referencia más próximos para realizar la localización. Después de resolver las matemáticas correspondientes se utilizó de un nuevo banco con los valores de las “W”’s resultantes.

Finalmente se creó la clase “coordenada”, la cual despliega la coordenada del TAG móvil utilizando las “W”’s obtenidas anteriormente junto con las coordenadas que introducimos en el programa, que son las coordenadas correspondientes a los TAG’s de referencia de la cuadrícula.

El diagrama de flujo describe el proceso que hace el programa encargado de realizar la aplicación de Landmarc. El diagrama puede dividirse en tres partes, la primera como se puede observar en la Figura 17 encargada de la inicialización de comandos para establecer la comunicación así como la introducción de las coordenadas de la cuadrícula de referencia. Las otras partes del programa son dos ciclos, el primero comienza con (Reiniciar conteo de Lectores), este permite la captura de información y la atención a los tres lectores, ya con la información adquirida el segundo ciclo comienza con el cálculo de la función E y es el encargado de realizar los cálculos pertinentes para arrojar la coordenada del TAG móvil así como de reiniciar el sistema.

El programa comienza por la inicialización del PING, *SETBAUDE RATE* y *GET PACKET*, estos comandos son los que necesitamos establecer para poder tener una comunicación exitosa con el equipo. Posteriormente se introducen las coordenadas correspondientes a la cuadrícula de referencia para poder calcular la coordenada del TAG móvil.

El siguiente paso es utilizar una instrucción la cual nos permite abrir el puerto, una vez que el puerto está abierto mandamos los comandos establecidos en el paso anteriores para completar la comunicación con el equipo.

Una vez que se estableció la comunicación el programa realiza la atención a los tres lectores de la siguiente manera: primero atiende al lector conectado a puerto *USB* que se encuentra en el COM4, este hace una lectura hasta que encuentra diez TAG's y los almacena en un arreglo, una vez que esto sucede el programa incrementa un contador el cual ocasiona que el programa atienda al segundo lector para repetir el mismo proceso de coleccionar los datos y almacenarlos en arreglos para el lector dos y el lector tres.

Al tener los arreglos llenos de datos para los tres lectores realiza el cálculo y el almacenado de los valores que corresponden a las ecuaciones del algoritmo Landmarc para determinar la posición del TAG móvil. Finalmente el programa despliega la indicación para repetir el proceso o finalizarlo.

Figura 17.- Diagrama de flujo del programa

La Figura 18 muestra al programa en funcionamiento, en la imagen se pueden ver los valores E adquiridos para cada TAG de referencia, así como los valores W calculados, con sus respectivas posiciones y la posición final calculada:

```

C:\DOCUME~1\USUARI~1\CONFIG~1\Temp\RarSEX01.281\DEMO\RFID\RFID\bin\Debug\RFID.... - @ x
Eo
Pos = 3. E = 2.82842712474619
Pos = 5. E = 20.3960780543711
Pos = 4. E = 20.6155281280883
Pos = 2. E = 32.3882674814033
Pos = 1. E = 34.938498293146

Wo
Pos = 0.956314950278875. E = 3
Pos = 0.0183906721207476. E = 5
Pos = 0.0180012225934847. E = 4
Pos = 0.00729315500689323. E = 2

Banco Final
9.83511508932733. 0.344897136607517
Coordenada promedio: 9.83511508932733. 0.344897136607517
    
```

Figura 18.- Programa Landmarc operando

3.5 Caracterización del equipo

A continuación hablaremos sobre la caracterización del equipo y todo lo referente a la medición del RSSI y lo importante que es tener bajo control las variables que afectan dichas y que repercuten en el resultado final del sistema.

3.5.1 Caracterización del lector

Se realizó una prueba para caracterizar al lector, en la cual se generó una cuadrícula de seis por seis, donde cada cuadro posee una longitud de un metro y el lector se encuentra en el centro del área. Las muestras de intensidad de señal RSSI se realizaron con el TAG T500 colocándolo en todos los vértices de dicha cuadrícula, obteniendo cuarenta y nueve muestras por cada nivel y se tomaron las cuarenta y nueve muestras en cuatro diferentes niveles, a fin de generar un volumen tridimensional: el primero a un metro veinte centímetros por debajo del Lector, el segundo al mismo nivel que el

lector, el tercero a un metro veinte centímetros sobre el Lector y el cuarto a dos metros con cuarenta centímetros sobre el Lector.

Cabe mencionar que, debido a que las muestras se realizaron a muy poca distancia del Lector y en una posición muy específica, los valores no cambiaron con importancia entre las muestras que se tomaron, por lo que se procedió a tomar únicamente dos veces la medición en los niveles. Los cuatro niveles en los que se tomaron las mediciones se muestran en la siguiente figura:

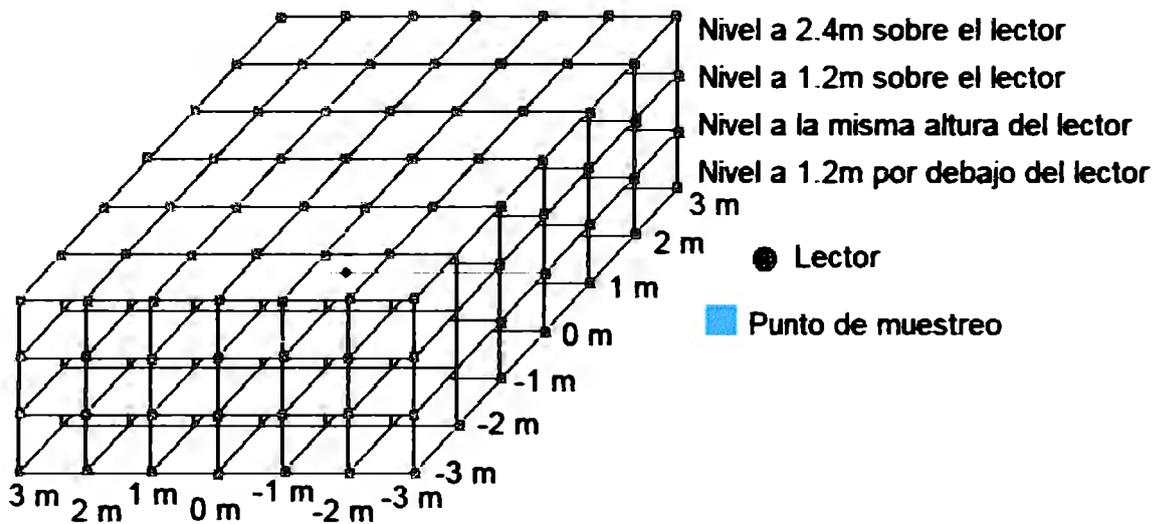


Figura 19.- Cuadrícula de medición que muestra los puntos de medición y el del lector

Se generaron las siguientes gráficas con los comportamientos del RSSI para los cuatro niveles antes descritos, en los ejes X y Y se encuentran las distancias a las que se tomó cada medición tomando como cero la posición del lector y en el eje Z se muestra el valor de RSSI adquirido.



Figura 20.- Superficie Superior

Figura 21.- Superficie a 1.2 metros

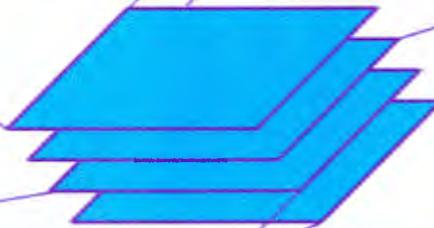


Figura 22.- Superficie al nivel del lector

Figura 23.- Superficie Inferior

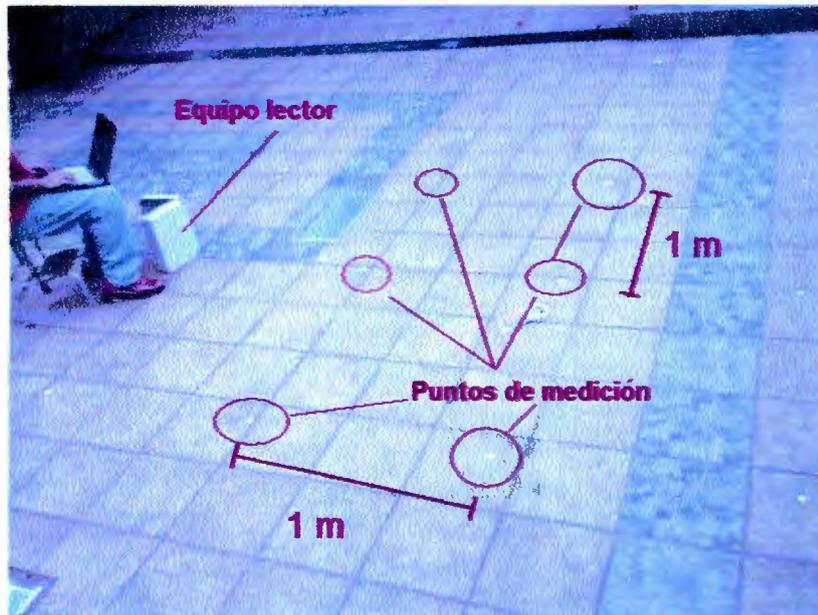


Figura 24.- Fotografía que muestra los puntos donde se tomaron las mediciones

Como se puede ver en las Figuras 20 a la 23 la intensidad del RSSI se mantiene con valores semejantes a distancias radiales equivalentes y al tomar mediciones en diferentes niveles se nota como varia la intensidad de RSSI, con lo que se puede concluir que se debe de mantener una misma altura entre TAG y lector para maximizar el alcance.

3.5.2 Factores que afectan al RSSI

Es muy importante entender qué factores influyen en las mediciones de RSSI, ya que es la variable que se va a utilizar para realizar la localización: por cada factor que pasemos por alto es un área de oportunidad que estamos ignorando, y por cada factor que logremos controlar podremos incrementar la precisión del sistema.

Estos factores se pueden agrupar de manera simple en la siguiente lista:

- Presencia de metales u otros materiales
- Interferencia electromagnética de cualquier tipo
- Orientación de los lectores
- Orientación de los TAG's

Tecnológico de Monterrey, Campus Ciudad de México
Biblioteca

- Modelo de lectores y de TAG's
- Nivel de batería de los TAG's
- Temperatura y humedad del ambiente
- Geometría interna del lugar
- Velocidad del TAG

3.5.3 Orientación del TAG

La orientación del TAG es importante para obtener una mejor lectura de RSSI y las pruebas a continuación descritas muestran la importancia de controlar este factor.

Se realizaron treinta muestras con los TAG's T100, T500 y T800 a cinco, diez, quince y veinte metros de distancia del lector y a una altura de metro como se ilustra en la Figuras 27 y 28 con seis diferentes orientaciones descritas a continuación y con base en los vectores mostrados en las Figuras 25 y 26.

Orientación Cero.- Vector Lector en dirección al lector y el Vector 0 en dirección del cielo.

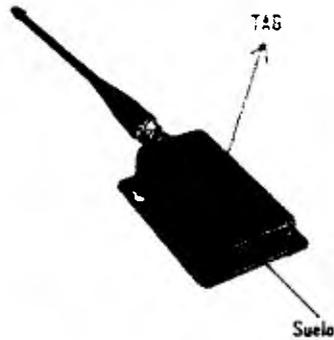
Orientación Tres.- Vector Lector en dirección al lector y el Vector 3 en dirección del cielo.

Orientación Seis.- Vector Lector en dirección al lector y el Vector 6 en dirección del cielo.

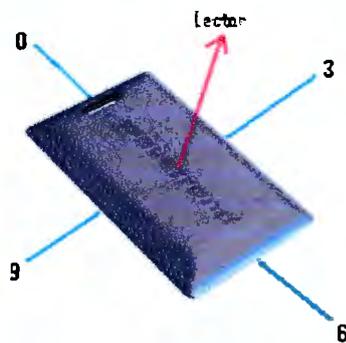
Orientación Nueve.- Vector Lector en dirección al lector y el Vector 9 en dirección del cielo.

Orientación Frontal.- Vector Lector en dirección del cielo y el Vector 0 en dirección al lector.

Orientación Trasera.- Vector Lector en dirección del cielo y el Vector 6 en dirección al lector.



Figuras 25.- Vectores usados en el lector



Figuras 26.- Vectores usados en los TAG's



Figuras 27.- Lugar de prueba de orientación del TAG

De lo anterior se obtuvieron las siguientes tres gráficas, donde cada color representa la media y desviaciones superior e inferior de cada una de las seis orientaciones:

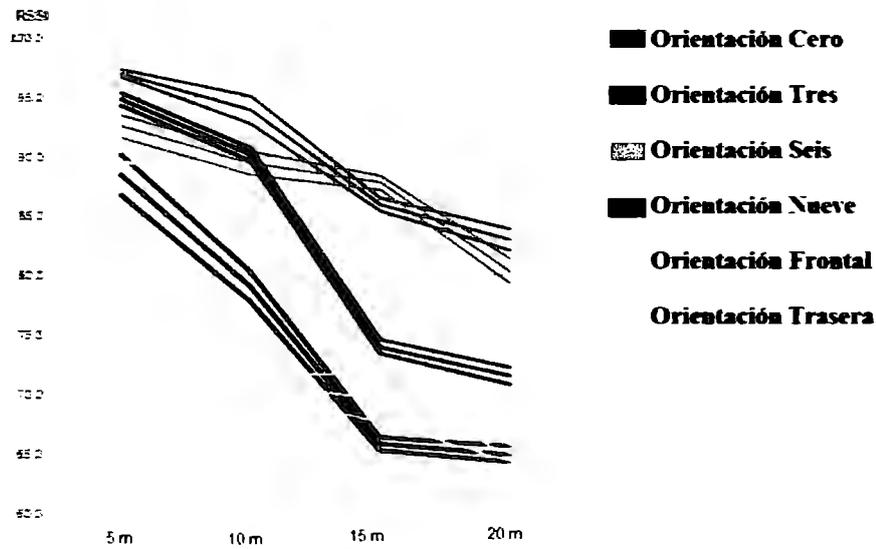


Figura 28.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T800

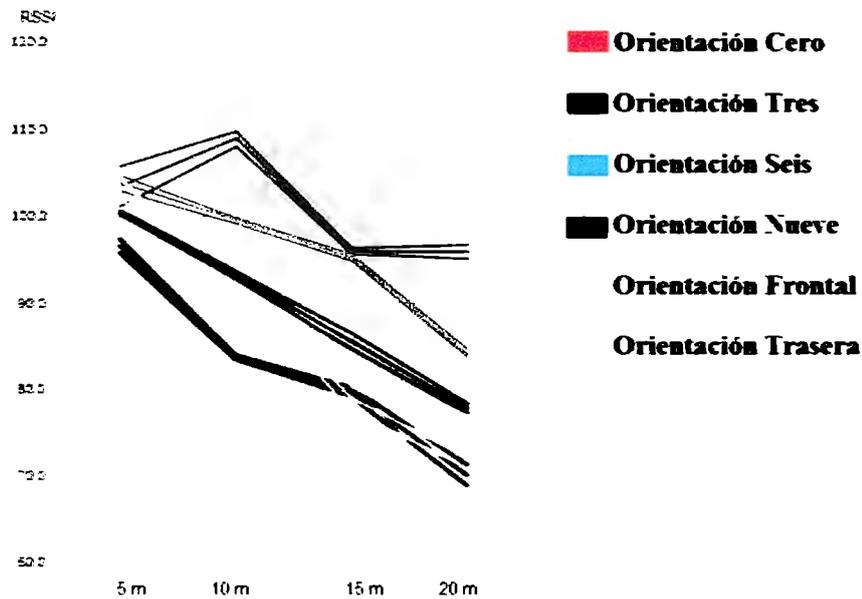


Figura 29.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T500

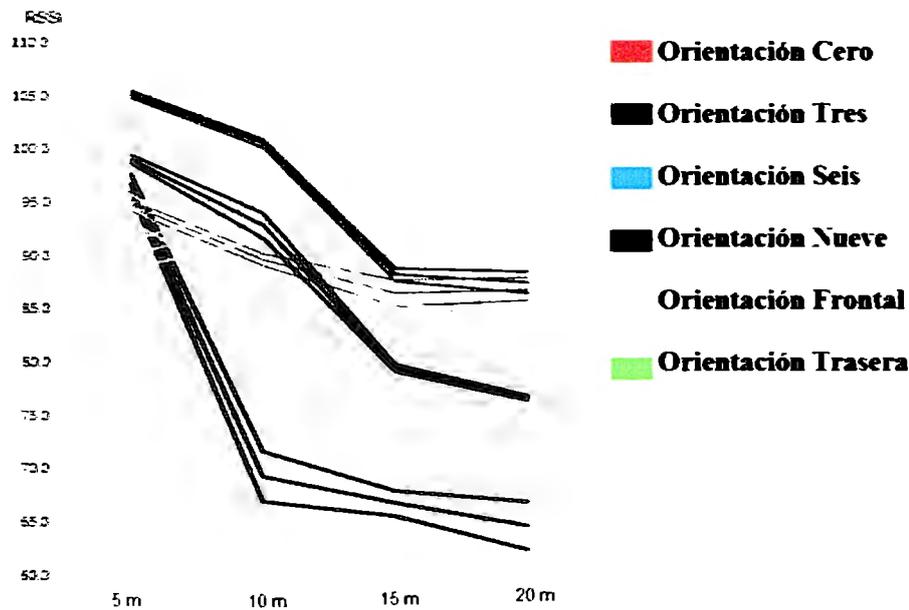


Figura 30.- Gráfica de RSSI contra distancia variando la orientación, para el TAG T100

Con estas pruebas nos dimos cuenta del efecto que genera la orientación del TAG y por ello se tomó la decisión de mantener todos los TAG's utilizados en el proyecto en la orientación que mejores resultados consigo, llamada Orientación Cero para fines de esta prueba, esto con la finalidad de mitigar lo más posible este efecto.

3.5.4 Interferencia de materiales

El objetivo de las siguientes pruebas fue determinar el alcance máximo al que se pueden detectar los TAG's sin interferencia (condiciones ideales), al igual que con las siguientes interferencias: plástico, metal, vidrio, madera y agua, de forma tal que se pudiera ver qué efecto generan los materiales en el RSSI. Para estas pruebas los TAG's fueron colocados sobre las superficies simulando el efecto que tendría el colocarlos en diferentes superficies al momento de usarlos en una determinada aplicación y se utilizó en escenario mostrado en la Figura 37.

Debido a la variabilidad del RSSI en esta prueba se consideró tomar treinta muestras por cada uno de los TAG's T800, T500 y T100 y se realizaron dichas muestras cada cinco metros, con

la orientación óptima siempre y a una altura de un metro y veinte centímetros sobre el nivel del suelo, a la misma altura a la que se encontraba el lector.

La información recopilada se analizó estadísticamente y se obtuvieron una media y su desviación estándar tanto superior como inferior. En las Figuras 31 a la 36 se muestra la información gráficamente en donde el eje de las X representa la distancia a la que se realizó un grupo de muestras y en el eje de las Y el valor de RSSI adquirido. Las líneas de un mismo color pertenecen a un mismo modelo de TAG y la media es la línea central mientras que las otras dos líneas representan los límites superior e inferior para de las muestras. Cada gráfica muestra mediciones bajo el efecto de diferente material y muestra tres líneas para cada TAG, estas líneas representan la media y la desviación estándar superior e inferior.



Figura 31.- Gráfica de Distancia contra RSSI sin interferencia

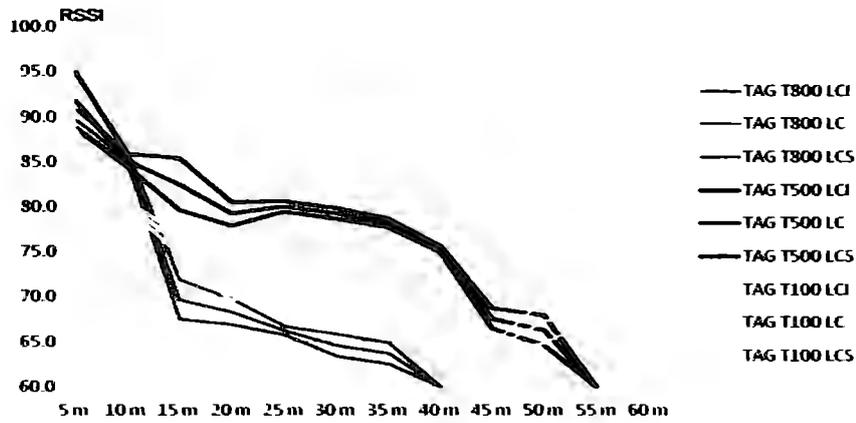


Figura 32.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de plásticos

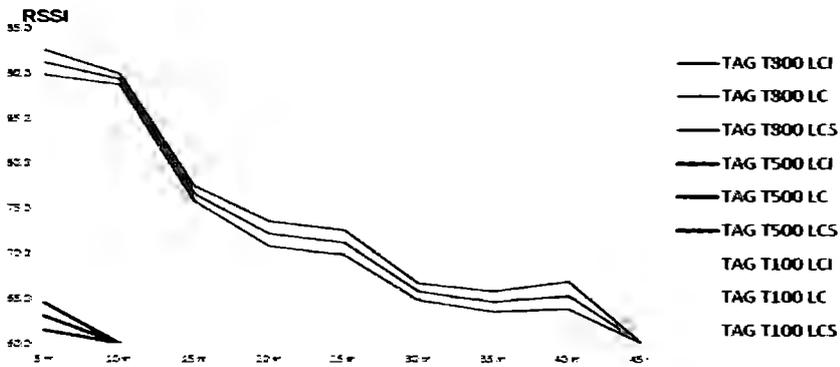


Figura 33.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia metálica

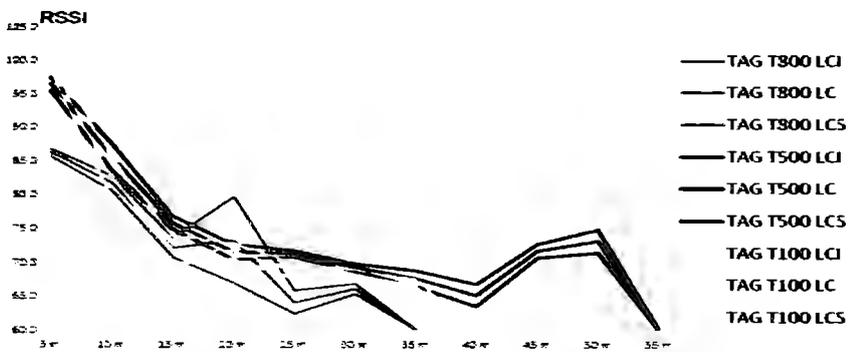


Figura 34.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de vidrios

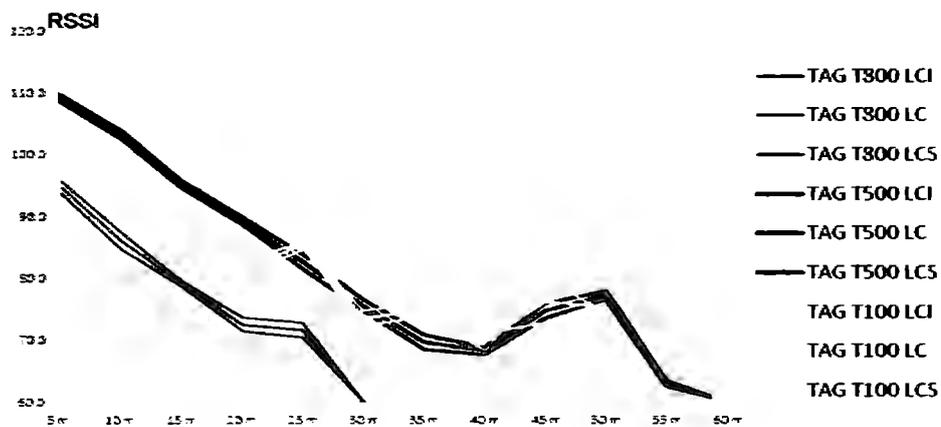


Figura 35.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia de madera

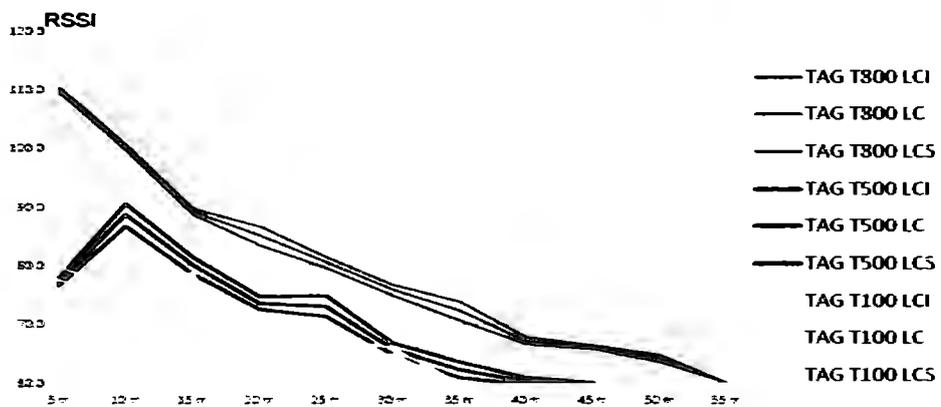


Figura 36.- Gráfica de Distancia contra RSSI con interferencia con agua (sólo en esta prueba se colocaron los TAG's atrás del contenedor plástico con agua)



Figura 37.- Escenario de pruebas de materiales y distancia

Con este análisis se pudo identificar el comportamiento del RSSI de cada TAG ante las diferentes interferencias, cabe resaltar que el único efecto que realmente preocupa es el obtenido con presencia de metales, esta característica es de suma importancia para evitar problemas de interferencia en cualquier sistema ya que en el lugar donde se realicen las pruebas tiene que estar libre de metales que interfieran con el RSSI para obtener resultados adecuados y, por otra parte, sirve para ver qué problemas o efectos puede tener un proyecto o aplicación que tenga material próximos a los TAG's. Así mismo, en estas pruebas se puede ver la problemática que se tiene al intentar utilizar el RSSI para determinar la distancia a la que se encuentra un TAG y así realizar triangulación para determinar la posición de un objeto.

3.5.5 Factores que modifican el comportamiento del RSSI

Existen diferentes factores que deben de considerarse al momento de realizar el diseño ya que pueden afectar la intensidad de señal algunos de estos serían los factores atmosféricos (como la nieve, la lluvia, la temperatura) ya que pueden interferir en la señal, la vida de la batería y la circuitería interna; el factor climático es importante considerarlo cuando se quieren realizar enlaces inalámbricos en exteriores. Normalmente las interferencias de RF son causadas por aparatos que

están emitiendo en las cercanías o en la misma banda y mismo canal que nosotros. También se consideran interferencias a las transmisiones del tipo WI-FI que estén en el mismo canal que nuestra señal, por lo que siempre es conveniente utilizar el canal menos utilizado. Incluso otros sistemas de RF como puede ser microondas o cualquier otro sistema también puede interferir y degradar el nivel de nuestra señal.

3.5.6 Pruebas de velocidad

Se hicieron pruebas a velocidad para determinar el comportamiento del sistema a altas velocidades, y se encontró que es capaz de detectar la mayoría de las veces incluso a una velocidad del TAG de 100 kilómetros por hora. La gráfica siguiente muestra el porcentaje de éxito de detección para los TAG's T800, T500 y T100 pasando a 2 metros del lector y a intervalos de velocidad de 20 kilómetros por hora y repitiendo 5 veces cada velocidad y cada TAG, colocando el TAG en la parte frontal del vehículo, sobre el tablero.



Figura 38.- Posición del TAG en el vehículo



Figura 39.- Lugar de Prueba de Velocidad

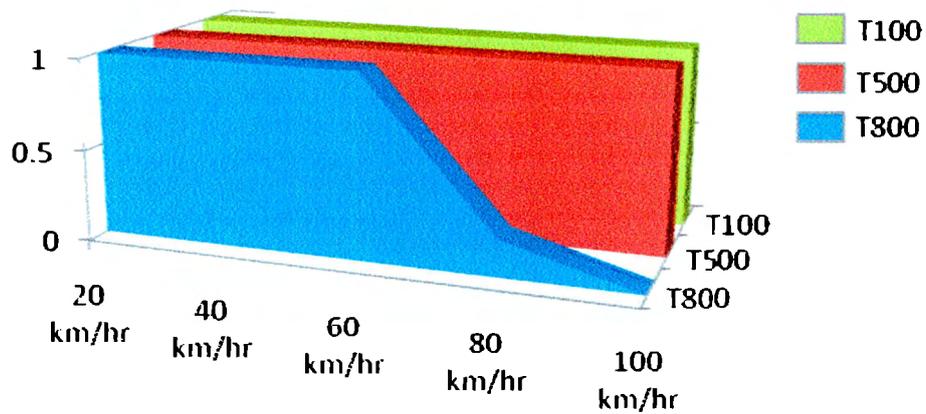


Figura 40.- Velocidad contra porcentaje de detección

A continuación, se realizaron pruebas de detección con alta interferencia de metales y a velocidad. Esta prueba sólo se realizó con el TAG T800, que está especialmente diseñado para trabajar bajo estas condiciones extremas. En estas pruebas el TAG fue colocado en el interior de un portafolio de aluminio que contenía una laptop, y que se encontraba en la cajuela de un vehículo. El auto pasó a un metro del lector a 20 y 40 kilómetros por hora y fue detectado el 80% y 20% de las veces respectivamente.

3.5.7 Pruebas utilizando Landmarc

Se realizaron diferentes pruebas para determinar las capacidades del equipo, las primeras pruebas realizadas constaron de modificar la distancia entre TAG's de referencia, se colocaron a 3 metros entre sí, a 4 metros entre sí y a 5 metros entre sí. La siguiente serie de pruebas que se realizaron fueron modificando la posición del TAG móvil en puntos de interés y por último se realizó una prueba colocando una mayor distancia entre referencias, 10 metros entre referencias y TAG móvil.

3.5.7.1 Pruebas modificando la distancia entre referencias

El objetivo de estas pruebas consiste en ver que tanto mejora la precisión del sistema de localización al tener los TAG's de referencia a menor distancia entre sí.

Se realizaron 1100 mediciones de determinación de posición utilizando el programa para el siguiente análisis y bajo las siguientes condiciones: Una cuadrícula de 6 metros por 6 metros de cada lado, con un TAG de referencia cada 3 metros y la posición del TAG móvil se ubicó en la coordenada 1.2, 1 desde nuestro eje coordenado, como se puede apreciar en la Figura 41.

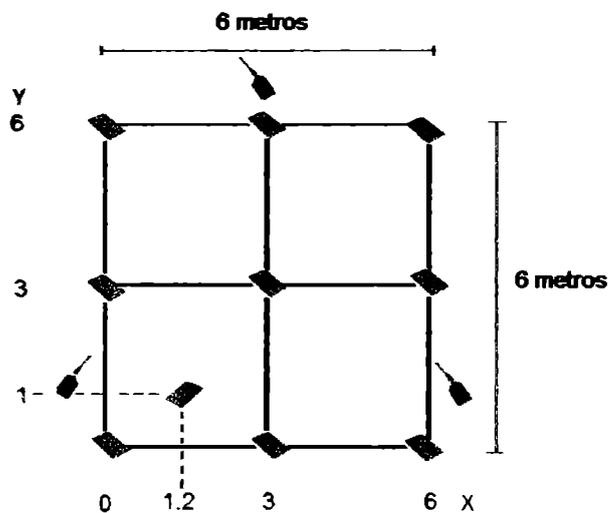


Figura 41.- Diagrama de la prueba

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: La media en X fue de 1.939 y la desviación estándar fue de 0.385, mientras que para el eje Y la media fue de 2.068 y la desviación estándar fue de 0.339. La probabilidad de encontrarse en un radio determinado se muestra en la Figura 42.

Precisión (En metros)	Probabilidad de éxito
0.514	68.27%
1.027	95.45%
1.541	99.73%

Figura 42.- Precisión del sistema

En esta tabla se observa que si consideramos una precisión de medio metro para nuestro sistema, tendríamos un error del 31%, si nuestro sistema se considera con una precisión de un metro se tendría un error del 5% y para metro y medio el error es casi 0%.

En esta prueba se puede observar que para una probabilidad aceptable del 95% la precisión del sistema es de un metro, precisión que ira decreciendo en las pruebas siguientes al ir separando los TAG's de referencia.

Las Figuras 43 y 44 muestran las gráficas de distribución de muestras para los ejes X y Y, aquí podemos ver cuál fue el número de veces que el sistema determinó la posición del TAG móvil en cada intervalo de 0.2 metros y se puede ver que una línea roja que representa la posición real donde se encontraba el TAG móvil.

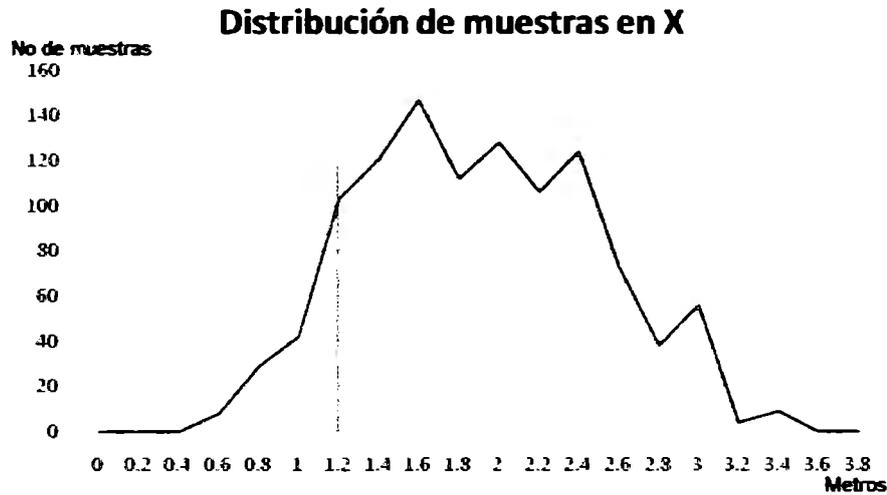


Figura 43.- Distribución para referencias cada 3 metros para el eje X



Figura 44.- Distribución para referencias cada 3 metros para el eje Y

Posteriormente se realizaron 1200 mediciones de determinación de posición utilizando el programa para el siguiente análisis y bajo las siguientes condiciones: Una cuadrícula de 8 metros por 8 metros de cada lado, con un TAG de referencia cada 4 metros y la posición del TAG móvil se ubicó en la coordenada 3, 5 desde nuestro eje coordenado, como se puede apreciar en la la Figura 45.

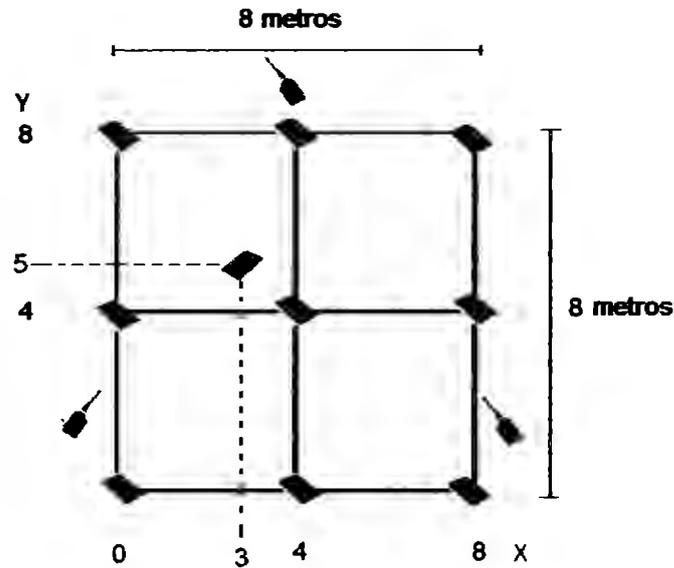


Figura 45.- Diagrama de la prueba

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: La media en X fue de 3.904 y la desviación estándar fue de 0.462, mientras que para el eje Y la media fue de 3.447 y la desviación estándar fue de 0.652. La probabilidad de encontrarse en un radio determinado se muestra en la Figura 46.

Precisión (En metros)	Probabilidad de éxito
0.798	68.27%
1.598	95.45%
2.397	99.73%

Figura 46.- Precisión del sistema

En esta tabla se observa que si consideramos una precisión de 0.8 metros para nuestro sistema, tendríamos un error del 31%, si nuestro sistema se considera con una precisión de 1.6 metros se tendría un error del 5% y para 2.4 metros el error es casi 0%.

En esta prueba se puede ver que para una probabilidad aceptable del 95% la precisión del sistema es de 1.6 metros.

Las Figuras 46 y 47 muestran las gráficas de distribución de muestras para los ejes X y Y, aquí podemos ver cuál fue el número de veces que el sistema determinó la posición del TAG móvil en

cada intervalo de 0.2 metros y se puede ver que una línea roja que representa la posición real donde se encontraba el TAG móvil.

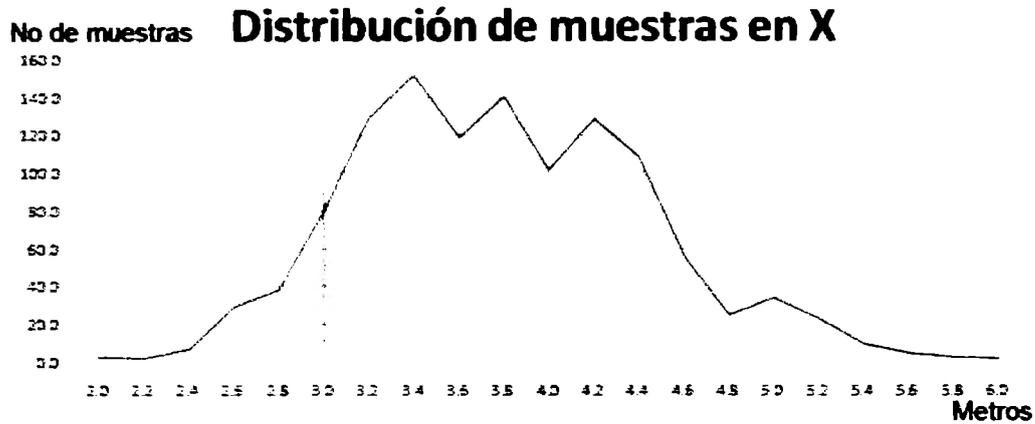


Figura 47.- Distribución para referencias cada 4 metros para el eje X

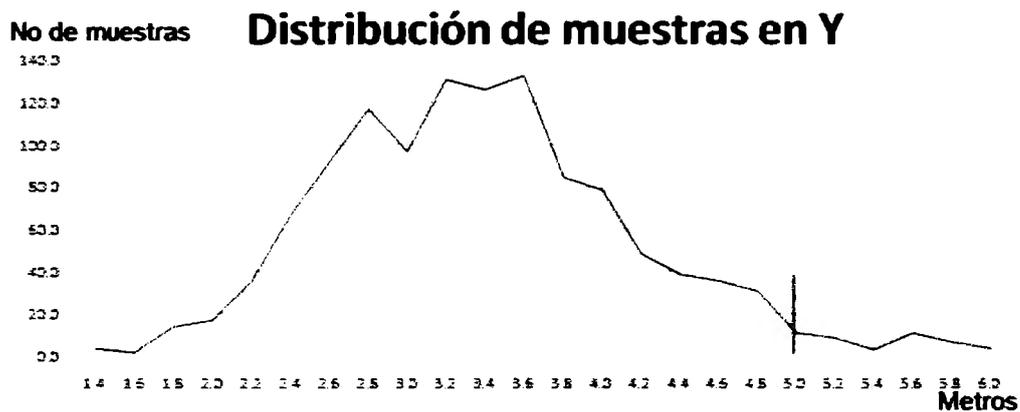


Figura 48.- Distribución para referencias cada 4 metros para el eje Y

Finalmente se realizaron 1200 mediciones de determinación de posición utilizando el programa para el siguiente análisis y bajo las siguientes condiciones: Una cuadrícula de 10 metros por 10 metros de cada lado, con un TAG de referencia cada 5 metros y la posición del TAG móvil se ubicó en la coordenada 7.2, 2.5 desde nuestro eje coordenado, como se puede apreciar en la en la Figura 49.

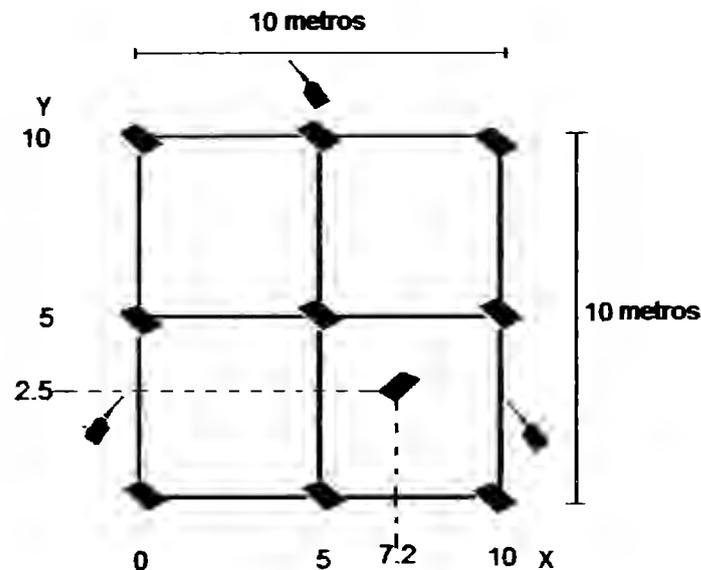


Figura 49.- Diagrama de la prueba

Los resultados obtenidos fueron los siguientes: La media en X fue de 6.885 y la desviación estándar fue de 0.581, mientras que para el eje Y la media fue de 3.512 y la desviación estándar fue de 0.562. La probabilidad de encontrarse en un radio determinado se muestra en la Figura 50.

Precisión (En metros)	Probabilidad de éxito
0.808	68.27%
1.617	95.45%
2.425	99.73%

Figura 50.- Precisión del sistema

En esta tabla se observa que si consideramos una precisión de 0.8 metros para nuestro sistema, tendríamos un error del 31%, si nuestro sistema se considera con una precisión de 1.6 metros se tendría un error del 5% y para 2.4 metros el error es casi 0%.

En esta prueba se puede ver que para una probabilidad aceptable del 95% la precisión del sistema es de 1.6 metros.

Las Figuras 51 y 52 muestran las gráficas de distribución de muestras para los ejes X y Y, aquí podemos ver cuál fue el número de veces que el sistema determinó la posición del TAG móvil en

cada intervalo de 0.2 metros y se puede ver que una línea roja que representa la posición real donde se encontraba el TAG móvil.

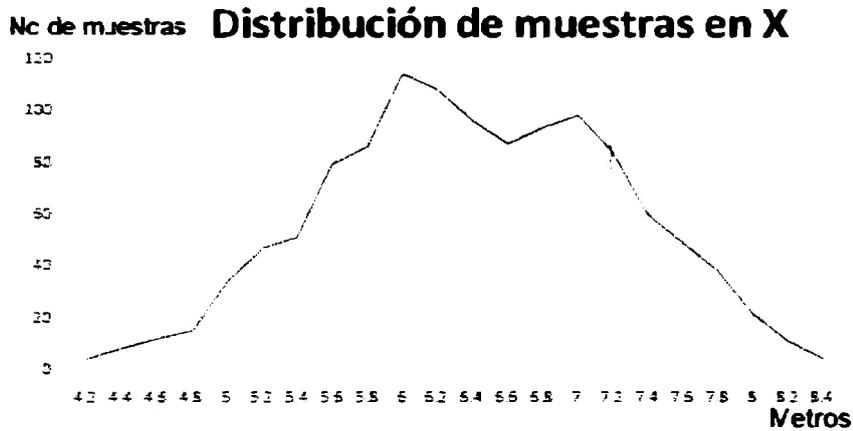


Figura 51.- Distribución para referencias cada 5 metros para el eje X

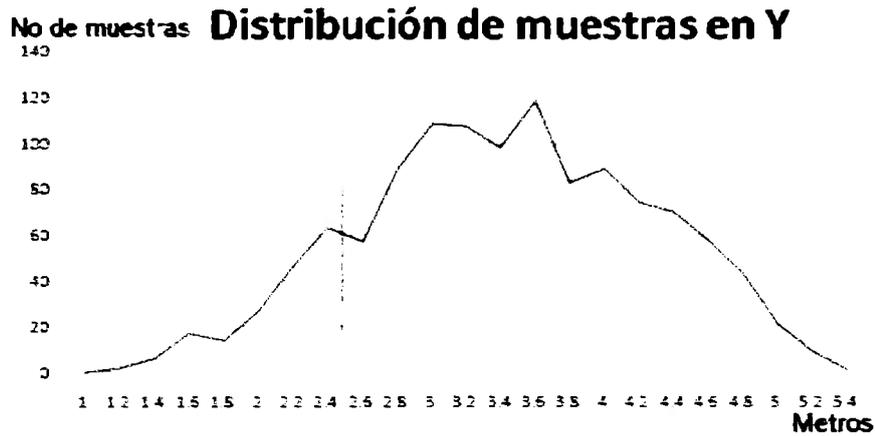


Figura 52.- Distribución para referencias cada 5 metros para el eje Y

3.5.7.2 Pruebas modificando la posición del TAG móvil

El objetivo de esta prueba fue ver la variación de la precisión y el error al mover el TAG móvil en las posiciones de interés se muestran en la Figura 53.

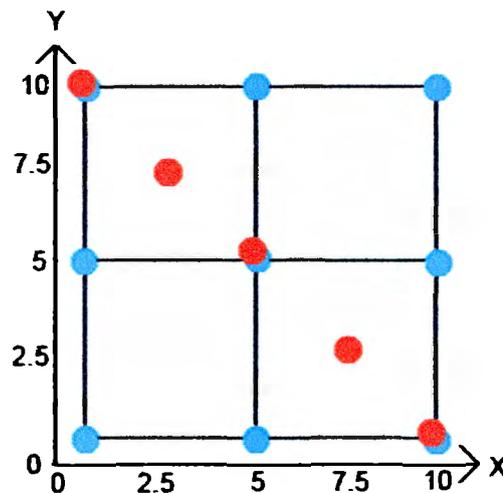


Figura 53.- Muestra en rojo los TAG's móviles y en azul los TAG's de referencia

Las coordenadas seleccionadas fueron las siguientes: (10, 0); (7.5, 2.5); (5, 5); (2.5, 7.5); (0, 10). Éstas coordenadas describen una diagonal en el área de muestreo de forma tal que en tres puntos el TAG móvil se encuentra junto a una referencia, lo que en teoría debe mejorar la precisión del sistema, las otras dos se encuentran a la mayor distancia de los TAG's de referencia y esto debe suponer el mayor error posible dentro del área de localización. Sin embargo hay dos posiciones que se encuentran en los extremos del área de localización y esto también supone un riesgo ya que el algoritmo está diseñado para operar dentro de la cuadrícula y el límite de ésta puede perjudicar el desempeño del sistema.

Los resultados de esta prueba fueron los siguientes, si un TAG móvil se aproxima a una referencia la varianza se reduce, es decir, las muestras suelen tener valores más semejantes entre si y por lo tanto hay menor dispersión en la muestra. Por otra parte el error del sistema se incrementa en los extremos del área de localización y en el centro se obtienen los mejores resultados, esto quiere decir que a pesar de tener poca dispersión las muestras tomadas en los extremos, tuvieron mayor error tanto para el eje X como para el Y, con esto se puede concluir que para tener buenos resultados no solo se debe de pensar en la separación entre TAG's de referencia, sino que se debe procurar que

dichas referencias se encuentren en los extremos del lugar de forma que no se pueda circular por fuera de esta posición o el sistema se volverá sumamente ineficiente.

Las gráficas siguientes muestran la varianza en metros de cada una de las 5 muestras en color azul y el error con respecto a la posición real en color rojo, como se puede ver en las gráficas las muestras del centro son las que poseen un mejor comportamiento al tener un error muy bajo y una varianza igualmente baja, mientras que las muestras de los extremos poseen el mayor error y una varianza media.

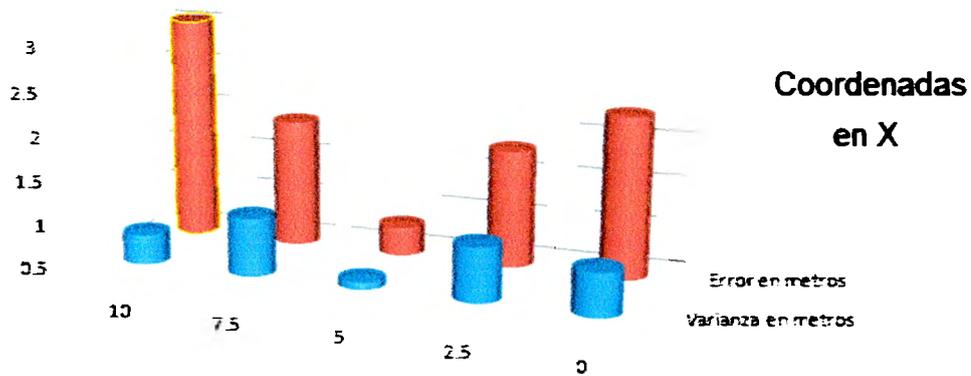


Figura 54.-Resultados en el eje X

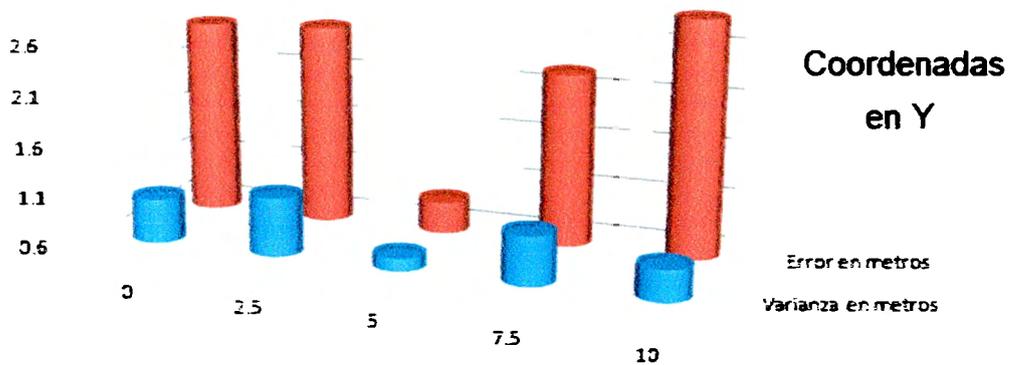


Figura 55.-Resultados en el eje Y

En las coordenadas 10, 5 y 0 se encuentran los TAG's de referencia y la varianza es menor, mientras que en las coordenadas 7.5 y 2.5 el TAG móvil se encuentra a la mayor distancia de las referencias y esto causa que la varianza aumente. Por otra parte en los extremos de la cuadrícula tenemos un error mayor a pesar de que hay poca varianza, mientras que al centro de la cuadrícula el error y la varianza son mínimos.

Capítulo 4: Análisis de resultados y conclusiones

4.1 Análisis de resultados

Las pruebas realizadas y mostradas en el capítulo 3 nos permitieron realizar el análisis mostrado a continuación.

Las pruebas de caracterización nos permitieron comprobar las capacidades del equipo y llegar a las siguientes recomendaciones:

- Los TAG's y lectores deben de mantenerse de preferencia a la misma altura debido a que si modificamos la altura relativa entre algún TAG y lector, el valor de RSSI se ve reducido a pesar de mantener la misma distancia radial, debido a las características de la antena utilizada, el valor de RSSI solo se mantiene igual a una misma distancia radial, cuando se mantiene la misma altura.
- La orientación de los TAG's no es un factor que se pueda controlar fácilmente, pero para fines de pruebas de laboratorio es importante que se mantenga la orientación ideal para evitar que el valor de RSSI baje drásticamente debido a una mala orientación, esta orientación se puede consultar en el subcapítulo 3.5.3 bajo el nombre de Orientación Cero.
- Para un mejor comportamiento de los TAG's se debe de mantener libre de interferencia metálica ya que este material reduce en más del 80% el alcance de los TAG's, mientras que para otros materiales la atenuación es menor y no se requiere tener consideraciones especiales. La alternativa en caso de que se requiera estar en un escenario con mucha interferencia metálica, es utilizar un TAG modelo T800 diseñado específicamente para

trabajar en esos ambientes y que mantiene prácticamente los mismos alcances bajo interferencia metálica.

- En las pruebas de velocidad se pudo ver que los TAG's mantienen recepción a altas velocidades y se pueden utilizar en aplicaciones que requieran detección a alta velocidad, sin embargo se requiere un análisis detallado para este tipo de aplicaciones ya que las pruebas realizadas solo muestran la capacidad de detección, pero no hasta que velocidad se logra detectar o que probabilidad de éxito se tiene en realidad debido que 5 muestras no son concluyentes.

Las pruebas realizadas al sistema Landmarc nos permitieron comparar los resultados obtenidos mediante nuestro sistema contra los reportados por otros equipos de investigación que han utilizado técnicas de localización mediante el uso de referencias y tecnología de identificación por radiofrecuencia, ya que lo han hecho bajo diferentes condiciones y con equipos distintos al nuestro. Es importante mencionar que los resultados que obtuvimos con nuestro sistema superaron nuestras expectativas al superar los resultados reportados en otros experimentos reportados. Por mencionar un caso en esos experimentos se utilizó un equipo de RFID activo con características distintas al R500 de Wavetrend utilizado por nosotros y se colocaron referencias cada metro en lugar de cada cinco metros como lo hicimos nosotros, el error máximo que adquirieron entre dos referencias fue de 2.4 metros, mientras que el error máximo que nosotros encontramos entre dos referencias fue de 2.6 metros y considerando que nuestro sistema utiliza cuatro referencias en el área donde ellos requieren de 25 referencias, se esperaba que el error aumentara drásticamente, sin embargo esto no fue así. La razón por la que creemos que esto no sucedió fue porque que el equipo utilizado por este equipo de investigación entrega los valores de RSSI entre el 0 y el 7 mientras que nuestro equipo nos entrega valores de RSSI del 0 al 255, con lo que tenemos una mayor resolución en la información crítica para la implementación del algoritmo [7], cabe mencionar que los valores de

RSSI reportados por nuestro equipo se encuentran en un intervalo de 60 a 140 y no se utilizan los 256 valores posibles, pero si se utiliza una antena diferente es probable que estos valores varíen.

La última prueba que se realizó nos permitió evaluar y comparar los extremos del área de medición, algo que no encontramos reportado en experimentos anteriores, en el análisis de resultados se encontró que en este lugar el error aumenta pero con la diferencia de que las muestras no tienen una gran dispersión, la razón de que la dispersión sea baja se debe a que el TAG móvil se encuentra en la misma posición del TAG de referencia, sin embargo al estar en el extremo de la cuadrícula la probabilidad de encontrar TAG's fuera del área de localización es nula y esto hace que la media de la muestra se cargue hacia el centro del área de edición y se obtengan errores mayores, incluso de 3.04 para la posición 10, 0 y para los resultados en el eje X con una probabilidad del 99.7%, con este valor nos estamos excediendo del límite de la norma ISO y esto nos hace reflexionar sobre una característica importante del sistema Landmarc sobre la cual no estábamos conscientes, este sistema funciona bien hacia el interior de la cuadrícula y por lo tanto a la hora de su implementación es de vital importancia que las referencias de la periferia se encuentren lo más próximas a la pared del edificio para reducir la probabilidad de que se realicen localizaciones en el extremo o por fuera del área de localización.

4.2 Conclusión

Las pruebas realizadas en este proyecto y la información investigada sobre estas tecnologías y métodos de localización, así como el análisis de los resultados nos permitieron llegar a las siguientes conclusiones:

- El sistema desarrollado se adapta a la interferencia interna de un edificio gracias al principio lógico del algoritmo Landmarc.
- La precisión del sistema se mantiene menor a 3 metros en toda ocasión y permitiéndonos cumplir con la norma ISO/IEC 24730-2:2006.
- El sistema es económico ya que utiliza únicamente tres lectores y nueve referencias a diferencia de cuatro lectores y 16 referencias que se suelen utilizar.
- Brinda una mejor área de cobertura ya que las referencias se colocan cada cinco metros en lugar de cada metro como se suelen colocar.
- Es versátil ya que se puede expandir y utilizar un mayor número de lectores y referencias.
- La frecuencia de operación del equipo permite tener una buena relación entre precisión y penetración.

4.3 Sugerencias y trabajo futuro

Las sugerencias y observaciones mostradas a continuación se basan en los resultados obtenidos y en inferencias realizadas a partir de la información investigada y quedan aquí documentadas para su futura implementación.

1. Para mejorar la precisión del sistema sería conveniente hacer una investigación amplia sobre algoritmos que sean capaces de identificar muestras atípicas o muy fuera de la media

y descartarlas con el fin de mejorar la precisión del sistema o cualquier otro tipo de algoritmo que permita una mejora general.

2. Sería recomendable también incrementar la cantidad de equipo utilizado a cuatro lectores y 16 TAG's de referencia para poder mejorar las características del sistema y aumentar el área de localización, para posteriormente evaluar las nuevas características y sacar conclusiones de costo beneficio. Al tener mayor cantidad de equipo se podrían probar algunas otras geometrías y diferentes distancias para tratar de identificar mejoras posibles para el sistema en esta área.
3. Por último si se incrementa la velocidad del sistema sería posible evaluar la posibilidad de detectar movimiento y no solo posiciones estáticas y que en el caso de que se evalúen posiciones estáticas se pueda hacer con mayor rapidez y mejorar el desempeño del equipo ya que al momento en que el objeto a localizar se mueve, el sistema comienza a perder precisión al no estar diseñado para tal escenario. Para poder lograr esto se requiere mejorar la velocidad de respuesta del sistema y para lograr esto se puede mejorar el cableado utilizado, se puede mejorar la programación para incrementar la velocidad de respuesta del software, se puede colocar a los lectores en red y comparar la velocidad de comunicación de los lectores en esta configuración, pero para ello se requiere adquirir mayor información sobre cómo se realiza la comunicación en dicha configuración y por último se puede realizar una calibración del sistema estando inmóvil el TAG y posteriormente modificar su velocidad, cabe mencionar que para estas pruebas se requiere mayor cantidad de equipo o el TAG en movimiento rápidamente quedara fuera del área de localización.

Referencias bibliográficas

A .M. Ladd, K. E. Bekris, G. Marceau, A. Rudys, L. E. Kavraki, and D. S. Wallach, (Robotics-based location sensing using wireless Ethernet), Proc. ACM International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM'02), 2002, pp. 227-238.

Dimitrios Lymberopoulos, Quentin Lindsey and Andreas Savvides, (An Empirical Analysis of Radio Signal Strength Variability in IEEE 802.15.4 Networks using Monopole Antennas), 2006.

Lahiri Sandip *RFID Sourcebook Global Sources* [Online]. Editorial IBM Press [Singapore] Agosto 31, 2005 [ref. 8 de Febrero 2008]. Disponible en World Wide Web:
< >

[7] Ni. M Lionel et al (*Indoor Location Sensing Using Active RFID*) Dept. of Computer Science & Engineering Michigan State University East Lansing, Michigan, USA, 2006.

[3] "ISO/IEC 1800-7:2006 International Organization of Standardization"

< >
recuperado el 18 de Enero (2008) Online.

[1] "ISO/IEC 24730-1:2006 International Organization of Standardization"

< >
recuperado el 18 de Octubre (2008) Online.

[8] Young Lee Soo (*NLOS Error Mitigation in a Location Estimation of Object based on RTLS Using Kalman Filter*) *Electrical Engineering, Kyungpook National University, 2006.*

< > "Overview of Legacy RTLS, Recuperado el 18 de Octubre del 2008.

Polito Sergio (PERFORMANCE EVALUATION OF ACTIVE RFID LOCATION SYSTEMS BASED ON RF POWER MEASURES) *The 18th Annual IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, University "Mediterranea" 2007.*

[2] Marcus Torchia, *RFID Update* [Online]. [Alexandria, VA]. Septiembre 13 [ref. 5 de Febrero 2008] Disponible en World Wide Web: << >>

[4] *Proveedor de equipo Wavetrend*. Disponible en World Wide Web: < >
RFID Journal [Online].Text ed [New York, EEUU].Novembre 22 [ref. 8 de Febrero 2008]
Disponible en World Wide Web: < >

Romanik Ron *Authenticated RFID—The Next Level of Protection* [Online].Text ed [Washington, EEUU] (2007). [ref.10 de febrero de 2008] Disponible en World Wide Web: < >

[5] Tadakamadla Shashank, *Indoor Local Positioning System For ZigBee, Based On RSSI*. [Online]. pp.50, [Texas, EEUU] Octubre.2006[ref.9 de Febrero 2008]. Disponible en World Wide Web: < >

Señales inalámbricas [Online]. [EU] Febrero.2007[ref. 18 de Octubre del 2008]
Disponible en World Wide Web: < >. Recuperado el

[9] *Wavetrend Product Information Sheet* [Online].[Fairfax United States] 21 Marzo 2005 [ref.11 de Octubre del 2008] Disponible en World Wide Web:< >

RTLSPressRelease[Online].[TX,EU] 14 de octubre del 2008 [ref.11 sepetiembre del 2008]
Disponible en World Wide Web:
< >

[6] *Los sistemas RTLS (Real time location systems).Una visión de futuro*[Online]. Octubre 2 del 2007[ref.8 Noviembre 2008]Disponible en World Wide Web:< >

Ekahau a presentar en Thomas Weisel GPS y RFID Conferencia [Online].[]Noviembre 10 del 2007[ref.Octubre 28 del 2008] Disponible en World Wide Web:
< >

Apéndices

Apéndice A: Hardware

Especificaciones del lector



WAVE



Product Information Sheet

RFID EQUIPMENT

Typical read ranges of Wavetrend Tags with various antennas

(Distances may vary, depending on the ambient RF environment)

The following tests were conducted in free air:

L-RD201		
	Min	Max
Antenna Type	Range (meters)	Range (meters)
None	0.2	7
L-AN200 Stick	1	30
L-AN150 Amp	3	35
L-AN200 Patch	5	100
RSS threshold	30	72

L-RD201-PR		
	Min	Max
Range (meters)	0.0	-
RSS threshold	30	72

Specifications

RF Specifications

Rx Frequency	433 Mhz
Demodulation	ASK
Sensitivity	-103 dBm (Not applicable to the L-RD201-PR)
Stability	±ppm: ±0
RF Input	50 Ohm BNC (Female)

Electrical Specifications

Supply Voltage	6V D.C. - 16V D.C.
Max current consumption	±72 mA to 80 mA
ESD protection	2 kV (Human Body Model)

Protocol Specifications

Standard Data Rate (Baud)	115,200 B in 1 (Configurable down to 9600 Baud)
Interface	RS485 connectors

Environmental

Operating temperature	-10° C to +60° C
Storage temperature	-20° C to +70° C
Humidity	5% to 90% (non-condensing)

Physical

Size	84 mm x 40 mm x 19 mm
Weight	45 grams
Colour	Grey
Type of material	ABS (ultrasonically sealed)
Input/Output Connections	2 x RS485 Sockets

Document No.
EAE1270041F

Product No.
LRF1201

Wavetrend Technologies
Paseo F. Sábido #500

Date
10/10/20

Page
1 of 5

© Wavetrend Technologies Limited 2007

Especificaciones de los TAG's

TAG T-800



Product Information Sheet

Tag

Product Code: L-TG800 / L-TG800 MS

Description: Tag Asset

An internal battery powers The Wavetrend series of Active Asset Tags. The Asset Tag will, for the duration of its life, transmit a Radio Frequency (RF) signal at a pre-set time-interval. The Tag life is estimated at 5 years at a transmission time interval of approximately 1.5 seconds. The life span of the Tag ends when the battery life is exhausted. Battery status can be inferred by interrogating the internal Tag Age Counter Value.

The transmitted Tag data includes Customer Site Code (CSC), Tag ID, Tag Age Counter Value, Movement Alarm, and Tamper Alarm status.

For protection against adverse environmental conditions, Wavetrend Asset Tags are encapsulated in a moulded plastic case which is ultrasonically sealed during the manufacturing process.

The L-TG800 Tag generally used for Asset tagging applications.

The L-TG800 is ideally suited for **operating on metallic surfaces** (or plastics containing a high metal content). The mounting and affixing of a Tag depends on the type of application. The standard method is by VHB type double-sided adhesive tape (Product Code L-TA600).

The Tag can be configured to accommodate Wiegand interfacing.



Features:

- Configurable settings, including Site / Vendor ID, Tag ID, Transmission Repetition Interval and Alarm functions (these are programmed at order placement stage).
- Low power consumption. Tag life is estimated at 5 years when transmitting at a 1.5-second interval.
- A Collision avoidance algorithm is used to dispose the transmissions around the mean repetition interval.

Certification

This device complies with Part 15 of the FCC Rules. Operation is subject to the following two conditions:

1. This device may not cause harmful interference and
2. This device must accept any interference received, including interference that may cause undesired operation.

The following standards applied in accordance with Article 5 of the directive 1999/5/EC:

EN 300 220-1 V1 2.1 (1997-11)

ETS 300 683 (1997-03)

TAG T-500 y T100



WAVETREND

RFID

YOUR BUSINESS

Product Information

Specification

Environmental

Operating temperature - 10° C to + 60° C
Storage temperature - 20° C to + 70° C
Humidity 5% to 90% (non condensing)

Physical

Size 64 mm x 30 mm x 9 mm (Domino Enclosure)
Weight 15 grams (excluding antenna)
Colour Grey
Type of material ABS (ultrasonically sealed) IP 65

RF Specifications

Tx Frequency 433 Mhz
Field strength < 1600 µV/m
Modulation ASK
Stability SAW stabilised

Electrical Specifications

Power Internally powered Lithium Battery

WAVETREND

Document No. EAB0010005 PI Product No. T500MS T100MS
Wavetrend Technologies Tag Domino Date 2006-03-02 Page 2 of 2
© Wavetrend Technologies Limited 2006

Apéndice B: ISO/IEC 24730-1:2006

ISO/IEC 24730-1:2006

Information technology -- Real-time locating systems (RTLS) -- Part 1: Application program interface (API)

Media and price

Language	Format	Add to basket
English	 PDF 298 KB	CHF 114.00 
English	 Paper	CHF 114.00 

General information

Number of Pages: 28

Edition: 1 Monolingual

ICS: 35.040

Status:  Published

Stage: IS 2006-02-15

TC SC: TC 38/SC 31

Abstract

ISO/IEC 24730 defines two air interface protocols and a single application program interface (API) for real-time locating systems (RTLS) for use in asset management and is intended to allow for compatibility and to encourage interoperability of products for the growing RTLS market. ISO/IEC 24730-1:2006, the RTLS API, establishes a technical standard for RTLS. To be fully compliant with this standard, RTLS must comply with ISO/IEC 24730-1:2006 and at least one air interface protocol defined in ISO/IEC 24730. RTLS are wireless systems with the ability to locate the position of an item in a defined space. Locations will be area regional, global, at a point in time, static, or a discrete real-time. Positions derived by measurements of the physical properties of the radio link.

Conceptually, there are four classifications of RTLS:

- Locating an asset via satellite requires line-of-sight - accuracy to 10 m
- Locating an asset in a controlled area (e.g. warehouse, campus, airport, area of interest) is instrumented - accuracy to 5 m
- Locating an asset in a more confined area (area of interest is instrumented) - accuracy to tens of centimetres
- Locating an asset over a terrestrial area using terrestrial mounted receiver over a wide area (e.g. telephone towers) - accuracy to 200 m

There are a further two methods of locating an object which are really RFID rather than RTLS:

- Locating an asset by virtue of the fact that the asset has passed point A at a certain time and has not passed point B
- Locating an asset by virtue of providing a naming beacon where a person with a handheld can find an asset

The method of location is through identification and location, generally through multi-lateration. The different types are:

- Time of Flight Ranging Systems
- Amplitude Triangulation
- Time Difference of Arrival (TDOA)
- Geometric Triangulation
- Satellite Multi-lateration
- Angle of Arrival

ISO/IEC 24730-1:2006 defines an API needed for utilizing an RTLS.

An API is a boundary across which application software uses facilities of programming languages to invoke services. These facilities may include procedures or operations, shared data objects and resolution of identifiers. A wide range of services may be required at an API to support applications. Different methods may be appropriate for documenting API specifications for different types of services.

The information flow across the API boundary is defined by the syntax and semantics of a particular programming language, such that the user of that language may access the services provided by the application platform on the other side of the boundary. This implies the specification of a mapping of the functions being made available by the application platform into the syntax and semantics of the programming language. An API specification documents a service and/or service access method that is available at an interface between the application and an application platform.

This API describes the RTLS service and its access methods, to enable client applications to interface with the RTLS. This RTLS service is the minimum service that must be provided by an RTLS to be API compatible with this standard.

ISO/IEC 24730-1:2006 enables software applications to utilize an RTLS infrastructure to locate assets with RTLS transmitters attached to them. It defines a boundary across which application software uses facilities of programming languages to collect information contained in RTLS tag links received by the RTLS infrastructure.

Corrigenda, Amendments and other parts

 [ISO/IEC 24730-2:2006](#)

Apéndice C: Software

Programa del sistema Landmarc desarrollado:

Proyectos de Ingeniería Mecatrónica
 Sistema RTLS basado en RFID Activo
 Derechos reservados sobre este código fuente
 Autores:
 Ricardo A. Solano Medina 375660
 Jhonatan E. Pineda Gradiño 969757
 Asesor:
 Raúl Crespo Saucedo

```
System;
System.Collections.Generic;
System.Text;
System.IO;
System.IO.Ports;
System.Threading;
```

```
RFID {
```

```
{
```

Información del equipo

```
    lectores = 3;
    tagsNumber = 10;
```

```
    Main( [] args) {
```

Para que se active con la tecla

```
        key;
```

```
        [] ret =          [71];
        [] ping = { 0xAA, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x03, 0x00 };
        [] setbaudrate = { 0xAA, 0x01, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0xFF, 0x00, 0x00 };
        [] setgainhigh = { 0xAA, 0x01, 0x01, 0x00, 0x01, 0x0B, 0x01, 0x00 };
        [] gettagpacket = { 0xAA, 0x00, 0x00, 0x00, 0x01, 0x06, 0x00 };
```

```
        [] coords =          [tagsNumber - 1];
        coords[0] =          (3.55,0.5);
        coords[1] =          (5.35,5.85);
        coords[2] =          (7,2.1);
        coords[3] =          (5.6,0.9);
        coords[4] =          (3.45,2.75);
        coords[5] =          (2,4.1);
        coords[6] =          (1.7,0.85);
        coords[7] =          (0.6,2.85);
        coords[8] =          (5.55,3.75);
```

```
        (10,0)
```

Definición del puerto serial

```
        sp =          ("COM4", 115200,          .None, 8,          .One);
```

Banco de coordenadas final

```
< > bancoFinal = < >());
```

Archivo a guardar coordenadas finales

```
sw = .CreateText("C: Users Jhonatan Documents rfid.csv");
StreamWriter sw = File.CreateText("C: Users Jhonatan Documents rfid.csv");
```

```
{
```

Diccionario para ordenar los tags

```
< , >[] tags = < , >[lectores];
```

⇒ Llenado de bancos, utilizando diferentes puertos seriales por lector

```
( i = 0; i < lectores; i++) {
```

Lector 1

```
( i == 0) { sp.PortName = "COM4"; }
```

Lector 2

```
( i == 1) { sp.PortName = "COM9"; }
```

Lector 3

```
( i == 2) { sp.PortName = "COM10"; }
```

```
.WriteLine(sp.PortName);
```

```
{
```

Abrir el puerto si no está abierto

```
sp.Open();
```

```
}
```

```
(sp.IsOpen != true);
```

⇒ Envío de comandos

```
sendCmd(sp, setbaudrate, ret);
```

```
.WriteLine("BaudRate");
```

```
.Sleep(10);
```

```
sendCmd(sp, ping, ret);
```

```
.WriteLine("Ping");
```

```
.Sleep(10);
```

```
.WriteLine("Lector #" + (i + 1) + "...");
```

Asignar el diccionario ordenado al lector i.e. readTags es donde se detectan los tags...

```
tags[i] = readTags(sp, ret, gettagpacket);
```

```
.WriteLine("Número de tags Encontrados: " + tags[i].Count);
```

Cierra el puerto serial

```
sp.Close();
```

```
}
```

Diccionario para los valores de E

```
< , > bancoE = < , >());
```

⇒ Ecuación E

```
( i = 0; i < tagsNumber - 1; i++) { Recorre del tag 0 al tag 9, aumentando de uno en uno
```

Sumatoria de los resultados de las restas...

```
sumaLectores = 0;
```

```
( for ( j = 0; j < lectores; j++) {
```

Convertimos el diccionario en un arreglo de tags para que los puedas comparar

Declaramos un arreglo de longitud del número de tags

```
[ ] bancoTemporal = new [tagsNumber];
```

Obtenemos un diccionario con los puros objetos tags (id, rssi, nodeid)

```
<=, >= valueColl = tags[j].Values;
```

Inicialamos k, va a finalizar en el número de tags

```
k = 0;
```

```
( tag in valueColl) {
```

Asignamos al arreglo de tags temporal cada uno de los tags encontrados

```
bancoTemporal[k] = tag;
```

```
k++;
```

```
}
```

RSSI de las E's...

```
restaDesechable = Math.Pow(bancoTemporal[0].RSSI - bancoTemporal[i + 1].RSSI,
```

2);

```
sumaLectores += restaDesechable;
```

```
}
```

```
e = Math.Sqrt(sumaLectores);
```

```
if (bancoE.ContainsKey(e)) {
```

```
e += 0.0000000001;
```

```
}
```

```
bancoE.Add(e, i + 1);
```

```
}
```

Transformo el bancoE en dos arreglos, uno de las posiciones y otro de los valores

```
[ ] posicionE = new [bancoE.Count];
```

```
[ ] es = new [bancoE.Count];
```

```
tmp = 0;
```

```
( e in bancoE) {
```

Por cada elemento en el bancoE se lo asigna a cada uno de los arreglos

```
posicionE[tmp] = e.Value;
```

```
es[tmp] = e.Key;
```

```
tmp++;
```

```
}
```

Diccionario para los valores de W

```
<=, >= bancoW = new Dictionary<int, int>();
```

Calculo de Ws ...

```
( for ( i = 0; i < 4; i++) {
```

```

        una entre la e de la posición i al cuadrado
        etmp = 1 /      .Pow(es[i], 2);
        suma = 0;

    La sumatoria de las E's de la E a la 4
    ( j = 0; j < 4; j++) {
        suma += (1 /      .Pow(es[j], 2));
    }

    División
        w = etmp / suma;
    Se agrega al diccionario
    bancoW.Add(posicionE[i], w);
}

    Transforma el bancoW en dos arreglos, uno de las posiciones y otro de los valores
    [] posicionW =      [4];
    [] ws =      [4];
    tmp = 0;

    (      < w,      > w  bancoW) {
        ws[tmp] = w.Value;
        posicionW[tmp] = w.Key;
        tmp++;
    }

    xNueva = 0;
    yNueva = 0;

    ( i = 0; i < 4; i++) {
        xNueva += ws[i] * coords[posicionW[i] - 1].X;
        yNueva += ws[i] * coords[posicionW[i] - 1].Y;
    }

    nueva =      (xNueva, yNueva);

    (bancoFinal.Count < 4) {
        bancoFinal.AddFirst(nueva);
    } {
        bancoFinal.RemoveLast();
        bancoFinal.AddFirst(nueva);
    }

    Console.WriteLine("Banco Final");

    xprom = 0;
    yprom = 0;
    ( coo # bancoFinal) {
        xprom += coo.X;
        yprom += coo.Y;
        Console.WriteLine(coo);
    }

```

```

xprom /= bancoFinal.Count;
yprom /= bancoFinal.Count;

    prom =          (xprom, yprom);

    .WriteLine(" nCoordenada: " + prom);

    Escribir a un archivo de Excel...

    .WriteLine(" nPresiona Esc para salir, y cualquier tecla para continuar");

key =          .ReadKey(true);

sw.WriteLine(prom);
}    (key.Key !=          .Escape);
sw.Close();
}

* Encuentra todos los tags
    <=, > readTags(          sp, byte[] ret,          [] gettagpacket) {

    Diccionario de tags encontrados
    <=, > tags =          <=, >());

    Mientras no son 10 tags... (Siempre lo hace lo 1 vez al menos)
    {

        Mientras la respuesta del tag en la posición 1 sea diferente de 0
        {
            Se obtiene una respuesta
            ret = sendCmd(sp, gettagpacket, ret);

            Si esa respuesta inicia con un 85 y el length de la respuesta es diferente de 0... continua
            if (ret[0] == 85 && ret[1] != 0) {

                Crea un objeto tag con la respuesta obtenida
                tag =          (ret);

                Si ese tag no está en el diccionario
                if (!tags.ContainsKey(tag.TagID)) {

                    Añade el tag al diccionario
                    tags.Add(tag.TagID, tag);
                    .WriteLine(tag);
                }
            }
        }
    }
    if (tags.Count.Equals(tagsNumber))
        return tags;
}

```

```
    }    (ret[1] != 0);

    (tags.Count.Equals(tagsNumber))
        tags;

    }    (tags.Count < 10);

    tags;
}

[] sendCmd(    sp,    [] command,    [] ret) {

sp.Write(checksum(command), 0, command.Length);
    .Sleep(90);

sp.Read(ret, 0, ret.Length);

    (    i = 0; i < ret.Length - command.Length; i++)
ret[i] = ret[i + command.Length];

    ret;
}

[] checksum(    [] b) {
    last = b.Length - 1;
b[last] = 0;
    (    i = 1; i < last; i++)
b[last] ^= b[i];

    b;}}
```