



UNIVERSIDAD DEL AZUAY
FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

**“Sistema de Cronometraje para Carreras de Atletismo
Mediante Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia.”**

Trabajo de graduación previo a la obtención del título de:

INGENIERO ELECTRÓNICO

Autor:

PEDRO SANTIAGO PERALTA ABRIL

Director:

ING. DANIEL ITURRALDE PIEDRA. Ph.D

CUENCA, ECUADOR

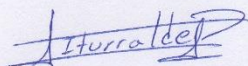
2019

Sistema de Cronometraje para Carreras de Atletismo Mediante Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia.

RESUMEN

En este trabajo se implementa un sistema de cronometraje para carreras de atletismo, utilizando tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID), se determina cuál es la mejor posición tanto para la colocación de los tags en un atleta así como también de las antenas en el portal; para lo cual se realizaron una serie de pruebas ubicando las antenas y los tags a diferentes alturas. Además, se ha desarrollado un software que permite manejar la información del sistema de cronometraje para carreras de atletismo de forma eficiente.

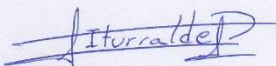
Palabras clave: Sistema de Cronometraje, RFID, Propagación.



Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.
Director de Trabajo de Titulación.



Pedro Santiago Peralta Abril
Autor.



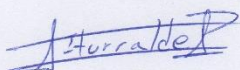
Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.
Coordinador de Carrera.

Timing System for Athletics Races Using Radio Frequency Identification Technology

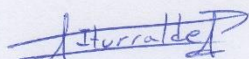
ABSTRACT

In this research, a timing system for athletics races using Radio Frequency Identification (RFID) technology was implemented. The study determined the best position to place the tags in an athlete as well as the antennas in a portal. A series of tests were carried out locating the antennas and tags at different heights. In addition, software was developed to handle the information of the timing system for athletic races in an efficient manner.

Keywords: Timing System, RFID, Propagation.



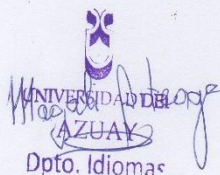
Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.
Thesis Director



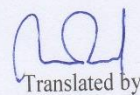
Ing. Daniel Iturralde Piedra. Ph.D.
Faculty Coordinator



Pedro Santiago Peralta Abril
Author



UNIVERSIDAD DEL
AZUAY
Dpto. Idiomas



Translated by
Ing. Paúl Arpi

Sistema de Cronometraje para Carreras de Atletismo Mediante Tecnología de Identificación por Radio Frecuencia.

Peralta Abril Pedro Santiago
Escuela de Ingeniería Electrónica
Universidad del Azuay
Cuenca, Ecuador
santiago193@es.uazuay.edu.ec

Resumen—En este trabajo se implementa un sistema de cronometraje para carreras de atletismo, utilizando tecnología de identificación por radio frecuencia (RFID), se determina cuál es la mejor posición tanto para la colocación de los tags en un atleta así como también de las antenas en el portal; para lo cual se realizaron una serie de pruebas ubicando las antenas y los tags a diferentes alturas. Además, se ha desarrollado un software que permite manejar la información del sistema de cronometraje para carreras de atletismo de forma eficiente.

Palabras Clave—Sistema de Cronometraje, RFID, Propagación.

I. INTRODUCCIÓN

Cuando se organizan carreras de atletismo existen varios factores que pueden complicar la realización de dicho evento, uno de ellos es la asignación de personal para realizar la inscripción de los participantes y para realizar las tareas de monitorización y verificación de los corredores, tanto en la línea de salida como en la línea de meta. Además, el personal utilizado para realizar las tareas de control y monitoreo suele cometer errores al momento de registrar y asignar los tiempos de los participantes, lo que al final resulta perjudicial en el resultado de la carrera, estos procesos deberían ser ejecutados con mayor precisión y eficiencia por un sistema automatizado para dar el mejor resultado posible para los participantes [1].

Existen varios artículos que se encuentran relacionados con el tema que se propone en este trabajo, como se muestra a continuación:

En la publicación “Smart Le Tour Checkpoint Using RFID” el objetivo principal del proyecto es implementar tags RFID, lectores RFID de alta frecuencia como detectores, que se conectan directamente al PC del organizador sin utilizar un circuito de interface. Este Sistema se ha desarrollado utilizando Microsoft Visual Basic, que ofrece la posibilidad de realizar una interfaz gráfica de usuario (GUI) para mostrar los resultados. La base de datos para este sistema está desarrollada en Microsoft Access (MA) [1].

En la publicación “A Cost-Effective Interactive Platform for the Management of a Small Scale Lap-Based Jogging Competition using Low-Frequency RFID Technology”, se describe que la realización de eventos en comunidades locales cuenta con poco presupuesto y recursos humanos para ser asignados a la gestión del evento; esto provoca que la inversión en sistemas de identificación de ultra alta frecuencia

y sistemas de cronometraje existentes sean muy costosos como para ser considerados en el uso de dichos eventos; para solucionar estos problemas, los autores proponen una plataforma interactiva económica basada en dispositivos RFID de baja frecuencia, la cual ayuda a manejar los eventos de carreras, almacenar las especificaciones de los corredores, manejar datos a través de una base de datos centralizada, y mostrar la información de los participantes como el tiempo y total de vueltas en tiempo real; finalmente los autores especifican que el sistema propuesto se utilizó en un evento de carrera en la universidad Assumption entre Enero 23 – Febrero 28 del año 2017 [2].

En la publicación “RFID-Based Automatic Scoring System for Physical Fitness Testing”, se propone un sistema de puntuación automática basado en identificadores de radio frecuencia, para carreras de fortalecimiento progresivo aeróbico cardiovascular (PACER), y pruebas de caminata de 6 minutos; utilizan tecnología RFID debido a que es comúnmente utilizada en aplicaciones de rastreo-seguimiento; proponen un sistema de puntuación automático basado en RFID que puede eliminar el factor de error humano al momento de realizar el registro de datos; se indica que un sistema preliminar fue probado en un PACER y una caminata de 6 minutos mostrando un gran potencial del uso de esta tecnología en pruebas físicas de fitness. Según los autores el sistema propuesto permite realizar la prueba masiva de muchos corredores mostrando gran precisión, y podría reducir de manera significativa la carga en la administración de exámenes; además aseguran que tiene un gran potencial para extenderse al área de monitoreo y promoción de la actividad física [3].

En la publicación “Multiple Reader Algorithm for Sports Timing Systems and Its Application at low Frequency Bandwidth”, se describe la creación y aplicación de un sistema de cronometraje deportivo que incluye un controlador de múltiples lectores (MRC), cargado con un algoritmo avanzado, utilizado para superar problemas de colisión de lectura de datos que suelen ocurrir cuando un lector maneja múltiples RFID simultáneamente; este fue utilizado en eventos de maratón a gran escala. Los autores afirman que este estudio verifica la superioridad del algoritmo mejorado, a través de su aplicación sobre el terreno, en el que se pudo medir de manera fácil el tiempo de múltiples corredores [4].

En la publicación “Bicycle Management Systems in Anti-theft, Certification, and Race by Using RFID”, se empieza describiendo el problema que tienen las industrias con los métodos del manejo efectivo en la certificación de venta y control de robo de bicicletas; estas industrias tratan de solucionar estos problemas utilizando tags RFID colocados debajo del asiento junto con una antena y un lector especial, sin embargo los autores señalan que la privacidad es uno de los principales problemas debido a que las personas no quieren que sus pertenencias sean rastreadas todo el tiempo; se indica que el trabajo realizado en esta investigación es la de implementar un sistema de manejo anti robo de bicicletas, certificación y competencia, para asistir a la industria de producción de bicicletas con un servicio post-venta [5].

Este trabajo pretende implementar una herramienta útil que permita mejorar la adquisición de tiempos de participantes en carreras de atletismo, y reducir el error de medición del factor humano al momento de realizar el cronometraje, siendo este uno de los puntos más fuertes y claves en este tipo de eventos; debido a que los sistemas de cronometraje manuales pueden producir este tipo errores que resultan en inconvenientes para los participantes y organizadores, es necesario mejorar la forma de adquirir esta información mediante un sistema que elimine el error del factor humano; al usar sistemas de identificación por radio frecuencia (RFID), es posible reducir tiempos en los procesos de adquisición de datos y proporcionar acceso rápido a una gran cantidad de información; además de ser menos susceptibles a daños ocasionados debido a que el sistema puede ser utilizado en exteriores.

La estructura del presente trabajo es la siguiente: en la sección II se presenta el marco teórico que sirve como soporte del presente trabajo, la sección III describe el software y hardware desarrollado para el sistema propuesto, la sección IV muestra los resultados encontrados y por último en la sección V se detallan las conclusiones.

II. MARCO TEÓRICO

A. Fundamentos de RFID

La tecnología RFID, puede trabajar en baja frecuencia, cuyo rango está entre los 125-134Khz; alta frecuencia la cual trabaja a 13.56Mhz y finalmente, ultra alta frecuencia que puede trabajar en 433Mhz y 856-960Mhz para activa y en el rango de 856-960Mhz para pasiva. RFID es utilizada para realizar el almacenamiento de información de forma remota mediante el uso tres elementos; lectores, antenas y tags; sin embargo la correcta selección de elementos auxiliares como cables, soportes de montaje y dispositivos GPIO, incrementan ampliamente la efectividad del sistema que se muestra en la figura 1.

Existen muchos tipos de tags RFID que pueden ser separados en dos clases, los dispositivos pasivos y los activos.

- Los tags activos requieren de una fuente de energía o del uso de una batería con un tiempo de vida limitado, también existen algunos tags que obtienen energía del ambiente.

- Los tags pasivos son los más utilizados debido a su bajo costo, no requieren mantenimiento y tienen una vida útil operativa indefinida, pueden ser lo suficientemente pequeños para ser incorporados en una etiqueta adhesiva; un tag pasivo está formado por tres partes, una antena, un chip semiconductor unido a la antena y alguna forma de encapsulación que permita tener una fácil fijación a los objetos; la encapsulación mantiene la integridad del tag, protege a la antena y al chip de las condiciones ambientales que puedan causar daño.

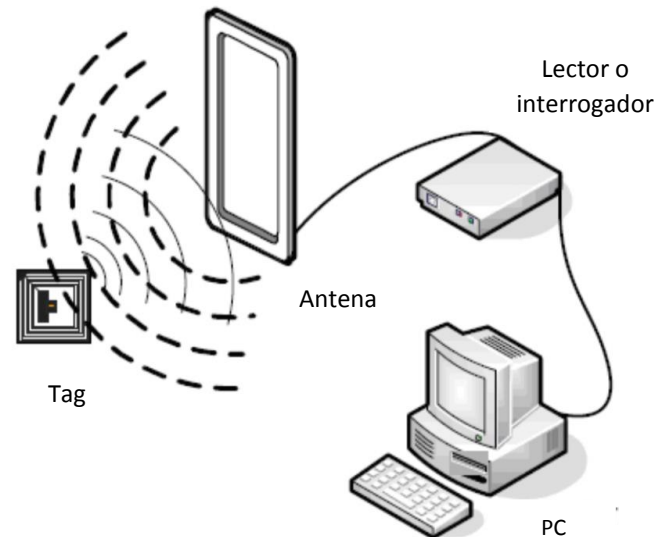


Fig. 1. Componentes de un sistema RFID

En cuanto a las antenas su propósito, es inducir energía desde el lector, luego usando esta energía el chip del tag codifica la identificación y lo transmite como respuesta de vuelta al lector por medio de la antena; existen fundamentalmente dos enfoques de diseño diferentes para entregar energía desde el lector al tag: la inducción magnética y la captura de ondas electromagnéticas, estos dos diseños toman ventaja de las propiedades electromagnéticas asociadas con una antena de radio frecuencia; el campo cercano y el campo lejano. Cuando una corriente alterna pasa a través de una bobina, se crea un campo magnético variante en los alrededores de la bobina, este campo se conoce como campo cercano; este circuito también puede generar la propagación de ondas electromagnéticas que se alejan de la bobina y que irradian el espacio libre, este campo se conoce como campo lejano y es el principio de la radio transmisión. Ambas propiedades de radio se pueden usar para transferir suficiente energía a un tag remoto para que pueda realizar su función, la energía irradiada suele estar entre los $10\mu W$ y $1mW$, dependiendo del tipo de tag; y a través de la modulación se puede transmitir y recibir datos [6].

Para la selección de una antena los aspectos más importantes que se tiene que tomar en cuenta son tres:

- Ganancia: En este caso mientras más alta sea la ganancia, más potente será la antena, en otras palabras mientras más alta sea la ganancia, la antena podrá producir campos más amplios, de esta forma

el rango de lectura puede ser extendido para cubrir un área mucho mayor.

- **Polarización:** La polarización de una antena hace una enorme diferencia al momento de leer tags; antenas polarizadas linealmente emiten energía de radio frecuencia a lo largo de un solo plano, este tipo de polarización permite que las antenas tengan un mayor rango en comparación con las antenas similares polarizadas circularmente; sin embargo debido a la naturaleza lineal del campo, los tags deben estar alineados con el haz para lograr un rango de lectura amplio, si el tag no está orientado el rango de lectura va a ser relativamente corto.

Por otro lado, antenas polarizadas circularmente dividen la energía a través de dos ejes y gira el campo ya sea en dirección horaria o anti horaria, esto permite que la antena reciba la información de los tags, sin tomar en cuenta la orientación; sin embargo debido a que la energía es dividida, el rango de lectura es más corto en comparación con antenas similares con polarización lineal.

- **Índice de IP:** Este tipo de índice es la medida de protección contra el ingreso de polvo y agua, mientras más alto sea el índice IP, la antena estará más protegida en contra de los factores ambientales, la mayoría de antenas para interiores posee un índice IP de 54 mientras que las antenas usadas en exteriores tienen un IP de 66 ó 67.

El lector RFID actúa como el cerebro del sistema, debido a que este dispositivo transmite y recibe ondas de radio, las cuales permiten realizar una comunicación con los tags; los lectores pueden tener varias clases, como: lectores RFID fijos, portátiles e integrados [7].

- **Lectores fijos:** permanecen en un lugar específico cuando se realiza la codificación y la lectura de los tags, estos pueden ser de dos, cuatro u ocho puertos para realizar la lectura de dos, cuatro u ocho antenas, algunos de estos pueden ser configurados para leer hasta treinta y dos antenas; este tipo de lectores son utilizados para ambientes en los cuales se necesite de una red flexible en términos de configuración de cobertura de la antena; la alimentación de estos lectores puede ser mediante la conexión a la red eléctrica POE (Power Over Ethernet, por sus siglas en inglés).
- **Lectores móviles:** pueden ser transportados de un lado a otro mientras se realiza la lectura, este tipo de lectores tienen una antena integrada en el dispositivo, además puede poseer un lector de código de barra, conexión Bluetooth y Wi-Fi, lo que lo hace la opción idónea cuando se requiera un sistema móvil; la alimentación de estos lectores es mediante baterías.
- **Lectores RFID integrados** poseen una antena integrada y un puerto que permite la conexión de una segunda antena, usualmente este tipo de lectores son

usados en aplicaciones que requieran de dos antenas o para proyectos de bajo presupuesto; la alimentación de estos es igual que en los lectores fijos.

Para que un lector pueda enviar y recibir datos, este debe estar conectado a la antena mediante un cable, es importante elegir uno que se acople a los requisitos del sistema, y además, asegure que la pérdida entre los equipos debido a la distancia de separación sea mínima, para esto se toma en cuenta: la distancia de cable que va a ser utilizada, el rango de lectura deseado, el tipo de conector que tiene el lector y la antena.

Mientras más longitud presente un cable, más pérdidas experimentarán los datos, para prevenir este problema se necesita utilizar un cable con un mayor nivel de aislamiento; existen tres niveles de aislamiento que pueden ser utilizados para este tipo de sistemas, LMR195, LMR240 y LMR400. Es necesario considerar que si se utiliza un cable con un alto nivel de aislamiento, el diámetro del mismo aumenta, por lo tanto el cable se vuelve menos flexible, y por consiguiente puede crear ciertas dificultades en cuanto a la movilidad en los equipos [7].

B. RFID aplicado a Sistemas de Cronometraje para Carreras de atletismo

Para empezar a diseñar el hardware del sistema, primero se necesita considerar ciertos aspectos con respecto a los elementos que se va a emplear en el mismo, los cuales se detallan a continuación.

- **Lectores RFID:** Los lectores permiten realizar la lectura de los tags, cuando estos cruzan los puntos de control y la línea de meta; se le puede considerar como el cerebro de un sistema RFID, existen muchos tipos de lectores RFID, tales como los integrados, USB fijo y móviles [8].
- **Antenas RFID:** En cuanto a las antenas que se planea utilizar durante un evento, es necesario considerar una lo suficientemente resistente para las condiciones ambientales en las que se va a utilizar, generalmente el factor de protección interna tiene que ser de IP 67. Durante los eventos se suele utilizar dos tipos de antenas, antenas de tipo panel y de tipo alfombra; las antenas tipo panel se montan en trípodes o en las estructuras de puntos de control mientras que las antenas de tipo alfombra se las coloca en el piso, cerca de la línea de meta para que los corredores pasen por encima de esta; en algunas ocasiones se ocupa los dos tipos de antenas para obtener una lectura más precisa del corredor, desde múltiples ángulos [8].
- **RFID tags:** Normalmente para carreras de atletismo, se utilizan tags RFID adhesivos en los corredores, este tipo de tag puede ser adherido en plástico, papel, cartón y en algunas superficies de vidrio; existen dos tipos de tags adhesivos, transparente y con cobertura frontal de papel, el

cual es más ampliamente utilizado debido a la facilidad de imprimir cierta información en la superficie de papel del tag [8].

Para el proyecto se planea realizar un sistema de cronometraje *Do it Your Self* (DIY); en este sistema el organizador desarrolla el software por su cuenta, lo cual puede resultar ser un gran beneficio, debido a que el sistema puede ser personalizado de tal forma que cumpla con las exigencias y necesidades requeridas por el usuario. Además, este tipo de sistemas DIY permiten al organizador tener la libertad de utilizar varios componentes de hardware para crear el sistema perfecto, de acuerdo a sus necesidades.

Los problemas que pueden presentarse al realizar sistemas DIY, están relacionados mayormente con la falta de experiencia, tanto en el manejo adecuado de tecnología RFID como en la falta de conocimientos de programación, los cuales son esenciales al momento de solucionar cualquier tipo de dificultad que se presente al momento de organizar una carrera; un aspecto que resulta ser beneficioso al momento de desarrollar este tipo de sistema de cronometraje, es la habilidad de modificarlo de tal forma que se acople a necesidades adicionales que puedan presentarse durante los eventos, es decir, permite que el sistema sea flexible debido a la gran variedad de hardware que puede ser utilizado.

En este sistema se planea utilizar una configuración de dos antenas tipo panel y un lector, este tipo de configuración trabaja bien con un grupo de 50 a 200 corredores; debido a que solo se cuenta con dos antenas para realizar la lectura, esta configuración debe tener un área de lectura de 6 pies o 1.83 m para garantizar la lectura de los tags; además, en esta configuración es recomendable realizar lecturas de un participante cada dos segundos. Es necesario adecuar la estructura para poder colocar las antenas de forma que logren tener una vista clara con respecto al tag, para incrementar las posibilidades de lectura [9].

En cuanto a la forma más eficiente de obtener la información de los corredores se puede establecer cuatro formas populares de etiquetarlos, estas son:

- Etiquetado de babero
- Etiquetado doble de babero
- Etiquetado de zapato
- Etiquetado de cadera

Para lograr el mejor método de etiquetado, es necesario probar estas configuraciones, para ver cuál responde mejor al sistema que se está desarrollando.

- Etiquetado de babero: en este tipo de etiquetado, el corredor utiliza un tag en la zona del pecho, como se puede apreciar en la figura 2, en este caso el tag puede estar alineado horizontal o verticalmente, dependiendo de la polarización de la antena; este tipo de etiquetado reduce el riesgo de que el corredor provoque errores en la lectura, sin embargo, el rango de lectura puede ser limitado debido a la interferencia que puede

provocar el cuerpo humano, es posible reducir este problema creando una separación entre el tag y el cuerpo del corredor mediante el uso de un espaciador de espuma.

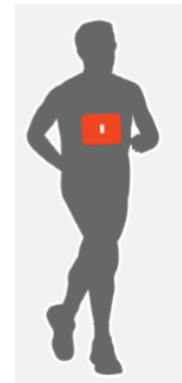


Fig. 2. Etiquetado de babero

En cuanto a la configuración de la antena, si se piensa emplear una antena tipo panel es recomendable utilizar dos en los costados de la pista, que se encuentren enfocadas hacia el centro del punto de control y a la altura del pecho, además es recomendable utilizar antenas con polarización circular, para evitar problemas de lectura con respecto a la posición del tag en el participante. Un arreglo alternativo para las antenas tipo panel, puede ser el de utilizar cuatro antenas, dos en la parte superior del punto de control, y dos en los costados a la altura del pecho; de esta forma se puede mejorar la adquisición de información.

Si se piensa utilizar antenas tipo alfombra con polarización lineal, es recomendable que el tag se coloque de forma vertical; es necesario probar los ángulos de los tags con respecto a la antena en cualquier configuración para lograr obtener los niveles de lectura eficientes [10].

- Etiquetado doble de babero: Este tipo de etiquetado consiste en utilizar dos tags en la zona del pecho, cada uno alineado de forma diferente o de la misma forma, como se observa en la figura 3; la principal ventaja de utilizar este método es que se incrementan las probabilidades de obtener una lectura, sin embargo, existen dos problemas principales relacionados con este método: El primero tiene que ver con el incremento en el costo del sistema debido al uso de dos tags, y el segundo tiene que ver con la reducción del rango de lectura debido a la interferencia que puede provocar el cuerpo humano, al igual que en el caso anterior de etiquetado, es posible reducir este problema creando una separación entre el tag y el cuerpo del corredor mediante el uso de un espaciador de espuma.

En cuanto a la configuración de las antenas, se pueden utilizar las configuraciones descritas en el método de etiquetado de babero [10].

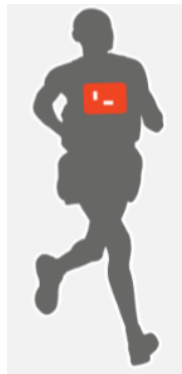


Fig. 3. *Etiquetado doble de babero*

- Etiquetado de zapato: el etiquetado de zapato consiste en colocar un tag en uno de los zapatos del corredor como se observa en la figura 4, este método es utilizado en carreras con un número pequeño de participantes, el tag se asegura en los cordones del zapato del corredor; este método es utilizado para incrementar la probabilidad de lectura, debido a que existe menos interferencia, por estar ubicado en una parte relativamente pequeña del cuerpo.

Una desventaja que presenta este método de etiquetado es que no se puede determinar la orientación del tag debido al movimiento generado por el corredor, de este modo la polaridad de la antena tiene que ser circular; debido a este inconveniente este tipo de etiquetado no es recomendado para carreras con un gran número de participantes.

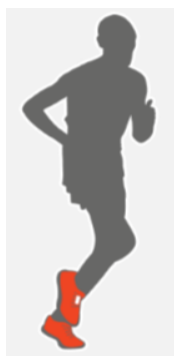


Fig. 4. *Etiquetado de zapato*

En este tipo de método de etiquetado se utilizan por lo menos dos antenas tipo panel con una polarización circular a los costados del punto de control, las antenas tienen que ubicarse a una altura de un pie desde el suelo [10].

- Etiquetado de cadera: este tipo de etiquetado se emplea para carreras pequeñas, en este método se colocan dos tags en la cadera de los corredores, como se puede observar en la figura 5, uno en el lado izquierdo y otro en el derecho; este método de etiquetado permite incrementar las probabilidades de obtener una lectura por el hecho de utilizar dos tags, sin embargo, el costo se incrementa por el hecho de utilizar dos, además al estar ubicado en una zona densa del cuerpo humano, se puede experimentar atenuaciones, y por lo tanto reducción del rango de lectura.



Fig. 5. *Etiquetado de cadera*

En cuanto a la configuración de las antenas, es posible utilizar una polarización lineal o circular, con dos antenas tipo panel que se encuentren a la altura de la cadera a los costados del punto de control. Las antenas deben de apuntar en lo posible a la ubicación de los tags para obtener los mejores resultados [10].

III. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

En este proyecto se desea realizar la implementación de un sistema de cronometraje para carreras de atletismo mediante tecnología de RFID tal y como se muestra en la figura 6, para lo cual se plantea utilizar tags electrónicos en los competidores para mejorar el procesamiento de información de forma eficiente; se plantea realizar un portal para el punto de control que contará con lectores y antenas, estos se conectarán a una base de datos para realizar el almacenamiento de información, además se pretende utilizar una interfaz gráfica para que la información de los participantes esté disponible en tiempo real. Se espera generar un sistema eficiente que cumpla con el objetivo propuesto.



Fig. 6. Sistema propuesto

A. Software de Adquisición

Para desarrollar el software de adquisición del sistema, se optó por utilizar el lenguaje de programación LabVIEW; el programa principal está dividido en cuatro opciones, figura 7, las cuales son registro, búsqueda, carrera y resultados; el panel frontal del VI (Virtual Instrument por sus siglas en inglés) contiene cinco botones para acceder a las tareas de registro de los participantes, búsqueda de información de los competidores, adquisición del inicio y final de la carrera, el poder procesar y mostrar los resultados de los deportistas y finalmente el botón “salir”, el cual permite finalizar el programa principal.



Fig. 7. Menú principal.

En síntesis la función principal que realiza este programa, es la de acceder a las distintas opciones que posee el sistema; este se mantiene a la espera para que el usuario seleccione una de las opciones que se presentan en el menú principal, si algún botón es presionado, los subprogramas que están enlazados a estos son ejecutados; el diagrama de flujo de la figura 8, muestra como es el proceso que ejecuta el programa.

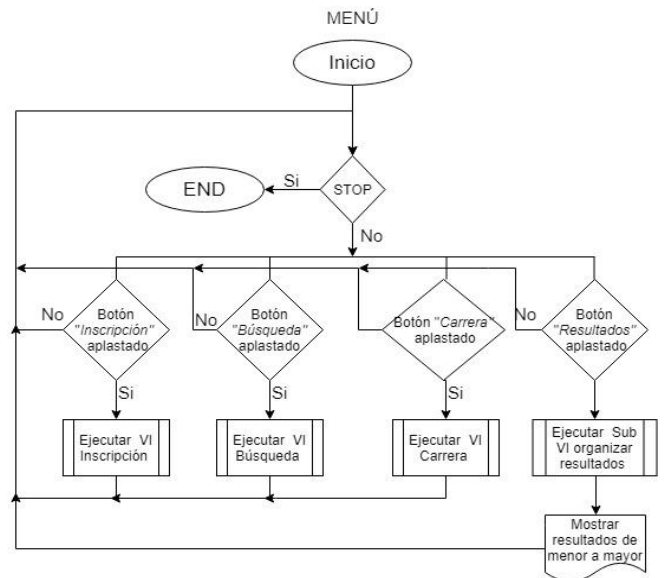


Fig. 8. Diagrama de flujo del menú principal

Para el programa de inscripción, figura 9, es necesario utilizar una base de datos para almacenar la información de cada uno de los participantes, de forma, ordenada y eficiente; en este caso se ha utilizado MySQL y el software XAMPP, el cual es un servidor que permite interactuar y manejar la base de datos; el panel frontal cuenta con dos campos que tienen que ser llenados obligatoriamente para poder realizar un registro, estos son nombre y cédula.

Para poder realizar el registro es necesario que solo un tag se encuentre en el lector al momento de hacer el registro; para esto el programa cuenta con dos indicadores para saber si no existe, o si hay más de un tag en el campo de lectura. Finalmente, se ha añadido una opción para eliminar la información de un participante, si esta ha sido llenada de forma incorrecta. El programa cuenta con tres botones, “registrar”, “anular participante por cédula” y “regresar”, este último permite cerrar el programa y volver al menú principal.

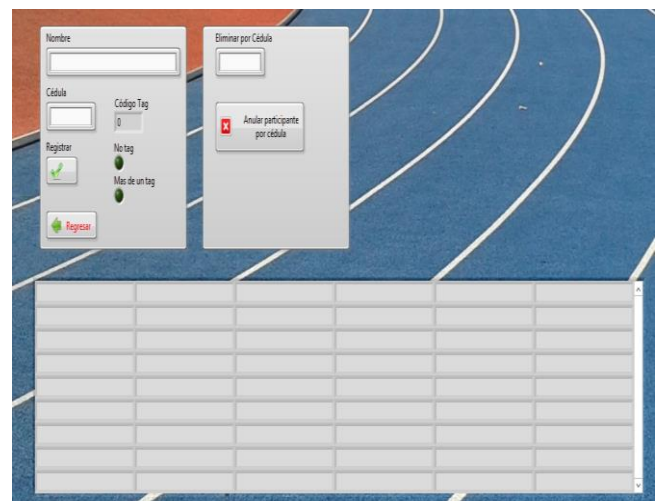


Fig. 9. Programa de inscripción.

En cuanto a cómo funciona el VI de inscripción, el diagrama de flujo de la figura 10, detalla cómo los procesos

son ejecutados; al momento de realizar el registro los campos de tiempo de salida, llegada y tiempo total son llenados con valores de cero, además el programa cuenta con una función para eliminar a cualquier participante si se ha cometido algún error al momento de realizar la inscripción.

El programa para realizar búsquedas, figura 11, permite obtener información detallada acerca de un participante, para esto cuenta con el botón “búsqueda”, el cual permite buscar a un participante ya sea utilizando el número de cédula con el que ha sido registrado en la base de datos o por medio del tag que se le ha sido asignado; el botón “limpiar” permite borrar las búsquedas que se han realizado, finalmente el botón “regresar” permite cerrar el programa y regresar al menú principal. Para realizar una búsqueda es necesario que se ingresen los datos del número de cédula o colocar un solo tag en el lector; existen dos indicadores que permiten determinar si no existe o si es que hay más de un tag en el área de lectura.

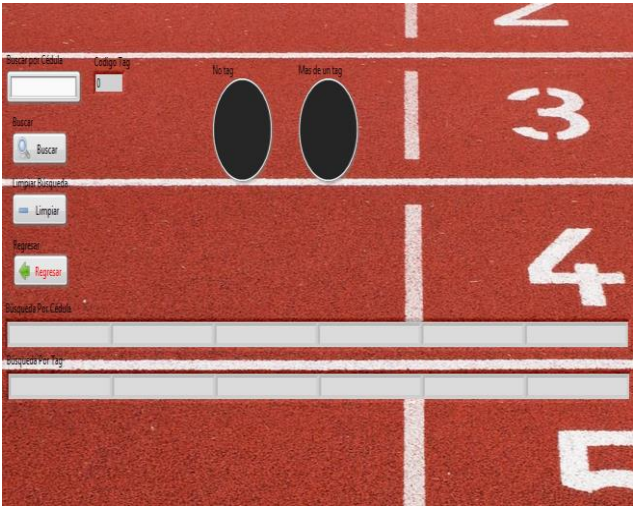


Fig. 11. Programa de búsqueda

Los procesos de ejecución del programa de búsqueda son detallados en el diagrama de flujo de la figura 12.

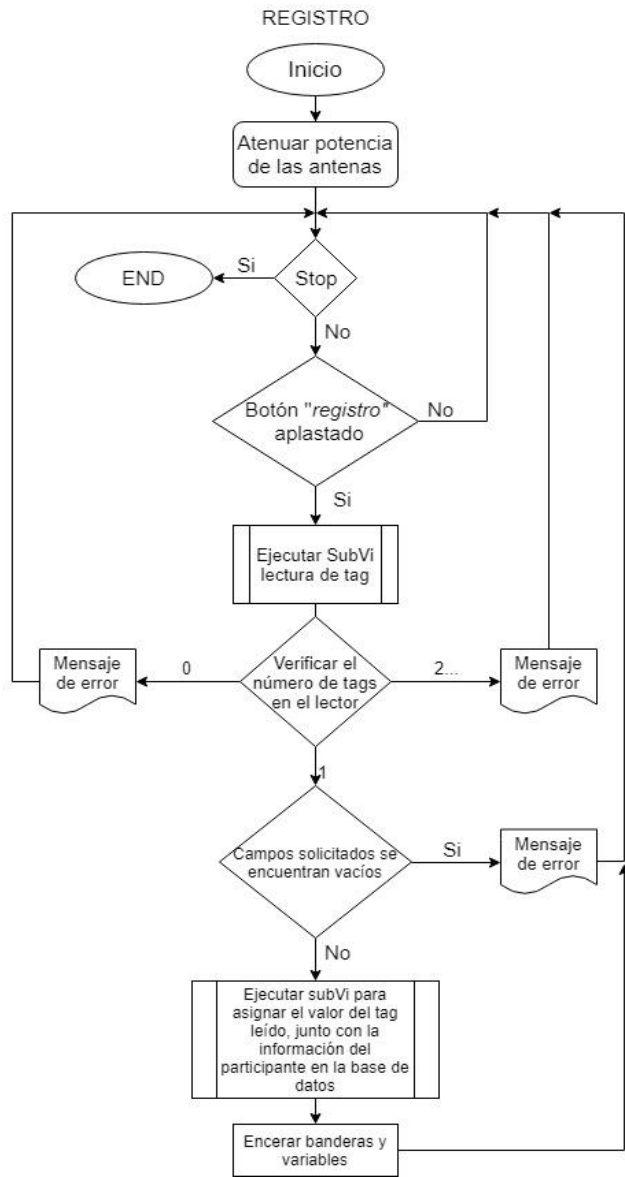


Fig. 10. Diagrama de flujo para el programa de inscripción.

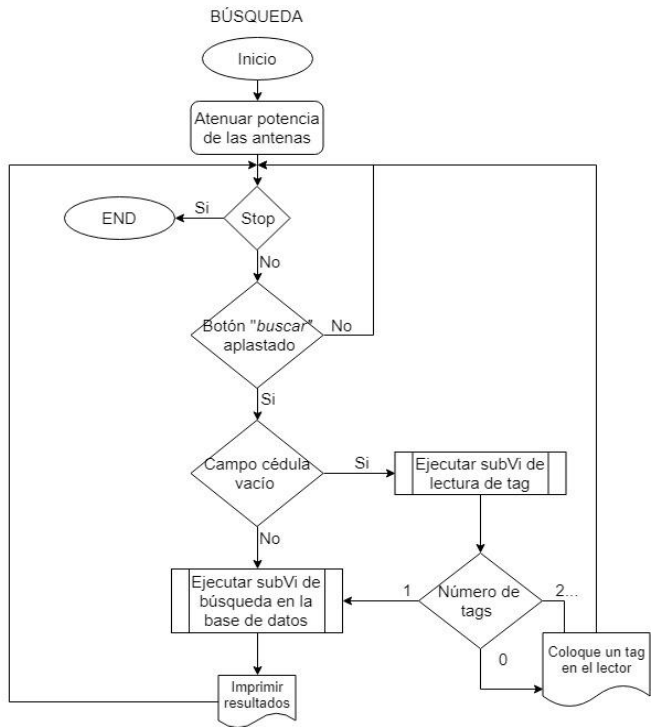


Fig. 12. Diagrama de flujo para el programa de Búsqueda.

El programa de adquisición del inicio y final de la carrera, figura 13, utiliza ciertas funciones del lector para mejorar el rendimiento del programa que se ejecuta desde el PC, el programa tiene dos etapas de funcionamiento; la primera es la de adquirir el inicio de la carrera, una vez a concluido la etapa de salida, los datos pueden ser procesados y organizados en la base de datos mediante el botón “procesar datos salida”; una vez que se ha verificado que esta información este correctamente almacenada se procede a limpiar los registros del lector y las variables del sistema, para proceder a la segunda etapa, la cual es la adquisición del final de la carrera; cuando todos los concursantes hayan pasado la línea de meta,

se procesan los datos de la llegada de los participantes mediante el botón “procesar datos llegada”. El botón “finalizar” permite cerrar el programa y volver al menú principal

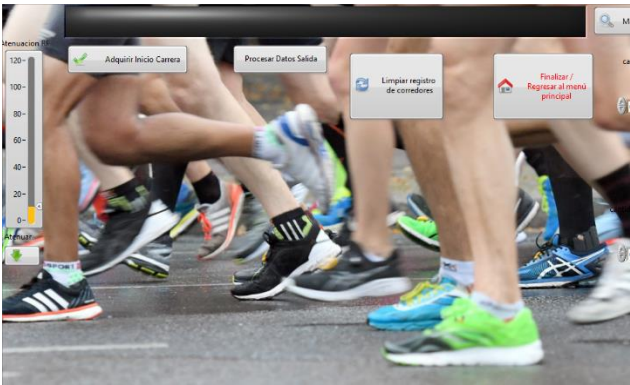


Fig. 13. Programa de adquisición del inicio y final de la carrera.

El diagrama de flujo de la figura 14 muestra los procesos que lleva a cabo el programa para obtener los tiempos de cada uno de los participantes.

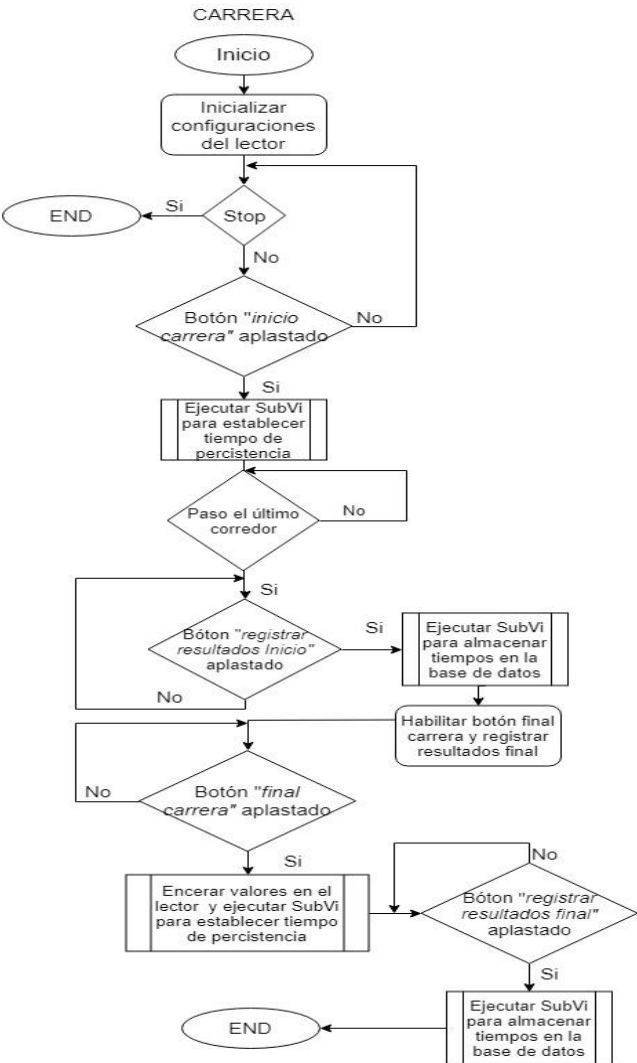


Fig. 14. Diagrama de flujo para el programa de adquisicion del inicio y final de la carrera.

B. Diseño de hardware

Para determinar la posición idónea para las antenas del sistema, se procedió a realizar una serie de pruebas con las antenas y los tags a diferentes alturas; en el primer caso se configuraron las antenas a nivel del piso, los tags después de cada medición de potencia, cambiaron de altura, estas alturas fueron a 10cm del piso, 75cm, 1m, 1,25m, y 1,50m, en el segundo caso las antenas se colocaron en los costados a 1,25m del suelo, el procedimiento con los tags fue igual que en el caso anterior; en el tercer caso las antenas se colocaron a 2,5m del suelo y el procedimiento con los tags fue igual que en los dos caso anteriores; en la figura 15 se puede observar cómo fue la disposición de antenas y tags para cada uno de estos casos.

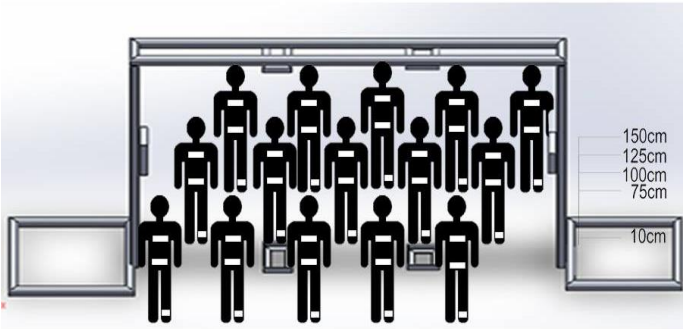


Fig. 15. Diagrama de la dispoicion de las antenas y los tags

IV. RESULTADOS

Para obtener el nivel de potencia RSSI de cada uno de los tags, se diseñó un programa en LabVIEW, capaz de reconocer el valor de potencia, y la posición individual de cada tag, con estos valores es posible verificar el comportamiento de la radiación en los diferentes puntos y alturas, indicadas en la figura 15; para obtener un valor conciso se realizaron varias medidas en cada punto, y luego se obtuvo un valor promedio en cada uno de los casos mencionados anteriormente. Las mediciones de RSSI (Received Signal Strength Intensity por sus siglas en inglés) representan la calidad relativa de una señal recibida en un dispositivo; cuanto mayor sea el valor RSSI, más fuerte será la señal, es decir que esta medida indica la intensidad de señal recibida.

En el primer caso los valores obtenidos con las antenas a nivel del piso y con los tags a 10 cm, se muestran en la tabla I y en la figura 16

TABLA I. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 10 CM ANTENAS A NIVEL DEL SUELO

	Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm antenas a nivel del suelo				
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	74,6	76,8	72	77,2	73,2
0 m	75	110	74,6	106	76,8
0,5 m	74,4	72,4	77,8	74,2	82,2

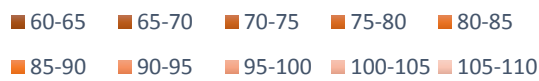
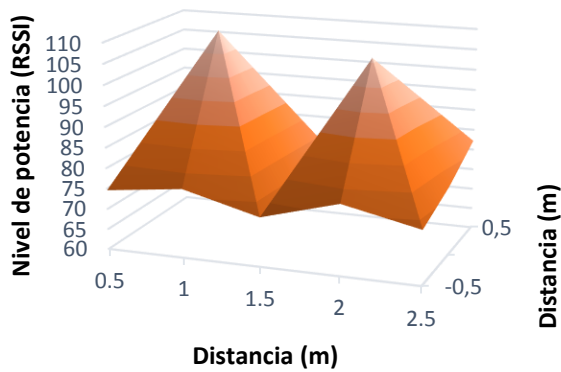


Fig. 16. Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm, antenas a nivel del suelo

Con los tags a una altura de 75 cm los valores obtenidos se muestran en la tabla II y en la figura 17.

TABLA II. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 75 CM ANTENAS A NIVEL DEL SUELO

Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm antenas a nivel del suelo					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	89,4	92,6	88,6	84,4	92
0 m	93	97,2	93,4	98,4	94,4
0,5 m	82,8	89,6	87,6	77	76,2

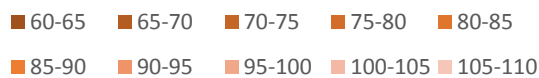
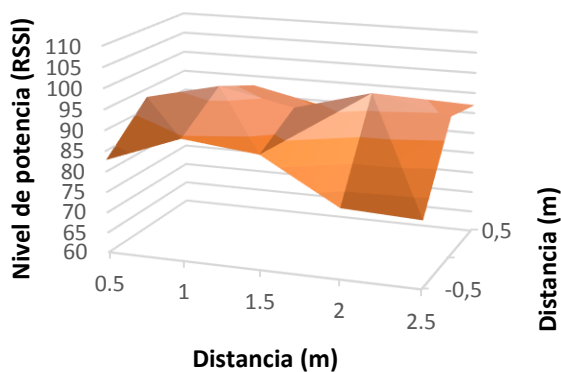


Fig. 17. Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm, antenas a nivel del suelo

Los valores obtenidos para tags a 1 m se muestran en la tabla III y en la figura 18

TABLA III. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1 M ANTENAS A NIVEL DEL SUELO

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m antenas a nivel del suelo					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	83,6	87,8	84,8	84,6	77,6
0 m	94,8	93,4	89	82,4	93,8
0,5 m	87,4	91,8	87,6	84,6	78,6

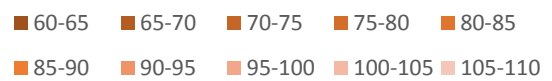
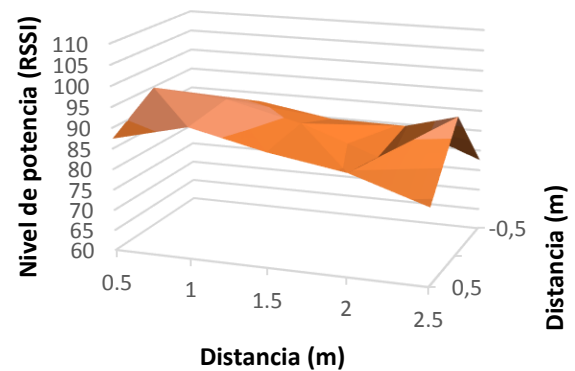


Fig. 18. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m, antenas a nivel del suelo

Los valores obtenidos para tags a 1,25 m se muestran en la tabla IV y en la figura 19

TABLA IV. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,25 M ANTENAS A NIVEL DEL SUELO

Nivel de potencia RSSI, tags a 1,25 m antenas a nivel del suelo					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	78,8	80,8	84	77,4	79,8
0 m	86,8	89,4	84,8	82,6	77
0,5 m	83	85,4	81,6	78	81,8

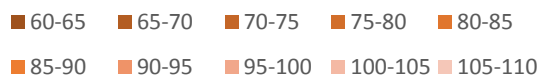
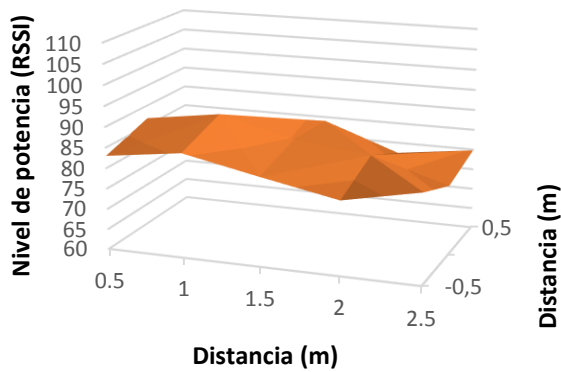


Fig. 19. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,25 m antenas a nivel del suelo

Los valores obtenidos para tags a 1,5 m se muestran en la tabla V y en la figura 20

TABLA V. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,5 M ANTENAS A NIVEL DEL SUELO

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,5 m antenas a nivel del suelo					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	80,2	90,4	83,2	80,2	74,8
0 m	76,4	91,8	82,6	83,2	74,8
0,5 m	75	86,2	82,8	81	77,2

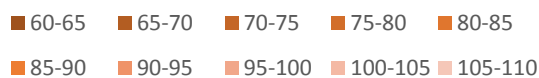
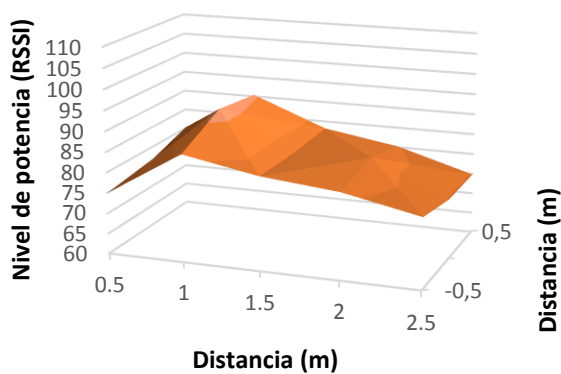


Fig. 20. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,5 m antenas a nivel del suelo

En el segundo caso los valores obtenidos con las antenas ubicadas a una altura de 1,25 m del suelo a los costados del portal y con los tags a 10 cm, se muestran en la tabla VI y en la figura 21

TABLA VI. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 10 CM ANTENAS A 1,25 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm. Antenas a 1,25 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	81,6	81,6	81,2	81,8	81
0 m	77,8	79,2	83,4	84,6	80
0,5 m	84,2	80	82,4	82,8	78

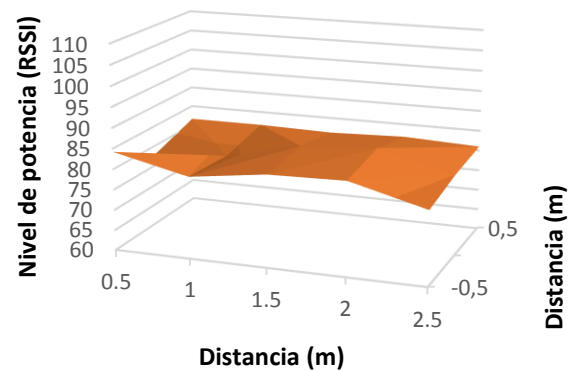


Fig. 21. Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm antenas a 1,25 m

Los valores obtenidos para tags a 75 cm se muestran en la tabla VII y en la figura 22

TABLA VII. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 75 CM ANTENAS A 1,25 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm antenas a 1,25 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	78,8	76,8	79,4	75,4	82,8
0 m	77,2	83,8	77,2	86	91,2
0,5 m	76,8	83,4	80,8	82,4	75,2

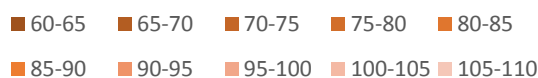
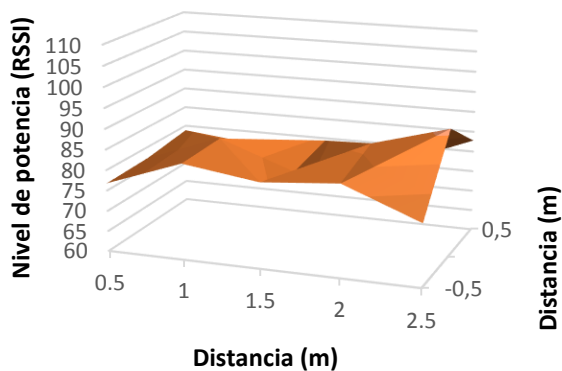


Fig. 22. Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm antenas a 1,25 m

Los valores obtenidos para tags a 1 m se muestran en la tabla VIII y en la figura 23

TABLA VIII. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1 M ANTENAS A 1,25 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m Antenas a 1,25 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	80,4	78,2	85,6	84	81
0 m	81,4	84,8	85,2	92	96,2
0,5 m	88,8	74,4	80,6	85,2	89,2

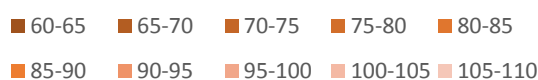
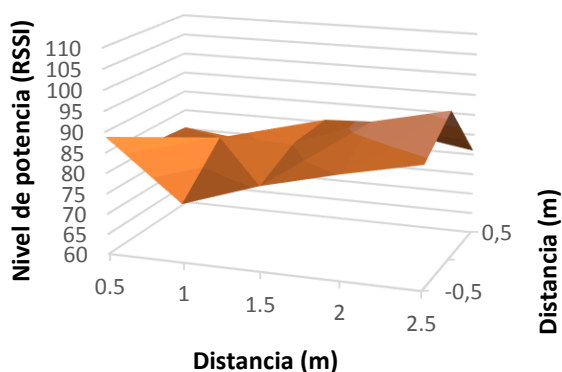


Fig. 23. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m antenas a 1,25 m

Los valores obtenidos para tags a 1,25 m se muestran en la tabla IX y en la figura 24

TABLA IX. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,25 M ANTENAS A 1,25 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,25 m antenas a 1,25 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	75	85,2	78,2	88,6	78,6
0 m	83,2	87,4	82,2	93,2	98
0,5 m	79	80,4	85,6	85,8	88,2

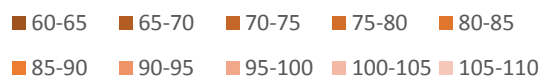
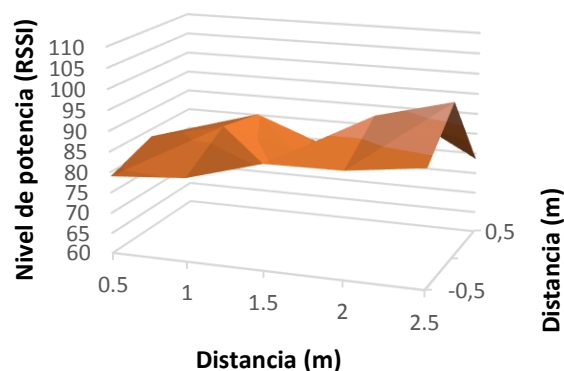


Fig. 24. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,25 m antenas a 1,25 m

Los valores obtenidos para tags a 1,5 m se muestran en la tabla X y en la figura 25.

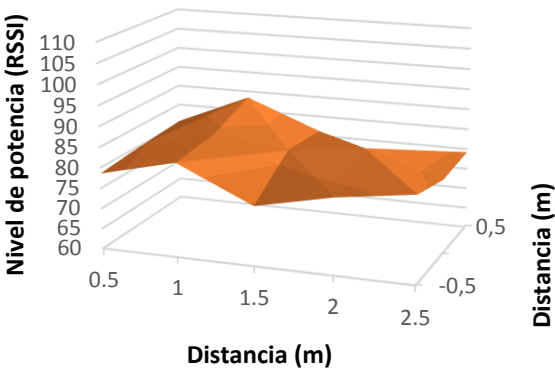
TABLA X. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,5 M ANTENAS A 1,25 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,5 m antenas a 1,25 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	76	78	81,4	79,2	82,8
0 m	83,4	86,6	88,2	92	98,8
0,5 m	80,2	83	87	89,8	88,4

Los valores obtenidos para tags a 75 cm se muestran en la tabla XII y en la figura 27

TABLA XII. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 75 CM ANTENAS A 2,5 M

	Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm antenas a 2,5 m				
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	80,6	88,4	81,2	72,8	79,2
0 m	79,8	84,2	82	84,2	78,4
0,5 m	78,6	83	74,6	78,6	81,2



60-65 65-70 70-75 75-80 80-85
85-90 90-95 95-100 100-105 105-110

Fig. 25. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,5 m antenas a 1,25 m

Para el tercer caso los valores obtenidos con las antenas ubicadas a una altura de 2,5 m del suelo, en la parte superior del portal y con los tags a 10 cm, se muestran en la tabla XI y en la figura 21

TABLA XI. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 10 CM ANTENAS A 2,5 M

	Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm antenas a 2,5 m				
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	90	89	86,8	80,6	80,8
0 m	88	89,2	82,6	76,2	82,2
0,5 m	88,2	87,4	85,4	79	74,4

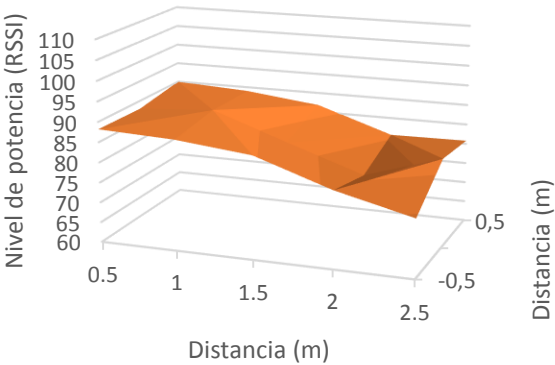
60-65 65-70 70-75 75-80 80-85
85-90 90-95 95-100 100-105 105-110

Fig. 27. Nivel de potencia RSSI, Tags a 75 cm antenas a 2,5 m

Los valores obtenidos para tags a 1 m se muestran en la tabla XIII y en la figura 28

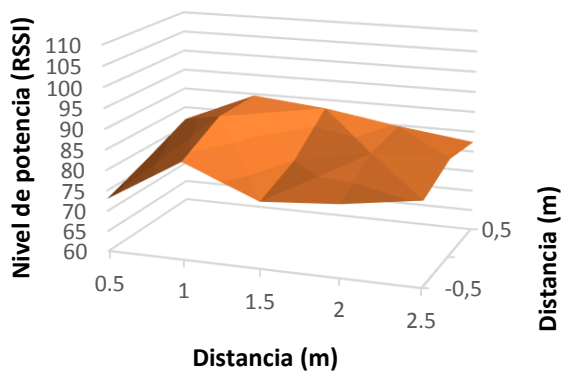
TABLA XIII. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1 M ANTENAS A 2,5 M

	Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m antenas a 2,5 m				
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	81,8	89,6	87,8	84,8	82,4
0 m	77,2	89,4	80	83,6	84
0,5 m	73	83,8	76,2	77,6	80,4



60-65 65-70 70-75 75-80 80-85
85-90 90-95 95-100 100-105 105-110

Fig. 26. Nivel de potencia RSSI, Tags a 10 cm antenas a 2,5 m



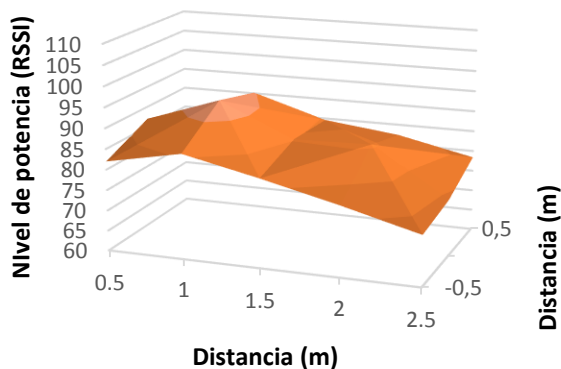
■ 60-65 ■ 65-70 ■ 70-75 ■ 75-80 ■ 80-85
 ■ 85-90 ■ 90-95 ■ 95-100 ■ 100-105 ■ 105-110

Fig. 28. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m antenas a 2,5 m

Los valores obtenidos para tags a 1,25 m se muestran en la tabla XIV y en la figura 29

TABLA XIV. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,25 M ANTENAS A 2,5 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,25 m antenas a 2,5 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	82,4	90,2	84,6	82,4	78,4
0 m	87	93,2	85,2	85,6	74
0,5 m	82	85,6	81,6	77,2	72,4



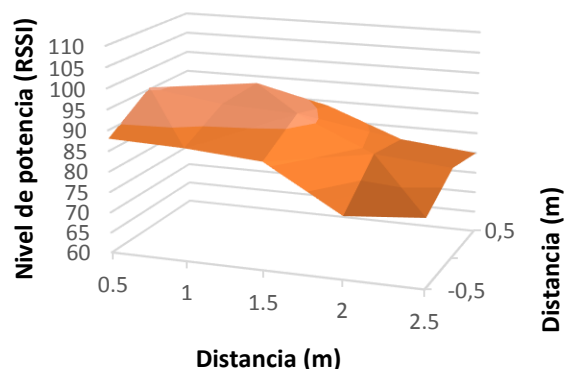
■ 60-65 ■ 65-70 ■ 70-75 ■ 75-80 ■ 80-85
 ■ 85-90 ■ 90-95 ■ 95-100 ■ 100-105 ■ 105-110

Fig. 29. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,25 m antenas a 2,5 m

Los valores obtenidos para tags a 1,5 m se muestran en la tabla XV y en la figura 30

TABLA XV. NIVEL DE POTENCIA RSSI, TAGS A 1,5 M ANTENAS A 2,5 M

Nivel de potencia RSSI, Tags a 1 m antenas a 2,5 m					
	0,5 m	1 m	1,5 m	2 m	2,5 m
-0,5 m	89	93,2	88,8	81,8	80
0 m	95,4	92,8	92	83,8	82,2
0,5 m	88	87,4	86	75,2	76,8



■ 60-65 ■ 65-70 ■ 70-75 ■ 75-80 ■ 80-85
 ■ 85-90 ■ 90-95 ■ 95-100 ■ 100-105 ■ 105-110

Fig. 30. Nivel de potencia RSSI, Tags a 1,5 m antenas a 2,5 m

Con la información obtenida mediante las gráficas mencionadas anteriormente, se puede tener un mejor entendimiento del comportamiento de las superficies de potencia en cada uno de los casos presentados; sin embargo, para realizar un mejor análisis de estas, es necesario desarrollar el perfil de potencia de cada superficie; la tabla XVI presenta cada uno de los perfiles para todas las configuraciones de antenas y tags.

Al observar los perfiles presentados en esta tabla, lo primero que se puede observar, es que la mayor parte de los perfiles, tienen un nivel de potencia por encima de la escala de los 70 RSSI; esto indica que es posible utilizar cualquiera de las configuraciones de antena y tag para el portal de 3m de ancho x 2.5m de alto, no obstante ciertas configuraciones no garanticen que en todas las ocasiones se produzca una lectura del tag cuando, este pase por los campos de lectura de la antena.

Es por esto que se decidió verificar cuál de los diferentes perfiles presentados en la tabla abarca la mayor área de cobertura, con una potencia que garantice la lectura del tag en la línea de llegada; después de analizar las gráficas se puede observar que la configuración de antenas a nivel de piso, y tags a 75cm abarca el mayor área de cobertura posible, y garantiza

que se produzca una lectura de los tags dentro del área de meta; esto debido a que el nivel de potencia RSSI se encuentra en un rango mayor o igual a los 90 RSSI.

Para determinar cuál es la precisión de cada configuración de antenas y tags, se realizaron cien medidas a diferentes velocidades, en cada una de estas; la tabla XVII muestra los resultados obtenidos, se puede observar que la configuración con mayor precisión es la mencionada anteriormente con tags a 75cm y antenas a nivel del piso.

V. CONCLUSIONES

En conclusión, después de haber realizado una serie de pruebas en el sistema de cronometraje planteado, se observó que este permite mejorar los tiempos de adquisición de los participantes, debido a que el software desarrollado en conjunto con el hardware empleado permiten almacenar la información de un corredor en una base de datos, en el momento que este pase por el campo de lectura ubicado en la línea de salida y de meta; debido a que el sistema es el encargado de hacer la lectura de los datos de los corredores, el factor de error humano no interviene en cada medición, por lo que se puede establecer que no se perjudicará a los corredores.

Es importante recalcar que el sistema, además de mejorar los tiempos de adquisición de los participantes, permitió establecer que, para un sistema con configuración de dos antenas tipo panel, la mejor forma de etiquetar a los corredores es la del etiquetado de cadera, esto debido al análisis realizado en cada uno de los perfiles de potencia obtenidos en la tabla XVI y la de precisión del sistema de la tabla XVII, los cuales demuestran que esta configuración permite tener la mayor área de cobertura, y por lo tanto, la menor pérdida de lectura de datos posible.

VI. TRABAJO FUTURO

Se puede plantear una investigación futura para el desarrollo de un software que permita realizar el análisis de: selectividad, discriminación y problemas de colisión que ocurren con la lectura de múltiples tags RFID simultáneamente. La distancia máxima de lectura que brinda cada configuración de las antenas en función al lóbulo de radiación; podría servir para elaborar un algoritmo más eficiente en el manejo de la detección de participantes cuando estos estén cerca de la línea de meta.

VII. REFERENCIAS

- [1] M. Yusop, M. Misran, M. Meor Said, A. Othman, M. Salleh, A. Baharom, M. Ab Rahman, M. Aminuddin y N. Ismail, «Smart Le Tour checkpoint using RFID,» de *Technology Management and Emerging Technologies (ISTMET)*, 2014 International Symposium on, Bandung, Indonesia, 2014.
- [2] P. Setthawong, S. Pawut, R. Jiamthapthaksin y K. Se Won, «A cost-effective interactive platform for the management of a small scale lap-based jogging competition using low-frequency RFID technology,» de *Science in Information Technology (ICSITech)*, 2017 3rd International Conference on, Bandung, Indonesia, 2017.
- [3] Y. Sekyoung, J. Yongwoong, P. Seung-Hun y Z. Weimo, «RFID-Based Automatic Scoring System for Physical Fitness Testing,» de *IEEE Systems Journal*, 2014.
- [4] P. Min-Ho, L. Choon-Seong y B. Dae-Jung, «Multiple reader algorithm for sports timing systems and its application at low frequency bandwidth,» de *China Communications*, 2013.
- [5] L. Kun-Ying, H. Ming-Wei y L. Shi-Rung, «Bicycle management systems in anti-theft, certification, and race by using RFID,» de *Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference (CSQRWC)*, 2011, Harbin, China, 2011.
- [6] R. Want, «RFID Explained: A Primer on Radio Frequency Identification Technologies,» Morgan & Claypool Publishers series, 2006.
- [7] A. RFID, «The Beginner's Guide To RFID Systems,» 2017, pp. 17-17.
- [8] A. RFIDstore, «A Guide to Building your Own Timing System,» 2017, pp. 5-8.
- [9] A. R. Solutions, «Selecting the right equipment,» *AtlasRFIDStore.com*, [En línea]. Available: <https://www.atlasrfidstore.com/selecting-the-right-chip-timing-equipment/>. [Último acceso: 25 julio 2018].
- [10] AtlasRFID, How to properly Tag Racers, 2018.

TABLA XVI. PERFILES DE POTENCIA RSSI PARA LAS DISTINTAS CONFIGURACIONES DE TAGS Y ANTENAS

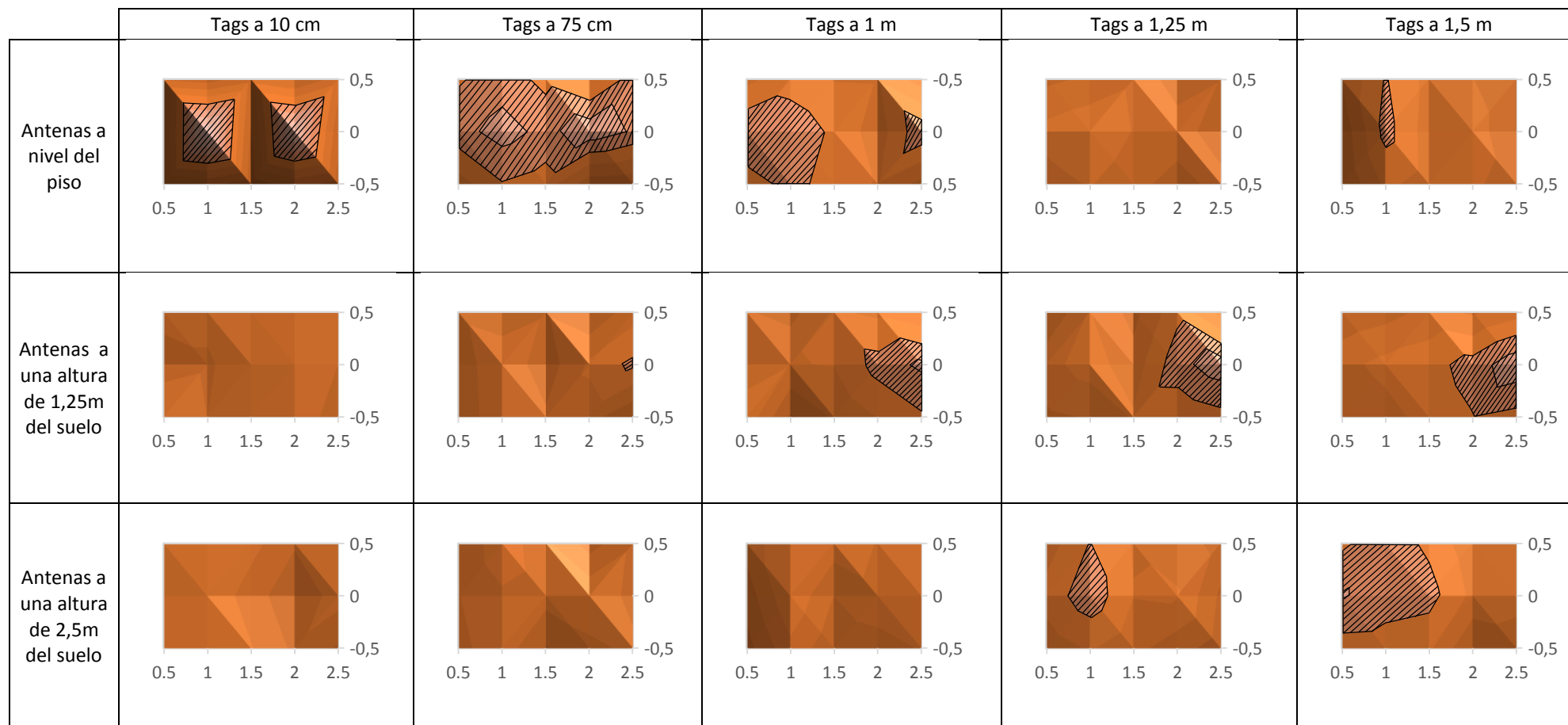
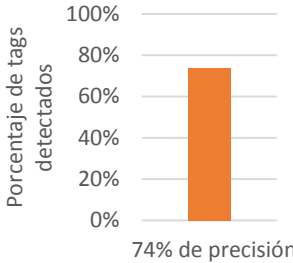
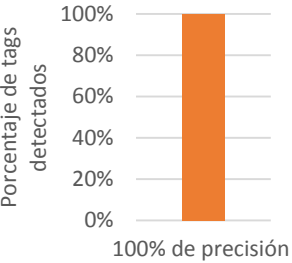
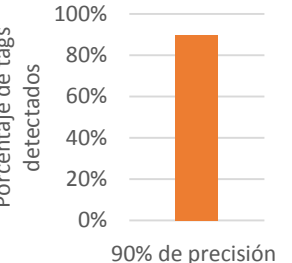
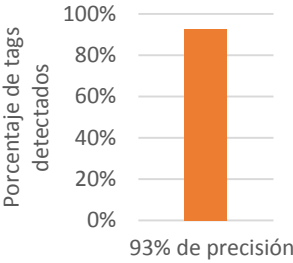
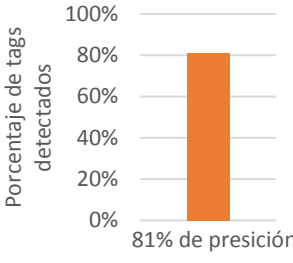
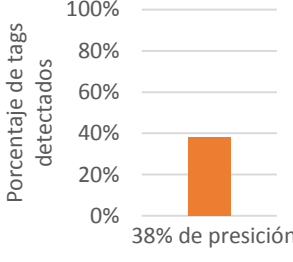
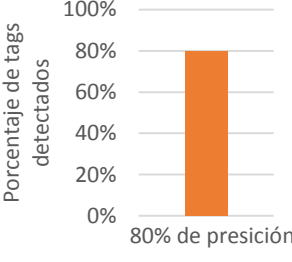
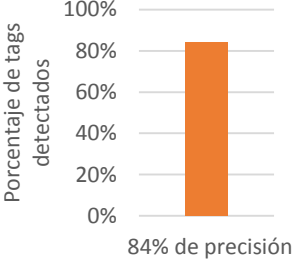
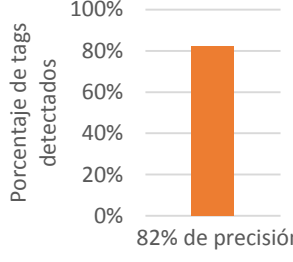
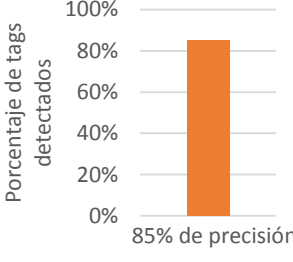
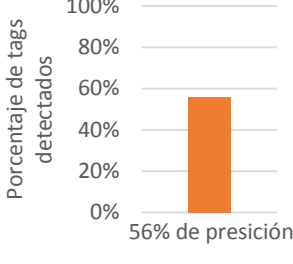
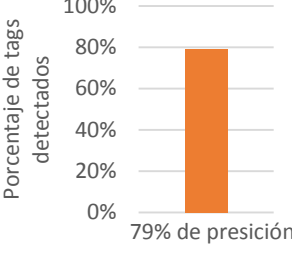
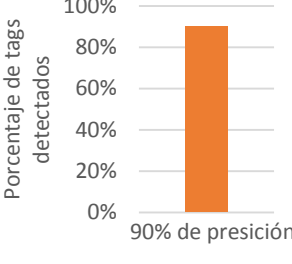
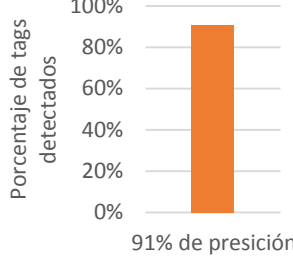
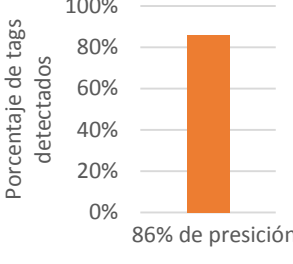


TABLA XVII. PORCENTAJE DE PRECISIÓN DE CADA CONFIGURACIÓN

	Tags a 10 cm	Tags a 75 cm	Tags a 1 m	Tags a 1,25 m	Tags a 1,5 m
Antenas a nivel del piso	 Porcentaje de tags detectados 74% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 100% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 90% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 93% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 81% de precisión
Antenas a una altura de 1,25m del suelo	 Porcentaje de tags detectados 38% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 80% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 84% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 82% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 85% de precisión
Antenas a una altura de 2,5m del suelo	 Porcentaje de tags detectados 56% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 79% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 90% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 91% de precisión	 Porcentaje de tags detectados 86% de precisión