

127-17

Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

Campus Ciudad de México



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY.**

Proyectos de Ingeniería II

**SISTEMA DE MEDICIÓN DE TIEMPO PARA CARRERAS ATLÉTICAS  
DE FONDO MEDIANTE RFID REALIZADAS POR EL ITESM CCM**

Presentan:

Leopoldo Marcos Urquidi Sánchez	342639
Ricardo Morales González	995008
Juan Ramón Galván Pérez	373182

Asesor: M. en C. Rodrigo Regalado García



**TECNOLÓGICO  
DE MONTERREY**

**Biblioteca**  
Campus Ciudad de México

16 de Mayo de 2008

## Índice

1. Introducción	-----	1
2. Problemática	-----	1
3. Objetivos y Metas	-----	1
3.1 Objetivo general	-----	1
3.2 Objetivos específicos	-----	1
4. Estado del Arte	-----	2
4.1 Sistema Actual	-----	2
4.2 Sistema oficial	-----	2
4.3 Sistema No oficial	-----	3
5. Propuesta de Solución	-----	4
6. Marco Teórico	-----	5
6.1 Frecuencias de operación	-----	6
6.2 Regularización	-----	7
6.3 Etiquetas	-----	7
6.3.1 Clasificación de acuerdo a la fuente de alimentación	-----	7
6.3.2 Protocolos de comunicación	-----	8
6.4 Antenas	-----	10
6.5 Lector	-----	11
6.6 Aplicación	-----	12
6.6.1 Base de datos	-----	12
6.6.2 Aplicación Java	-----	14
6.6.3 Interfaz	-----	14
7. Pruebas y resultados	-----	16
7.1 Selección y posición de etiquetas	-----	16
7.2 Inclinación de la antena en el arco	-----	19
7.3 Número de antenas	-----	21
7.4 Colocación de la etiqueta sobre el corredor	-----	23
7.5 Prueba de velocidad	-----	28
7.6 Carrera de prueba	-----	29
8. Conclusiones	-----	32
9. Trabajo a futuro	-----	33
10. Anexos	-----	34
10.1 Características y especificaciones de las etiquetas Alien	-----	34
10.2 Información técnica del equipo lector y antenas	-----	35
10.3 Costo del prototipo aproximado en pesos Mexicanos	-----	36
10.4 Especificaciones del portal	-----	37
10.5 Etiquetas usadas actualmente en sistemas de cronometraje	-----	38
10.6 Cronograma de actividades	-----	39
11. Referencias	-----	42
13. Póster	-----	43

## **1. Introducción**

Las tecnologías de identificación automáticas han revolucionado la industria de servicio, compra y distribución de productos, transporte de bienes, manufactureras, etc. Un ejemplo de este tipo de tecnología es el código de barras. Este se ve con frecuencia en la vida cotidiana. Por ejemplo en las tiendas de autoservicio, en este caso se usa para identificar el producto y de esta forma conocer el precio del mismo.

Otra tecnología que ha venido tomando fuerza, debido a las ventajas que presenta es la identificación por radio frecuencia, mejor conocida como RFID. A diferencia del código de barras, RFID no requiere que el objeto se encuentre en una posición específica ni una línea de vista directa, esto se debe a que la información se transmite por medio de ondas de radio. También puede almacenar una cantidad mayor de datos y puede ofrecer protección de la información, con lo cual su área de aplicación se expande considerablemente.

## **2. Problemática**

Hoy en día, se realizan carreras de larga distancia o comúnmente llamadas carreras de fondo, que son un tipo de competencia de atletismo que consiste en correr distancias que van desde los 5000 m hasta los 42 km, esta última distancia se corre en maratón.

En el Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey Campus Ciudad de México, ITESM CCM, se realiza un evento deportivo llamado "*Carrera TEC*"; una competencia atlética de 5 y 10 Kilómetros en la que participan alrededor de 1000 corredores. Los organizadores del evento rentan un sistema para el cronometraje basado en tecnología RFID, el equipo consta de un conjunto de lectores, antenas, etiquetas, y una base de datos para la administración de la información. La renta de este equipo genera un gasto para el ITESM CCM.

El proyecto consiste en el desarrollo de un prototipo de medición de tiempos para la "*Carrera TEC*", basado en RFID. En éste proyecto se busca que cada vez que pase un corredor por una antena situada en la línea de meta sea detectado. La información recopilada en la línea de meta será enviada a una computadora para administrarla en una base de datos.

## **3. Objetivos y Metas**

### **3.1 Objetivo general**

- Desarrollar e integrar un prototipo de cronometraje usando tecnología RFID para las carreras atléticas de fondo realizadas por el ITESM CCM.

### **3.2 Objetivos específicos**

- Conocer los aspectos de la tecnología RFID.

- Diseñar e implementar una base de datos para el procesamiento y almacenamiento de la información.
- Integrar el hardware (antena, lector y etiqueta), con el sistema de procesamiento y almacenamiento de la información. (Base de datos).
  - Definir la etiqueta que tenga la mayor cantidad de lecturas a diferentes ángulos con respecto a la antena.
  - Definir la o las posiciones adecuadas para detectar las antenas.
  - Definir cuantas antenas se necesitan para cubrir cierta área.

#### 4. Estado del Arte

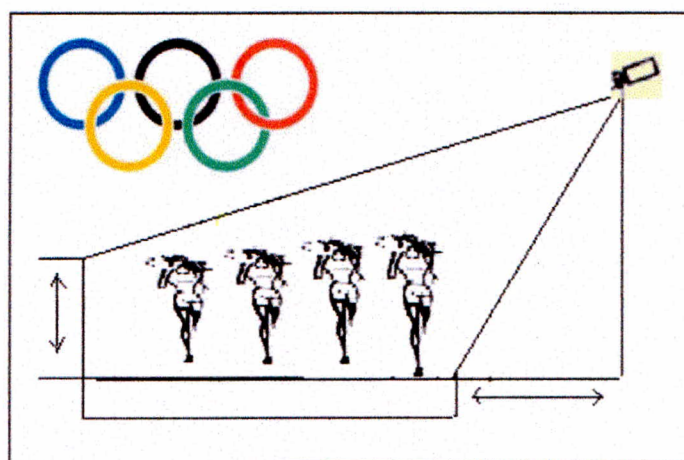
##### 4.1 Sistema Actual

Actualmente existen sistemas que se utilizan para el cronometraje en las carreras atléticas de fondo, y por la tecnología que utilizan se pueden dividir en sistemas oficiales y no oficiales.

##### 4.2 Sistema oficial

En competencias internacionales y mundiales, como los juegos olímpicos se requiere de un cronometraje muy preciso, para esto, existe un sistema de medición de tiempo llamado Foto finish.

Su funcionamiento se basa en la toma de imágenes mediante cámaras capaces de tomar 50 fotos por segundo. Se tiene que garantizar que cada corredor sea filmado en la línea de meta como se muestra en la figura 1.



*Figura 1 Sistema foto finish*

La pistola utilizada para el arranque de la carrera debe ser colocada mirando a la cámara oficial, para permitir la captura completa de la detonación.

Un sensor de detonación debe situarse junto a la pistola, para que en el momento del disparo se lleve a cabo el conteo.

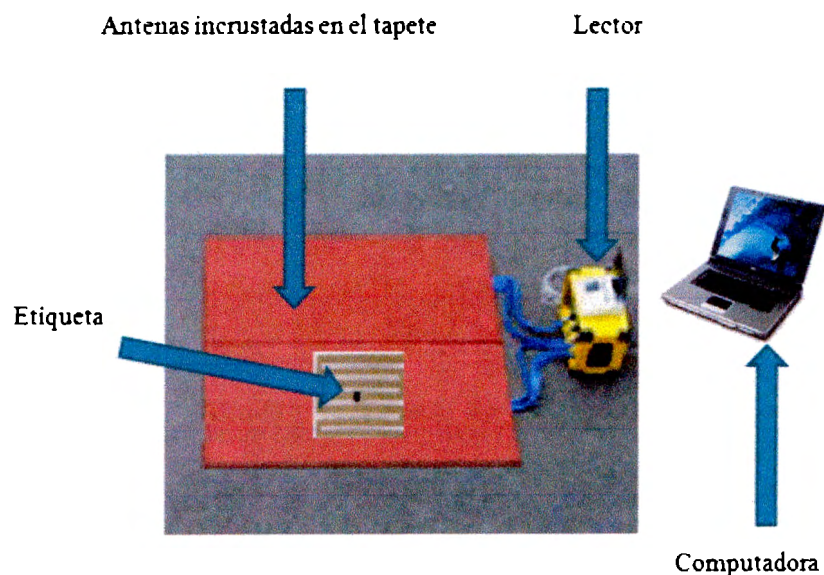
Las imágenes que capta el sistema son procesadas por un programa informático, dando como resultado la posibilidad de poder visualizar e imprimir la clasificación de los primeros 15 corredores inmediatamente y sin errores. Este sistema proporciona hasta milésimas de segundo.

El sistema "Foto finish", tiene un costo aproximado de \$500, 000 pesos.

#### 4.3 Sistema no oficial

Existen empresas dedicadas al cronometraje de eventos deportivos (IPICO SPORTS, CHAMPIONCHIP, AMBIT ACTIVE, etc.), estas empresas cuentan con un sistema para el cronometraje de los tiempos basado en tecnología RFID, cabe destacar, que estos no son usados en competencias internacionales y mundiales donde se requiere de un cronometraje oficial, debido a la falta de precisión en los resultados.

Estos métodos se basan en la colocación de antenas emisoras y receptoras que están incrustadas en unas delgadas alfombras hechas de tartán. Estas alfombras están situadas en la línea de meta y están conectadas a un lector situado a un lado de la pista, el cual guarda los volúmenes de información para ser administrados. A cada corredor se le coloca una etiqueta en el tenis, el cual emitirá un código ya relacionado con el número dorsal. Cada vez que un corredor cruza la alfombra, la etiqueta se energiza y envía el número de identificación al lector para que después se mande a una base local para la administración y procesamiento de los datos. En la figura 2 se muestra el sistema de cronometraje usado por las empresas anteriormente mencionadas.



*Figura 2 Sistema de cronometraje basado en RFID*

En la tabla 1 se muestran los precios aproximados de 3 de las empresas mencionadas anteriormente.

Tabla 1 Precio de tres diferentes equipos de cronometraje (Precios en dólares)

Equipo para el cronometraje deportivo	IPICO SPORTS	CHAMPIONCHIP	AMBIT ACTIVE
Lector (4 lectores)	\$40,000	\$47,650	\$86,000
Antenas (16 tapetes)	\$30,012	\$20,000	\$25,000
Etiquetas (1000)	\$3,000	\$3,500	-
Programa operativo	\$500	-	-
<b>Total</b>	<b>\$70,512</b>	<b>\$70,500</b>	<b>\$111,00</b>

Comprar la tecnología definitivamente es una opción muy costosa. Esta inversión llevaría bastante tiempo recuperarla. Por otro lado si son alumnos los que la desarrollan estos costos se pueden disminuir considerablemente.

### 5. Propuesta de Solución

Para solucionar el problema mencionado en un principio, se propone un sistema basado en RFID. Este sistema consta de 5 partes principalmente: etiquetas, antena, lector, computadora y base de datos. En la figura 3 se muestra el diagrama a bloques del sistema propuesto.

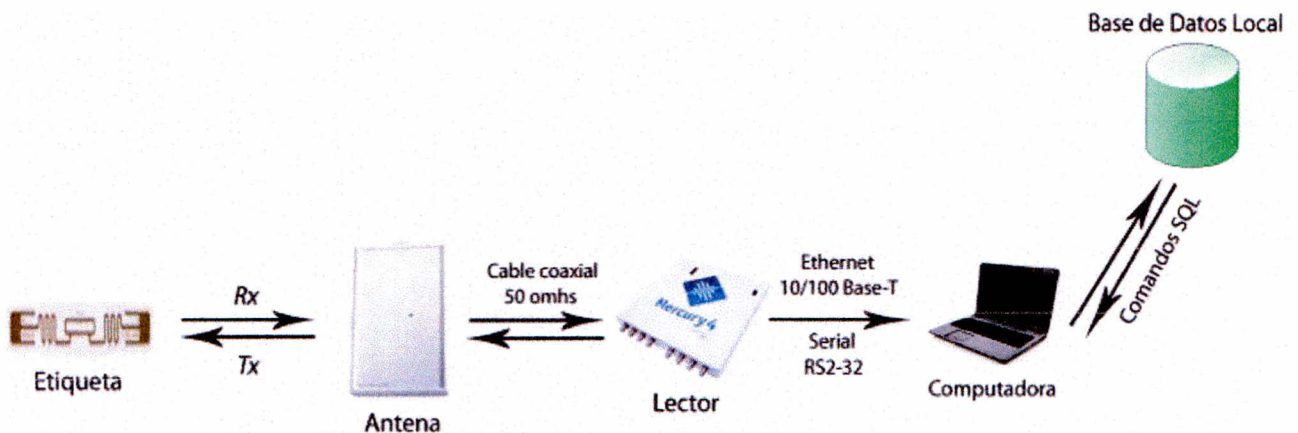


Figura 3 Diagrama del sistema completo propuesto.

Cada corredor contará con una etiqueta (mediante el registro previo se le asigna una etiqueta distinta a cada corredor), la cual le servirá de identificación ante el sistema. Estas etiquetas serán leídas a través de un lector por medio de antenas. El lector estará monitoreando por medio de las antenas el espacio especificado por el área de lectura, en busca de etiquetas. Las antenas se conectan al lector por medio de un cable coaxial con conexión TNC (regulador de nodo terminal). Cuando el lector detecta una etiqueta, la energiza, y de esta

forma la etiqueta le transmite su información, que en este caso será un código EPC (código electrónico del producto), que será utilizado en la parte del software. La comunicación de las etiquetas con el lector es posible gracias a los distintos protocolos de etiquetas pasivas. En este sistema se usa el protocolo Gen2 (protocolo de comunicación usado en la actualidad por las etiquetas RFID) debido a que tiene una mayor capacidad de lectura y algoritmos de anticolisión.

Toda la información de las etiquetas encontradas en el rango de lectura se almacenará en una base de datos en una computadora. La comunicación lector a computadora se realiza mediante puerto Ethernet 10/100, por medio de un cable cruzado. El acceso y la obtención de información de la base de datos se llevan a cabo mediante comandos SQL (lenguaje de consulta estructurado). Una vez terminada la carrera, la base de datos obtenida se almacenará en un servidor por medio de internet (proveedor externo). La comunicación computadora-internet se hace mediante Dial up o por medio de una compañía de servicios de banda ancha. La información de la base de datos estará disponible en una página de internet, en la cual los usuarios podrán consultar vía internet los resultados de la carrera.

## **6. Marco Teórico**

RFID permite una comunicación inalámbrica usada para identificar objetos o personas. Sus aplicaciones son las siguientes:

- Cadena de suministro
- Procesos de manufactura
- Farmacéutica y sector salud
- Consumo de bienes
- Seguridad

Los elementos principales de un sistema RFID son:

- Etiquetas
- Lectores
- Antenas
- Aplicación
- Procesador

La operación comienza cuando el usuario solicita información desde su computadora al lector, por medio de comandos RQL (lenguaje para solicitar una consulta). Para esto se establece un canal de comunicación por medio del puerto 8080. El lector recibe los datos por medio del canal de comunicación (vía Ethernet), una vez procesado el comando suministra potencia a la antena, la cual transmite energía electromagnética al espacio libre. Este campo se propaga y si encuentra una etiqueta en la zona de interrogación, la etiqueta se energiza regresando el código electrónico del producto (EPC) de vuelta al lector y ese al usuario. Finalmente la información es procesada y almacenada en una base de datos.



## 6.1 Frecuencias de operación

Hay diferentes bandas de frecuencia, en la cual trabajan las diferentes tecnologías existentes, entre ellas se encuentran, ELF (frecuencia extremadamente baja), VLF (Frecuencia muy baja), LF (frecuencia baja), MF (frecuencia media), HF (frecuencia alta), VHF (frecuencia muy alta), UHF (frecuencia ultra alta), SHF (frecuencia super alta), EHF (frecuencia extremadamente alta).

Los sistemas RFID trabajan a cierta frecuencia, a esta se le llama frecuencia de operación. Esta es la frecuencia que se usa para la comunicarse y para obtener potencia (en el caso de las etiquetas pasivas).

El conjunto de todas las frecuencias que conforman el espectro radioeléctrico, esta dividido por décadas en bandas, estas divisiones se presentan en la tabla 2. Estas frecuencias están legisladas.

*Tabla 2 Denominación de las bandas de frecuencia por décadas*

Banda	Frecuencia	Longitud de onda	Denominación
ELF	< 3kHz	> 100 Km	Extremadamente baja frecuencia
VLF	3 - 30 kHz	100 - 10 Km	Muy baja frecuencia
LF	30 - 300 khz	10 - 1 Km	Baja frecuencia
MF	0.3 - 3 Mhz	1000 - 100 m	Frecuencia media
HF	3 - 30 Mhz	100 - 10 m	Alta frecuencia
VHF	30 - 300 Mhz	10 - 1 m	Muy alta frecuencia
UHF	0.3- 3 Ghz	100 - 10 cm	Ultra alta frecuencia
SHF	3 - 30 Ghz	10 - 1 cm	Súper alta frecuencia
EHF	30 - 300 Ghz	10 - 1 mm	Extremadamente alta frecuencia

La frecuencia a la que trabaja un sistema RFID le da ciertas características. Por ejemplo: las bajas frecuencias, son mejores para viajar a través del agua, mientras que las altas frecuencias, pueden transportar mayor información, y son típicamente más fáciles de leer a distancia. En la tabla 3, se muestra el alcance de lectura en metros que presentan los sistemas RFID que trabajan en las frecuencias HF y en UHF.

*Tabla 3 Distancia máxima de lectura para Etiquetas pasivas*

Nombre	Distancia de lectura máxima para etiquetas pasivas
HF	3 metros
UHF	9 metros

## 6.2 Regularización

El nivel de potencia emitido por el lector y el ancho de banda disponible son dos características de los sistemas RFID que se encuentran regulados. Dependiendo del país estas dos características varían:

- **Estados Unidos:** el organismo regulador es la FCC (Federal Communications Commission). Las frecuencias que se pueden utilizar van de los 902 a los 928 Mhz. Mientras que la potencia permitida es de 1 W (esto se aplica también en México).
- **Europa:** El organismo que regula es el ETSI (European Telecommunications Standards Institute). La banda disponible sin licencia es de 869.4 – 869.65 MHz, mientras que la potencia permitida es de 500 mW.
- **Asia:** Japón tiene una banda de frecuencia de 950 – 956 MHz disponible.

## 6.3 Etiquetas

Las etiquetas sirven para pegar de manera física información a un objeto. Tienen un mecanismo interno de almacenamiento de datos y una forma de comunicar esos datos.

Todas las etiquetas tienen dos características universales. La primera, pueden ser conectadas o adheridas a un objeto de alguna manera, y la otra es que deben ser capaces de comunicar información por medio de radio frecuencia.

Hay otras características que algunas etiquetas tienen, pero que no todas comparten. Algunas permiten que el lector les mande un comando para que dejen de funcionar de forma permanente. Otras pueden ser escritas varias veces. Unas cuentan con protocolos anticolidión, esto es, cuando hay varias etiquetas dentro de la zona de lectura, el lector puede tener problemas para identificar donde termina la respuesta de una y donde empieza la respuesta de otra. Las etiquetas de anticolidión pueden esperar su turno cuando responden a un lector. Por último ciertas etiquetas tienen la capacidad de participar en comunicación que pueda ser encriptada, y que respondan sólo cuando se proporciona la contraseña correcta.

### 6.3.1 Clasificación de acuerdo a la fuente de alimentación

Dependiendo de su fuente de alimentación las etiquetas se clasifican en pasivas y activas. Las etiquetas pasivas no contienen una fuente de alimentación propia, sino que absorben la energía del campo electromagnético propagado por la antena del lector, induciendo una corriente en la etiqueta suficiente para alimentarla y enviar a la antena receptora la información contenida en su memoria.

Las etiquetas activas contienen una fuente de alimentación propia que energiza al micro-controlador y a la transmisión de datos. En la tabla 4 Se comparan algunas propiedades de ambos tipos de etiquetas.

*Tabla 4 Tabla comparativa de etiquetas pasivas y activas*

<b>ETIQUETAS ACTIVAS Y ETIQUETAS PASIVAS</b>		
<b>Propiedades</b>	<b>Etiquetas activas</b>	<b>Etiquetas pasivas</b>
<b>Inmunidad al ruido</b>	✓	x
<b>Tamaño físico</b>	x	✓
<b>Costo</b>	x	✓
<b>Vida útil</b>	x	✓
<b>Distancia de lectura</b>	✓	x
<b>Peso</b>	x	✓
<b>Requerimientos de la potencia del lector</b>	✓	x
<b>Almacenamiento de datos</b>	✓	x

### 6.3.2 Protocolos de comunicación

Los protocolos de comunicación etiqueta-lector, y lector-etiqueta fueron creados para establecer un estándar unificado para el uso de dispositivos RFID. En la actualidad existen protocolos de primera generación y de segunda generación. Siendo los segundos los que se encuentran normalmente en el mercado. En la tabla 5 se muestran las características de los protocolos de primera generación, dentro de los cuales se encuentra la clase 1 y 2, así como dos estándares ISO.

Tabla 5 Protocolos generación 1

Parámetros	Auto-ID Clase 0	Auto-ID Clase 1	ISO 18000-6A	ISO 18000-6B
<b>LECTOR – ETIQUETA</b>				
Frecuencia de operación	902-928 MHz	902-928 MHz	860-930 MHz	860-930 MHz
Interfase aérea	AM PWM	AM PWM	ASK	Manchester ASK
Tasa de transferencia	EU:40/80 kbps	EU: 70.18 kbps	33 kbps	8/40 kbps
Ciclo de trabajo (peor caso)	52% Dato '1' bajo por 6 $\mu$ s	62.5% Dato '1' bajo por 3To/8	50% Dato '0' bajo por 10 $\mu$ s	50% Código Manchester
Índice de modulación	[20%, 100%]	[30%, 100%]	[27%, 100%]	Nom. [13%, 17%] Nom. [90%,100%]
<b>ETIQUETA – LECTOR</b>				
Interfase aérea	Backscatter pasivo: FSK	Backscatter pasivo: AM intervalo de pulso	Backscatter pasivo: AM Bi-fase	Backscatter pasivo: AM Bi-fase
Tasa de transferencia	EU: 40/80 kbps Europa: 16 kbps	EU:140.35 kbps Europa: 30 kbps	40 kbps	40 kbps
<b>GENERAL</b>				
Velocidad de lectura de etiquetas	200 etiquetas/s	No especificada	100 etiquetas/s	100 etiquetas/s
<b>MEMORIA</b>				
Tipo de memoria	Sólo lectura	Programable	Programable	Programable
Organización de la memoria	EPC: 64/96 bits	EPC: 64/96 bits	256 bits/bloque (2kb) (256 bloques)	8 bits/ bloque (2kb) (256 bloques)

Las etiquetas generación 2 son:

- EPC Clase 0 Generación 2: son pasivas de solo lectura

- EPC Clase 1 Generación 2: son pasivas de lectura-escritura.
- EPC Clase 1 Generación 2: son pasivas de lectura-escritura.
- EPC Clase 2 Generación 2: son etiquetas pasivas con capacidad de memoria y encriptación.
- EPC Clase 3 Generación 2: son etiquetas semi-pasivas.
- EPC Clase 4 Generación 2: Son etiquetas activas, capaces de establecer comunicación peer-to-peer con otras etiquetas activas en la misma banda de frecuencia.
- EPC Clase 5 Generación 2: pueden energizar otras etiquetas clase I y II. Se comunican con otros lectores y con otras etiquetas clase IV.

#### 6.4 Antenas

El Instituto de Ingenieros Eléctricos y Electrónicos (IEEE), define una antena como la parte de un sistema que recibe o envía ondas electromagnéticas. Hay distintos tipos de antenas, y cada una tiene sus características propias.

La misión de toda antena es transmitir o recibir. Cuando transmite, la antena irradia potencia que le es suministrada. Cuando recibe, la antena toma potencia de la onda electromagnética. Todas las antenas tienen diferentes características, y la mejor antena depende del tipo de aplicación.

Toda onda electromagnética esta caracterizada por su frecuencia y su longitud de onda, estos dos parámetros están relacionados por la velocidad de propagación en el medio. Habitualmente, en las antenas es la propagación en el vacío ó la velocidad de la luz.

Los parámetros son los que se necesitan conocer para poder aplicar la antena a un sistema específico. Estos parámetros son: la impedancia, la intensidad de radiación, el diagrama de radiación, la directividad, la polarización, y el ancho de banda.

**Impedancia:** La antena se conecta a un transmisor. Este transmisor es el que excita a la antena. La antena tiene una impedancia de entrada característica, así como también el transmisor tiene una impedancia de salida. El objetivo es el de transmitir a la máxima potencia posible y para esto las impedancias deben ser iguales. También hay que considerar el cable con el que se conecta el transmisor a la antena, ya que este también tiene una impedancia característica que aumenta con la longitud.

**Intensidad de radiación:** Intensidad de radiación es la capacidad de concentrar la energía radiada en ciertas direcciones en el espacio.

**Diagrama de radiación:** Es una representación gráfica de las propiedades de la radiación de una antena. Por lo general, se usa un sistema de coordenadas esféricas. Se sitúa a la antena en el origen, y se expresa el campo eléctrico en función de las variables  $\theta$  y  $\phi$  (coordenadas esféricas). Como el campo magnético se deriva del eléctrico, esta representación se puede hacer a partir de cualquiera de las dos, pero es habitual hacerla en el campo eléctrico.

**Directividad:** Esta definida como la relación entre la densidad de potencia que una antena radia en una dirección a una distancia dada, y la densidad de

potencia que radiaría a esa misma distancia dada, una antena isotrópica que radia a la misma potencia que la antena.

**Polarización:** Es la de la onda radiada por ella en esa dirección. Para ondas con variación temporal sinusoidal la figura por lo general es una elipse. Si la figura trazada es un segmento, la onda se denomina linealmente polarizada, mientras que si la figura es un círculo, circularmente polarizada.

**Ancho de banda:** Todas las antenas debido a su geometría operan de forma satisfactoria en una banda o margen de frecuencias. El ancho de banda de la antena lo impondrá el sistema del que forme parte, y afectará al parámetro más sensible o crítico.

En la tabla 6 se muestran las características de las antenas del Mercury 4, obtenidas del fabricante.

Tabla 6 Especificaciones de antena Thinking magic

Especificaciones de la antena	
Dimensiones	710mm X 306mm X 41mm
Peso	3 kg
Material	Aluminio y polímero
Conectores	TNC hembra
Resistencia DC	De 0Ω a 10 kΩ
Frecuencia de operación	902 Mhz a 928 Mhz
Temperatura de operación	De 0°C a 50°C
Angulo de dispersión	60 grados
Polarización	Circular

### 6.5 Lector

Las etiquetas pasivas necesitan algo que las energice, y algo que las escuche cuando transmiten. Por el contrario, las etiquetas activas no necesitan ser energizadas, pero si alguien que las escuche cuando transmiten. Este es, el trabajo del lector.

Los componentes físicos de un lector RFID, son una o varias antenas, un circuito integrado controlador, y una interfaz de red. En la figura 4, se puede ver el lector entre la etiqueta y el procesador. El lector se comunica con la etiqueta por medio de su antena, y con una computadora por medio de una interfaz de

red.

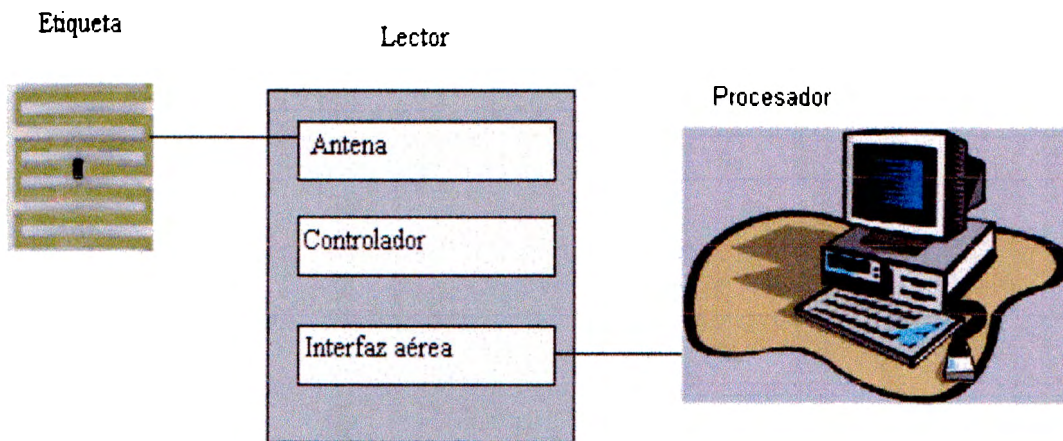


Figura 4 Componentes físicos de un lector

## 6.6 Aplicación

Esta sección habla de los 3 componentes de la aplicación desarrollada para lograr el cronometraje de las carreras.

### 6.6.1 Base de datos

Una base de datos es una colección de datos, usada para representar información de interés en un sistema de información.

DBMS (Sistema de administración de base de datos), es un software capaz de administrar colecciones de datos que son largos y compartidos, y asegurar su confiabilidad y privacidad.

En la tabla 7 se hace una comparación entre características de diferentes bases de datos:

Tabla 7 Bases de datos

Características	MySQL	FoxPro	Access	Oracle	DB2
Base de datos relacional	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Multiplataforma	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Multihilo	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓ ✓	✓
Multiusuario	✓ ✓ ✓	✓ ✓	✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Consumo de memoria	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓	✓ ✓
Manejo de gran volumen de información	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓	✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓ ✓
Disponibilidad de API's en varios lenguajes	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Seguridad	✓ ✓ ✓	✓	✓	✓ ✓ ✓	✓ ✓
Licencia de uso	Libre	Compra	Compra	Compra	Compra

Regular ✓ Bien ✓ ✓ Muy bien ✓ ✓ ✓

La base de datos que usaremos para el sistema propuesto será MySQL, debido a sus características, por ejemplo: MySQL es relacional lo que puede minimizar el tiempo de búsqueda de los datos, es decir, varias tablas están relacionadas entre si por medio de un campo, por ejemplo, en nuestro caso las

tablas carrera, corredor-Carrera y juez, están relacionadas con el campo id carrera. Además por ser multiplataforma, se puede emplear en cualquier computadora que tenga instalado un sistema operativo como Windows, MacOS, Linux, entre otros.

Otra de las características muy importante es que permite que varios usuarios se conecten a la base de datos al mismo tiempo, lo que implica que exista una búsqueda de información paralelamente, estas características se refieren a que MySQL sea multiusuario y multiplataforma respectivamente.

Por último MySQL es de uso libre, así el costo de la base de datos no influye, siendo más rentable el sistema propuesto, destacando que para nuestra aplicación, al ser un proyecto muy específico, no necesitamos de programas robustos.

La base de datos a utilizar para el sistema de cronometraje tiene cinco registros o tablas principales, y cada uno de estos registros cuenta con una serie de campos. En la figura 5 se muestra la base de datos. Los registros son:

**Carrera:** Los campos de este registro hacen referencia a la ubicación, la hora, y descripción de la carrera.

**Categoría:** Los campos de este registro hacen referencia a las ramas y categorías de cada carrera.

**Corredor:** Los campos de este registro se refieren a los datos personales de cada corredor. Por ejemplo nombre, fecha de nacimiento, dirección, teléfono, correo electrónico.

**Corredor-carrera:** Los campos de este registro se usan para relacionar a los corredores con la carrera a la que están inscritos.

**Distancia:** Los campos de este registro hacen referencia a las diferentes distancias que cada evento puede tener.

**Permisos:** Este registro se usa para darles privilegios a las personas que van a estar llenando la base de datos.

**Usuarios:** En este registro los campos hacen referencia a los usuarios que pueden hacerle modificaciones a la base de datos.

Figura 5 Base de datos desarrollada en php-MyAdmin

Servidor: localhost | Base de datos: scrayed | Tabla: carrera  
 Examinar | Estructura | SQL | Buscar | Insertar | Exportar | Importar  
 Operaciones | Vaciar | Eliminar

	Campo	Tipo	Cotejamiento	Atributos	Nulo	Predeterminado
<input type="checkbox"/>	<u>idCarrera</u>	tinyint(3)		UNSIGNED	No	
<input type="checkbox"/>	nombre	varchar(250)	utf8_general_ci		No	
<input type="checkbox"/>	fecha	date			No	
<input type="checkbox"/>	pais	varchar(30)	utf8_bin		No	
<input type="checkbox"/>	estado	varchar(40)	utf8_bin		No	
<input type="checkbox"/>	ciudad	varchar(40)	utf8_bin		No	
<input type="checkbox"/>	direccion	text	utf8_bin		No	
<input type="checkbox"/>	hora	time			No	
<input type="checkbox"/>	descripcion	text	utf8_bin		No	



### 6.6.2 Aplicación Java

Esta parte es necesaria para establecer la comunicación entre el software del lector y nuestra aplicación. De este modo cualquier evento detectado por las antenas del sistema y que además sea de interés para nuestra aplicación puede ser agregado a la base de datos del sistema de cronometraje. Para ejecutar esta parte se usa un compilador llamado NetBeans. En la figura 6 se muestra la interfaz propia del programa desarrollado en Java.

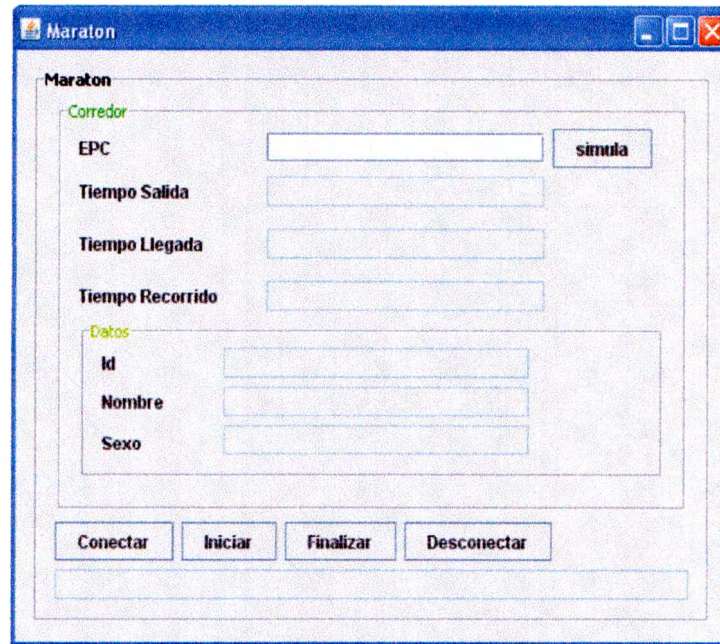


Figura 6 Aplicación en Java

### 6.6.3 Interfaz

Esta es la interfaz propia del sistema de cronometraje. Es aquí donde se ingresa toda la información de cada carrera, y también es donde se despliegan los resultados de cada carrera. Esta desarrollada en HTML y cuenta con las siguientes partes:

**Carrera:** Es aquí donde se dan de alta las carreras junto con todas sus características. Características tales como: Nombre de la carrera, categorías, ubicación, descripción y fecha de la carrera.

**Corredores:** Es aquí donde se ingresa la información de que corresponde a los corredores. Por ejemplo: Nombre, fecha de nacimiento, categoría en la que participan, y sus datos personales.

**Usuarios:** Esta sección esta pensada para darles privilegios a las personas que van a estar ingresando los datos previos a cada carrera.

**Resultados:** Una vez concluida la carrera los resultados son desplegados en esta sección.

En la figura 7 se muestra una imagen de la interfaz que se utiliza en el sistema de cronometraje.



Figura 7 Interfaz del sistema de cronometraje

## **7. Pruebas y resultados**

En esta sección se presentan las pruebas que se realizaron para verificar el funcionamiento del prototipo. Lo que se pretende obtener al efectuar esta serie de pruebas es caracterizar el prototipo:

- Selección y posición de etiquetas
- Inclinação de la antena en el arco
- Número de antenas
- Colocación de la etiqueta sobre el corredor
- Prueba de velocidad
- Carrera de prueba

### **7.1 Selección y posición de etiquetas**

**Objetivo:** Seleccionar la etiqueta que tenga el mayor número de lecturas y elegir su posición adecuada para que pueda ser captada por la antena.

#### **Materiales utilizados:**

- 1 antena ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 2 cables coaxiales
- 1 etiqueta EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-222)
- 1 etiqueta EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-622)
- 1 etiqueta EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-431)
- 1 etiqueta UHF Alien squiggle

Se contaban con 4 etiquetas de diferentes fabricantes de las cuales se debía seleccionar una de ellas. Las etiquetas EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-622) y EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-431) fueron eliminadas porque la fecha de entrega era superior al tiempo de desarrollo del proyecto, por lo que se optó realizar las pruebas con las etiquetas UHF Alien squiggle y EPC Class 1 Gen 2 Avery Dennison (AD-222)

**Metodología:** La prueba se realizó en el laboratorio de proyectos de ingeniería fijando la antena en posición horizontal sobre una mesa. Las lecturas se hicieron colocando la etiqueta Alien squiggle en forma horizontal frente a la antena como se muestra en la figura 8.

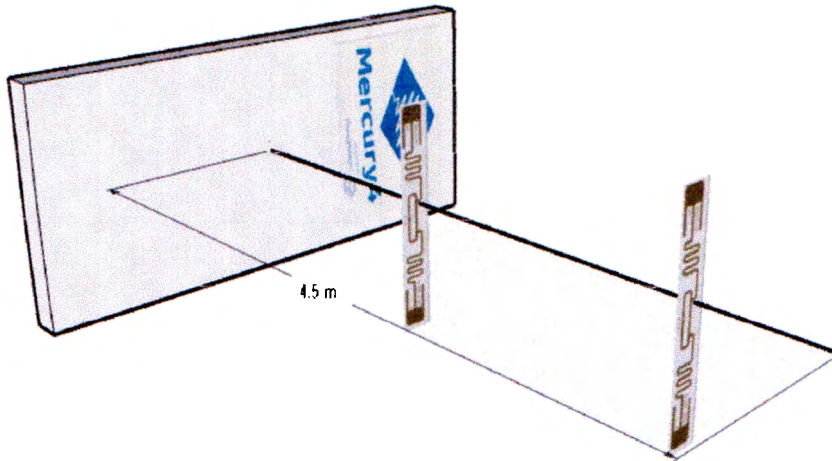


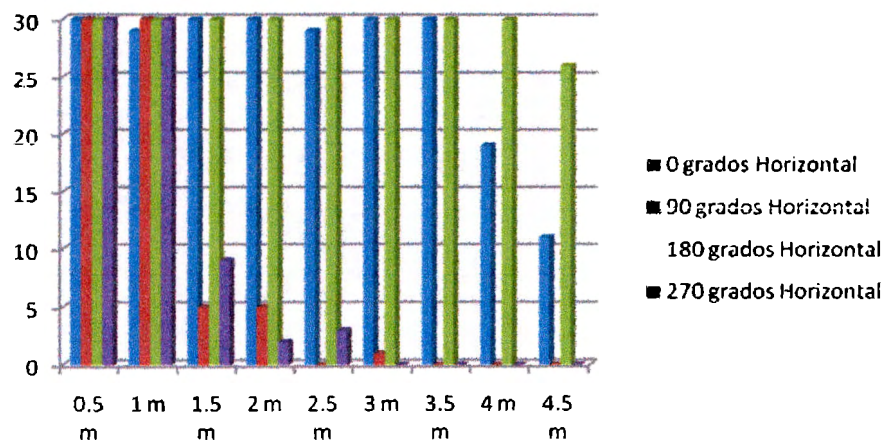
Figura 8 Prueba para selección de etiqueta

Se fue variando la distancia de la etiqueta de 0m a 4.5m cada 0.5m y rotándola en sentido de las manecillas del reloj de 0° a 360° en intervalos de 90°, 30 veces.

Sucesivamente esta prueba se repitió cada 30 lecturas variando la posición de la etiqueta con respecto a la antena en forma vertical, boca abajo y boca arriba, con los pasos que se mencionaron anteriormente.

Lo mismo se cumplió para la etiqueta Avery Dennison (AD-222).

**Resultados:** En la figura 9 se muestran los resultados que se obtuvieron al realizar la pruebas con la etiqueta Alien squiggle.



a)

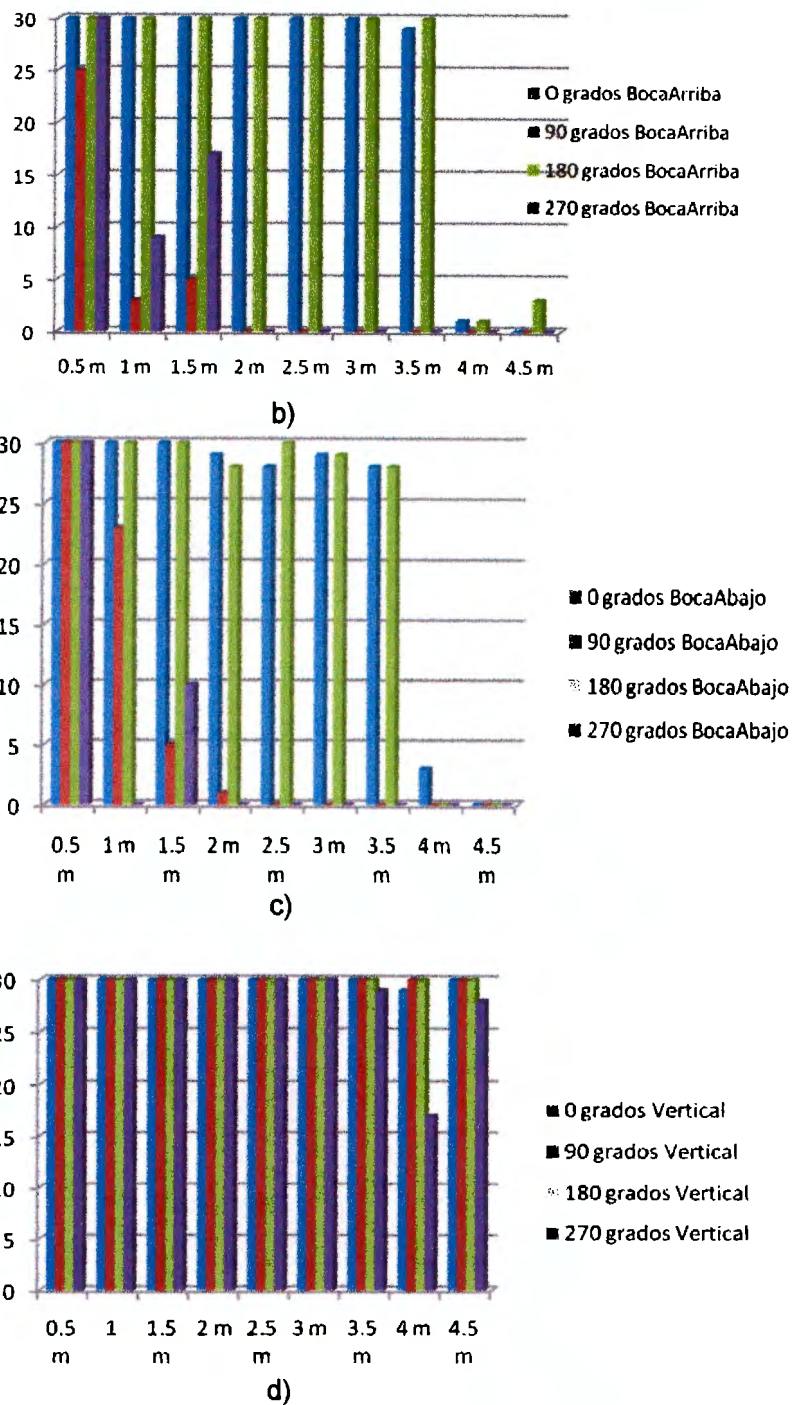


Figura 9 Etiqueta UHF Alien squiggle: a) posición horizontal, b) boca arriba, c) boca abajo y d) posición vertical

**Conclusiones:** En base a los resultados de las pruebas se concluye que la etiqueta que presenta el mayor número de lecturas es la UHF Alien squiggle, y la posición óptima es en forma perpendicular (vertical) con respecto a la antena como se muestra en la figura 10. Así mismo la distancia a la que la etiqueta Alien squiggle puede ser leída sin presentar problemas es hasta 3m.

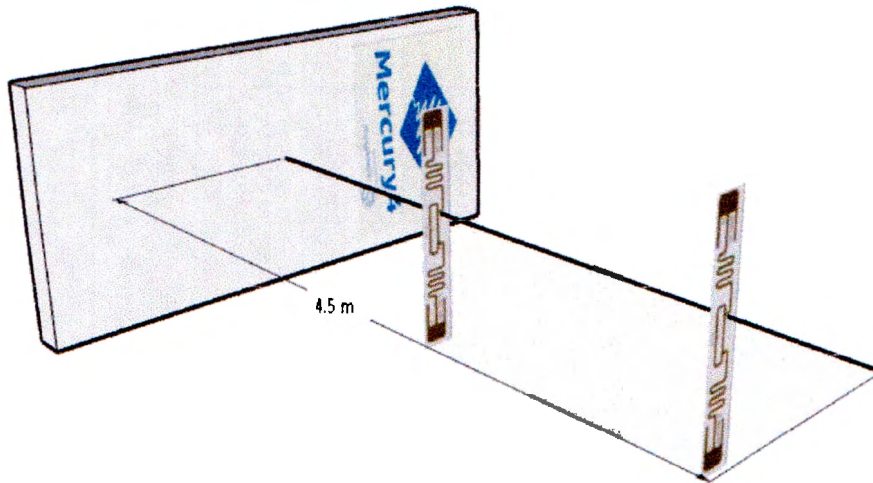


Figura 10 Posición óptima de la etiqueta Alien squiggle

## 7.2 Inclinación de la antena en el arco

**Objetivo:** Encontrar el ángulo de inclinación de las antenas que serán colocadas en la parte superior del portal, para obtener el mayor número de lecturas considerando las estaturas de los corredores.

### **Materiales utilizados:**

- 1 antena ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 2 cables coaxiales
- 1 etiqueta UHF Alien squiggle
- 1 base metálica para antena

**Metodología:** La prueba se realizó en el laboratorio de proyectos de ingeniería fijando la antena en posición horizontal sobre la base metálica a una altura de 2.1m del suelo.

Considerando que la estatura de los corredores es variable y tomando en cuenta que la distancia promedio de los mexicanos del centro del pecho a la cabeza es de 60cm, a las alturas de 1.4m, 1.5m, 1.6m, 1.7m, 1.8m, 1.9m y 2m se les restó los 60cm, por lo que 7 etiquetas UHF Alien squiggle se colocaron a 0.71m, 0.81m, 0.91m, 1.01m, 1.11m, 1.21m y 1.31 m. respectivamente del piso.

Variando el ángulo de la antena a 30°, 35°, 40°, 42°, 43°, 44°, 45° y 60° con respecto a la vertical, se realizaron 50 lecturas con cada uno de los ángulos primero con una potencia de 20dbm y 1.89m de la antena a las etiquetas; y después a una potencia de 25dbm y 1.85m de la antena a las etiquetas, como

se muestra en la figura 11.

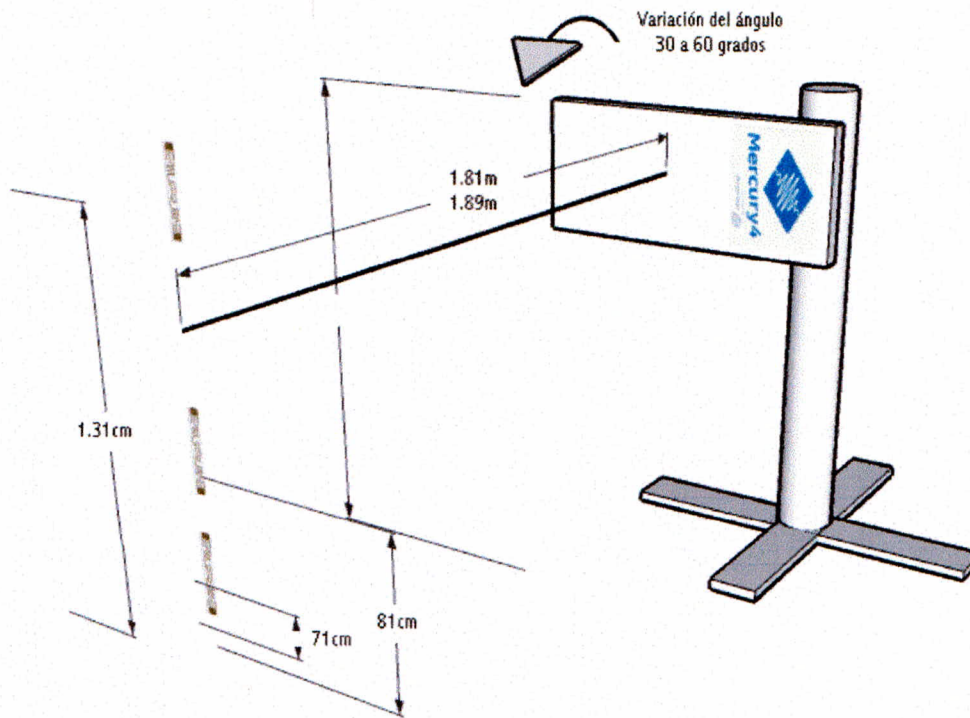


Figura 11 Prueba para obtener el ángulo óptimo de la antenna

**Resultados:** en la figura 12 se muestran los resultados de las 7 etiqueta Alien Squiggle.

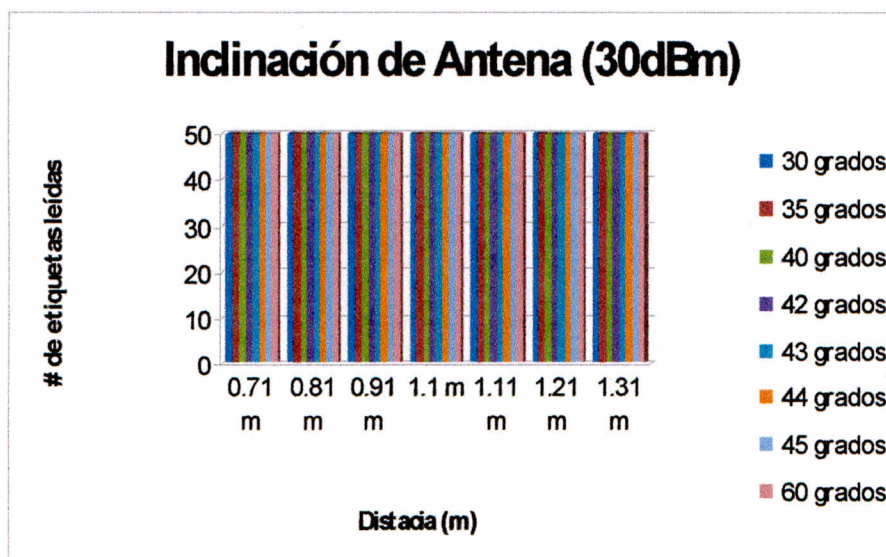


Figura 12 Resultados de la inclinación de la antenna

**Conclusiones:** Con los resultados obtenidos se decidió colocar la antena con una inclinación de  $43^\circ$  con respecto a la vertical, ya que es en ese ángulo donde se consigue el mayor número de lecturas como se muestra en la figura 12.

### 7.3 Número de antenas

**Objetivo:** Determinar el número de antenas que se requieren para cubrir un portal que mide 2.1m de alto y 4m de ancho.

**Materiales utilizados:**

- 1 antena ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 2 cables coaxiales
- 1 etiqueta UHF Alien squiggle
- 1 micro amperímetro con un dipolo doblado

**Metodología:**

Para determinar el número de antenas que se requieren para cubrir un portal que mide 2.1m de alto y 4m de ancho se obtuvo el patrón de radiación de la antena ThingMagic Mercury4, ya que es la que se está utilizando en el proyecto.

Esta prueba se llevo a cabo en el laboratorio de proyectos de ingeniería. La antena se colocó horizontalmente en una mesa a 80cm del suelo, y un micro amperímetro con dipolo doblado a 1.08m enfrente de la antena. La antena se fue girando sobre su eje horizontal de  $0^\circ$  a  $360^\circ$ , y cada  $10^\circ$  midiendo el voltaje, como se muestra en la figura 13.



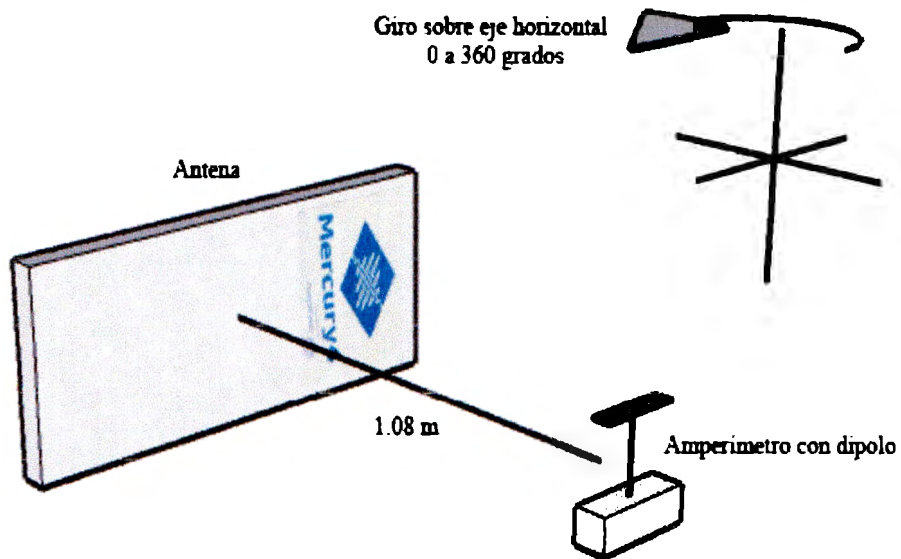


Figura 12 Prueba para obtener el patrón de radiación

**Resultados:** Se obtuvo que el ancho del haz a - 3db (es decir a 253 mV) es de aproximadamente 85° como se observa en la figura 14.

### Patrón polar con antena horizontal

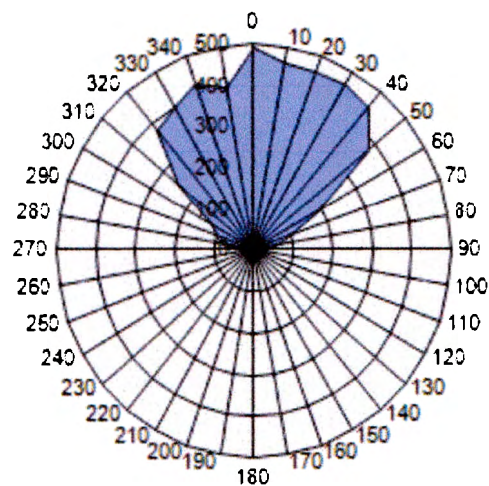


Figura 14 Patrón de radiación con antena horizontal

Una vez que se obtuvo el patrón de radiación de la antena, se comparó con el dato en la hoja de especificaciones de la antena ThingMagic Mercury4 que es de 60°, habiendo una diferencia de 25°, esto debido a las condiciones del lugar

y aparatos de medición que se usaron, por lo que se tomó en cuenta el valor del fabricante. Entonces se dibujo el portal y las antenas a escala trazando el ancho del haz de cada una de las antenas. Con esto se determinó que se necesitan 3 antenas para cubrir las dimensiones del portal antes mencionadas, como se observa en la figura 15.

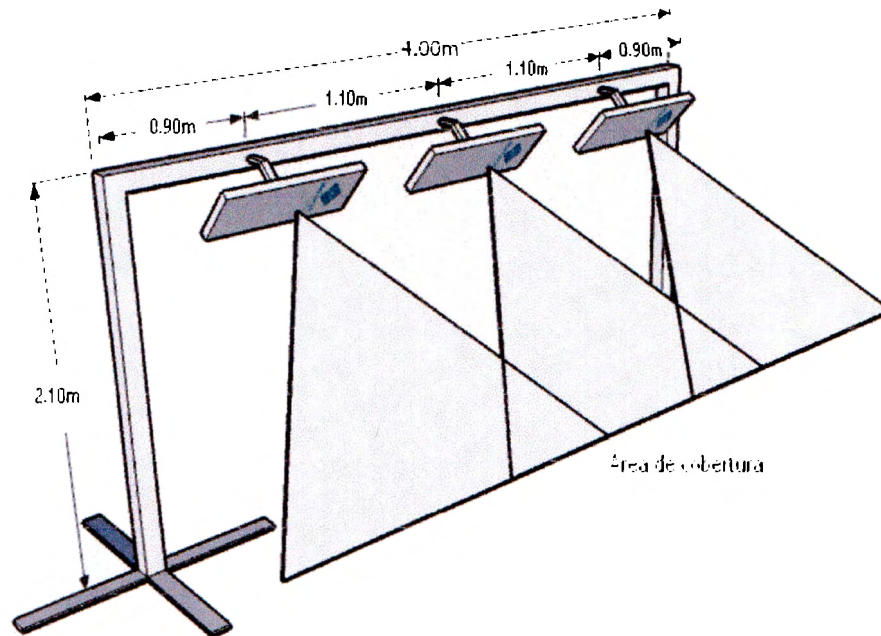


Figura 15 Área de cobertura de las antenas

**Conclusiones:** con esta prueba se determino que se necesitan colocar 3 antenas a lo largo del portal con un ángulo de posición de  $43^\circ$  para cubrir el área del portal de 4m de ancho por 2.1m de alto.

#### 7.4 Colocación de la etiqueta sobre el corredor

**Objetivo:** Determinar la colocación de la etiqueta sobre el corredor.

**Materiales utilizados:**

- 1 portal metálico de 2.1m de altura y 4.0m de ancho
- 3 antenas ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 6 cables coaxiales
- 2 etiquetas UHF Alien squiggle

Una vez que se determinaron las dimensiones del portal, el tipo de etiqueta y su ángulo de posición, se continuó con la colocación de la etiqueta sobre el corredor, para esto se realizaron 3 pruebas:

### Prueba 1. Colocación de la etiqueta.

**Metodología:** La prueba se llevo a cabo en un estacionamiento al aire libre. Se montó el portal de 4m de ancho y 2.1m de alto con las antenas en la parte superior inclinadas a 43°. A 2 corredores se les colocó una etiqueta UHF Alien Squiggle verticalmente en la espalda y otra en el pecho. Los corredores pasaron corriendo por debajo del portal 30 veces en dirección sur a norte, y 30 veces en dirección norte a sur como se muestra en la figura 16.

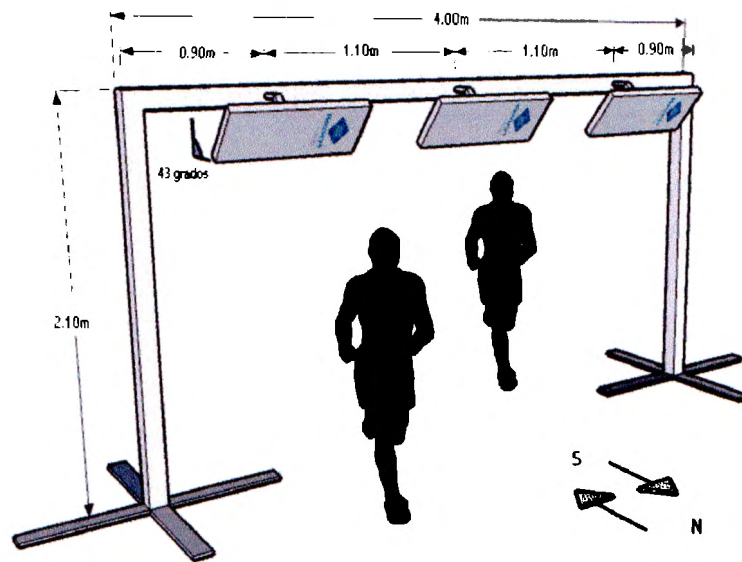


Figura 16 Portal colocado con las antenas viendo de sur a norte

**Resultados:** Como se muestra en la figura 17 el mayor número de lecturas se obtuvo cuando los corredores corrieron en dirección sur a norte y con la etiqueta Alien squiggle puesta en la espalda. También se observa que con una de las etiquetas no se logran las 30 lecturas, esto debido a que a uno de los corredores la playera le quedaba muy pegada, y uno de los inconvenientes de las etiquetas UHF es que presentan problemas con el agua y cuando se pega a la piel del cuerpo humano.

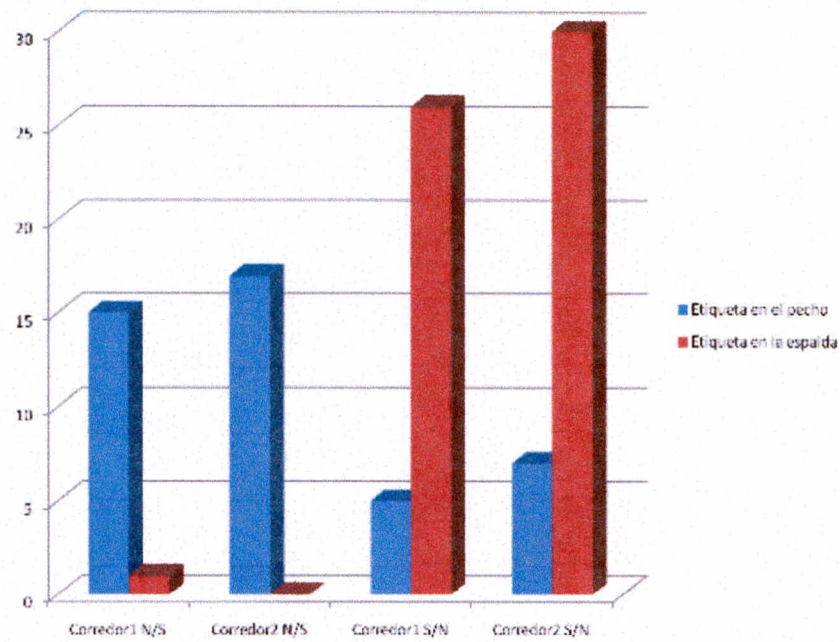


Figura 17 Resultados de la colocación de etiqueta sobre el corredor

## Prueba 2. Encapsulado.

Con el problema que surgió en la prueba 1 (colocación de la etiqueta sobre el corredor) se necesitó encontrar un material que sirva como encapsulado para proteger a la etiqueta.

**Metodología:** La prueba se realizó en el laboratorio de proyectos de ingeniería. Se montó una antena ThingMagic Mercury4 horizontalmente en una base metálica a 1m de altura. Se realizaron lecturas con la etiqueta Alien squiggle cubriéndola con cada uno de 7 materiales distintos a 1m, 2m y 3m de distancia respecto a la antena, como se muestra en la figura 18.

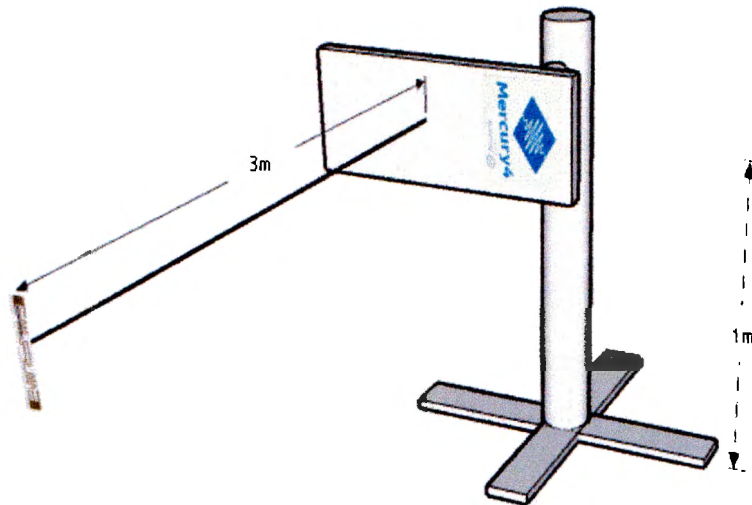


Figura 18 Prueba de lectura con distintos materiales

**Resultados:** Con la mayoría de los materiales se obtuvieron lecturas correctas como se muestra en la tabla 8. Se decidió escoger a la mica dura porque es resistente al agua y es difícil de doblar.

Tabla 8 Resultados de lectura con distintos materiales

Distancia	Cartón	Hoja de papel	Gafete de piel con plástico	Tela gruesa	Plástico blando	Mica dura	Flyer
1m	si	si	si	si	si	si	si
2m	si	si	si	si	si	si	si
3m	si	si	no	si	si	si	si

### Prueba 3. Etiqueta con encapsulado colocada sobre la espalda del corredor

Ya que se encontró el material que servirá de encapsulado para la etiqueta, se realizó una prueba para verificar si en realidad cumplirá su función.

**Metodología:** La prueba se realizó en un estacionamiento al aire libre. Se montó el portal de 4m de ancho y 2.1m de alto con las antenas en la parte superior inclinadas a 43°. A un corredor se le colocó una etiqueta con mica dura Alien squiggle verticalmente en la espalda, y pasó corriendo por debajo

del portal 100 veces en dirección sur a norte, 50 veces con la etiqueta enmicada seca y otras 50 veces con la etiqueta enmicada mojada, como se muestra en la figura 19.

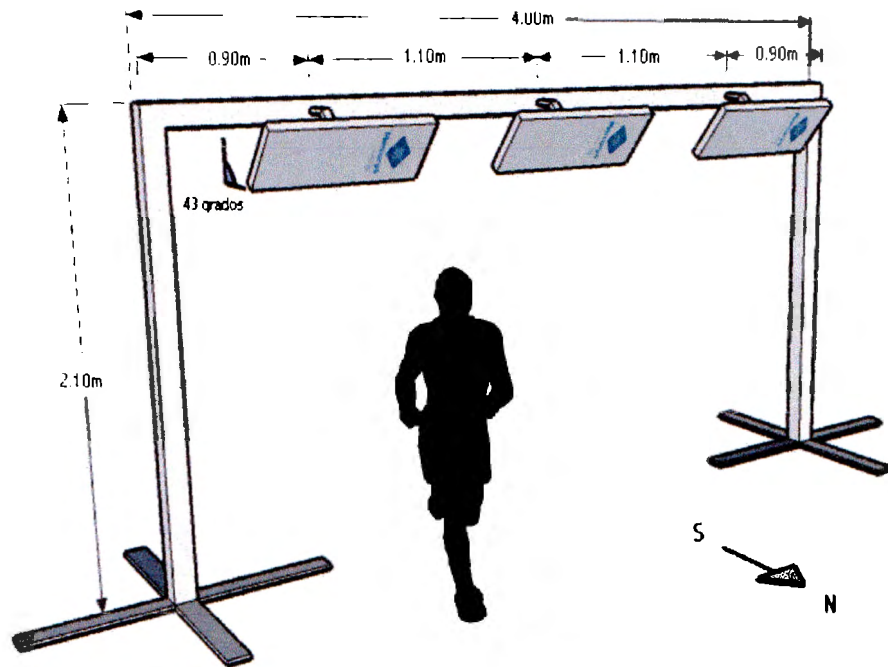


Figura 19 Prueba de lectura con la etiqueta enmicada

**Resultados:** El número de lecturas se incrementó al 100% con la etiqueta enmicada, es decir, de 100 pruebas realizadas se obtuvieron 100 lecturas a comparación de las lecturas sin la etiqueta encapsulada.

En la figura 20 se observar que las 100 lecturas de la etiqueta enmicada fueron correctas.

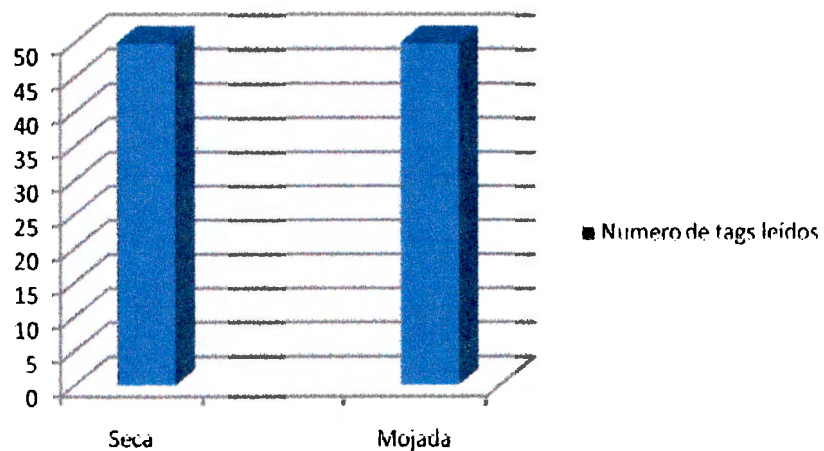


Figura 20 Resultados de la prueba de lectura con la etiqueta enmicada.

**Conclusiones:** Con estas 3 pruebas se logró obtener la mejor ubicación de la etiqueta en el corredor para que cuando pase por debajo del portal con las especificaciones que se obtuvieron en las pruebas 7.2 y 7.3, y en dirección sur a norte sea detectado sin problemas. Además de comprobar que la mica dura sirve como encapsulado, resolviendo así el problema de los inconvenientes que causan interferencia de lectura al usar las etiquetas UHF como son el agua y el contacto con la piel del cuerpo humano.

### 7.5 Prueba de velocidad

**Objetivo:** Averiguar si a la velocidad de 10 m/s (record mundial de atletismo en 100m), el sistema es capaz de detectar la etiqueta.

#### **Materiales utilizados:**

- 1 portal metálico de 2.1m de altura y 4.0m de ancho
- 3 antenas ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 6 cables coaxiales
- 6 etiquetas UHF Alien squiggle

**Metodología:** Se colocaron 6 etiquetas UHF Alien squiggle verticalmente a lo largo del parabrisas de una camioneta, tres de ellas a 1.51m y tres a 1.33m del suelo, separadas 50 cm cada una, que es la distancia correspondiente a la longitud que hay de la mitad del pecho de una persona, a la mitad del pecho de otra persona estando juntas hombro con hombro. La camioneta pasó frente al portal 30 veces a una velocidad de entre 35 y 40 km/hora como se muestra en la figura 21.

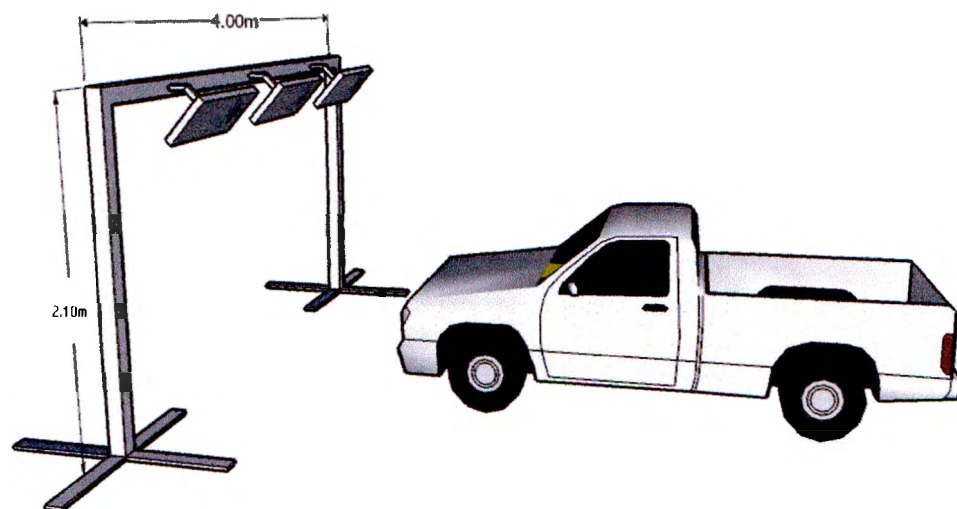


Figura 21 Prueba de velocidad con una camioneta

**Resultados:** En la figura 22 se observan las lecturas de las 6 etiquetas utilizadas para la prueba de velocidad.

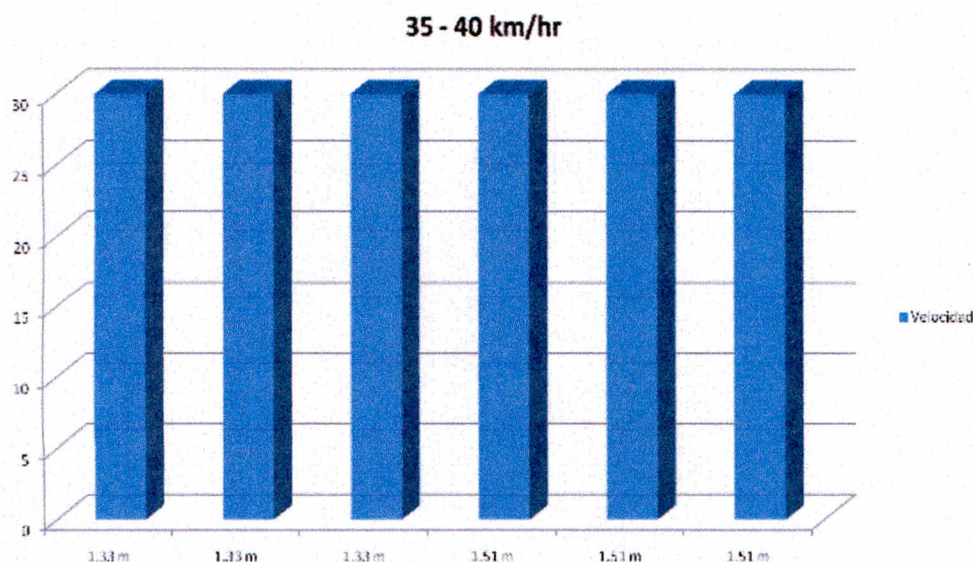


Figura 22 Resultados de la prueba de velocidad

**Conclusiones:** De las 30 pruebas realizadas hubo el 100% de lecturas de cada una de las etiquetas. Por lo tanto el prototipo es capaz de detectar a la etiqueta hasta una velocidad de 10 m/s.

### 7.6 Carrera de prueba

**Objetivo:** Probar el prototipo para el cronometraje ya integrado (hardware y software), y lograr que todos los corredores sean detectados y cronometrados correctamente.

#### **Materiales utilizados:**

- 1 portal metálico de 2.1m de altura y 4.0m de ancho
- 3 antenas ThingMagic Mercury4
- 1 lector ThingMagic Mercury4
- 6 cables coaxiales
- 26 etiquetas enmicadas UHF Alien squiggle
- Software (base de datos, interfaz de usuario y socket)

**Metodología:** La carrera se llevo a cabo en la pista de atletismo del ITESM campus CCM a las 7:30 am con 26 personas, a cada una se le colocó una



etiqueta enmicada Alien squiggle verticalmente en la espalda.

Se montó el portal y las antenas tomando en cuenta los parámetros obtenidos de las pruebas realizadas anteriormente. Una vez conectado y calibrado el prototipo, el grupo de personas se posicionó detrás del portal y enseguida se dio inicio a la carrera de 400m, como se muestra en la figura 23.



Figura 23 Carrera de prueba

**Resultados:** En la tabla 9 se muestran los tiempos de cada uno de los corredores que se obtuvieron en la carrera de prueba.

Tabla 9 Resultados de la carrera de prueba

Lugar	Numero	Nombre	Salida	Llegada	tiempoOficial	Lugar	Numero	Nombre	Salida	Llegada	tiempoOficial
1	22	corredor22	07:43:01	07:44:20	00:01:19	14	21	corredor21	07:43:02	07:44:40	00:01:38
2	8	corredor8	07:43:00	07:44:20	00:01:20	15	24	corredor24	07:43:01	07:44:41	00:01:40
3	7	corredor7	07:43:00	07:44:21	00:01:21	16	27	corredor27	07:43:04	07:44:48	00:01:44
4	23	corredor23	07:43:00	07:44:21	00:01:21	17	26	corredor26	07:43:04	07:44:52	00:01:48
5	30	corredor30	07:43:01	07:44:23	00:01:22	18	15	corredor15	07:43:02	07:44:54	00:01:52
6	14	corredor14	07:43:01	07:44:24	00:01:23	19	18	corredor18	07:43:05	07:44:57	00:01:52
7	16	corredor16	07:43:02	07:44:26	00:01:24	20	10	corredor10	07:43:03	07:45:01	00:01:58
8	32	corredor32	07:43:02	07:44:28	00:01:26	21	20	corredor20	07:43:04	07:45:03	00:01:59
9	13	corredor13	07:43:03	07:44:29	00:01:26	22	12	corredor12	07:43:04	07:45:07	00:02:03
10	17	corredor17	07:43:03	07:44:31	00:01:28	23	19	corredor19	07:43:03	07:45:06	00:02:03
11	28	corredor28	07:43:00	07:44:32	00:01:32	24	9	corredor9	07:43:04	07:45:08	00:02:04
12	25	corredor25	07:43:02	07:44:36	00:01:34	25	29	corredor29	07:43:03	07:45:10	00:02:07
13	11	corredor11	07:43:03	07:44:39	00:01:36	26	31	corredor31	07:43:03	07:45:10	00:02:07

**Conclusiones:** con esta prueba se demuestra que se logró cronometrar satisfactoriamente a los 26 corredores, además se confirma que el prototipo sólo se puede utilizar en carreras atléticas de 5km en adelante, ya que como se muestra en la tabla 8 el software del prototipo captó que el corredor número 7 llegó primero que el corredor número 23, aún teniendo ambos los mismos tiempos.

En realidad no se sabe quién llegó primero a la línea de meta, esto pudo haber sucedido porque como la carrera fue de 400m los corredores venían muy juntos, al contrario de lo que sucede en una carrera de fondo, en la cual los corredores llegan solos o a simple vista se alcanza a ver la separación entre ellos.

## **8. Conclusiones:**

- Para cubrir una meta de 4m de ancho se necesitan 3 antenas colocadas de forma horizontal, y a una altura de 2.10m. Se le pueden agregar mas antenas al sistema para hacer mas ancha la meta, pero respetando lo siguiente:
  - Que las antenas estén separadas 1.1m una de otra
  - Las dos antenas que queden a los extremos estén separadas .9m de mismo extremo.
- Las antenas deben de estar colocadas a 43° con respecto a los tubos verticales que sostienen el arco, esto para asegurar las lecturas de las etiquetas.
- El arco debe de ser colocado a .6m antes de la línea de meta, y con las antenas viendo en dirección a la línea de meta.
- Los corredores deben de traer la etiqueta en la espalda, en posición vertical.
- La etiqueta debe de estar enmicada en plástico, para evitar el contacto directo con la piel y con líquidos.
- La etiqueta seleccionada en esta investigación fue la Alien, mas sin embargo puede haber otra con mejores condiciones.
- Los corredores deben de pasar por debajo del arco, dándole las espalda a las antenas.
- El sistema responde satisfactoriamente a velocidades menores a los 10 m/s, no se probó a mayor velocidad ya que ésta es la marca mundial.
- La aplicación es capaz de cronometrar a todos los corredores inscritos en la carrera, de acuerdo a la carrera de prueba realizada.
- De esta forma el prototipo se muestra en la figura 24.

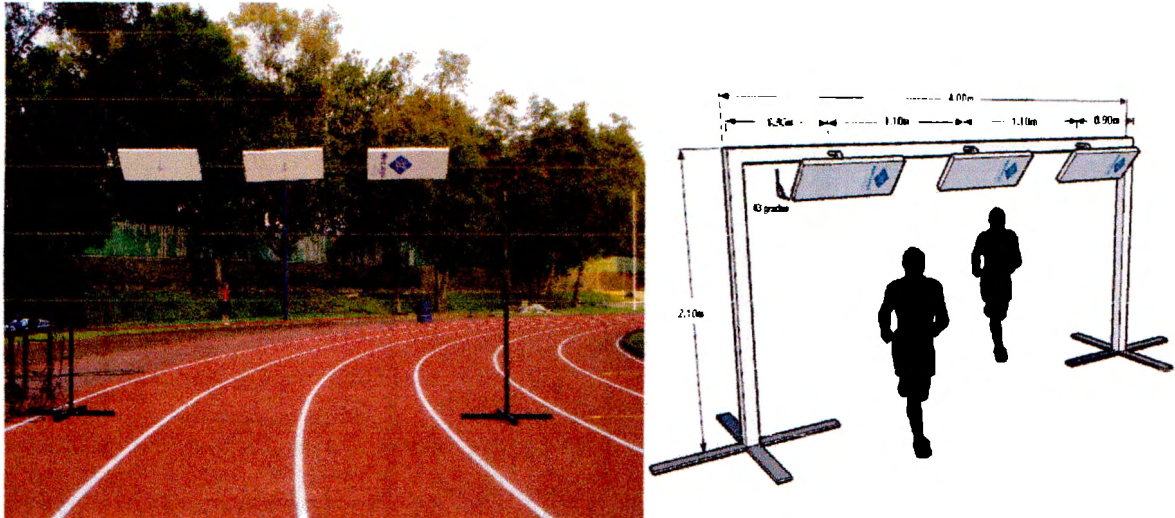


Figura 24 Arco prototipo

## 9. Trabajo a futuro

- Implementar que las preinscripciones puedan ser realizadas por Internet
- Selección de una etiqueta que presente mejores características, aunque esta no dio problemas en la carrera de prueba final.
- Diseñar una serie de pasos a seguir el aplicar el sistema en un evento en forma:
  - Inscripción
  - Almacenamiento de la información en la base de datos
  - Entrega de etiquetas personalizadas
  - Mostrar los resultados de la carrera
- Implementar un sistema alternativo que ayude a decidir cuando 2 corredores llegan a la meta muy juntos

## **10. Anexos**

### **10.1 Características y especificaciones de las etiquetas Alien**

La etiqueta con la que se realizaron las pruebas fue de la familia de Alien Squiggle, en específico la etiqueta ALL-9440 (Squiggle 2.2). De la industria de etiquetas EPC clase 1 generación 2, es de la que mejor precio-desempeño presenta. Presenta un buen desempeño para la mayoría de los empaquetados, incluyendo productos que contienen metal o agua. Las especificaciones se presentan en la tabla 10.

Tabla 10 Especificaciones de etiqueta ALL-9440

<b>Especificaciones de etiqueta ALL-9449</b>	
<b>Frecuencia de operación</b>	<b>860 a 960 MHz</b>
<b>Modo de operación</b>	<b>Pasivo</b>
<b>Memoria</b>	<b>240 Bits NVM</b>
<b>Tamaño de EPC</b>	<b>96 Bits</b>
<b>Bits de protocolo de control</b>	<b>16 Bits</b>
<b>Lock Bits</b>	<b>10 Bits</b>
<b>Kill Bit</b>	<b>1 Bit</b>
<b>Código de acceso</b>	<b>32 Bits</b>
<b>Código Kill</b>	<b>32 Bits</b>
<b>Reservados</b>	<b>32 Bits</b>
<b>Ciclos mínimos de programación</b>	<b>10, 000 ciclos de escritura y borrado</b>
<b>Temperatura de operación</b>	<b>-25 °C a 65 °C</b>
<b>Radio de curvatura recomendado</b>	<b>70+ mm</b>
<b>Espesor</b>	<b>0.42 mm</b>

## 10.2 Información técnica del equipo lector y antenas

El lector utilizado en el prototipo fue el Mercury 4, el cual es de la cuarta generación de lectores desarrollados por Thing Magic. Es capaz de leer cualquier etiqueta, incluyendo aquellas basadas en los estándares ISO y EPC. Las especificaciones del lector aparecen en la tabla 11.

Tabla 11 Especificaciones del lector Mercury 4

<b>Especificaciones del lector Mercury 4</b>	
<b>Procesadores</b>	<b>Intel IXP420 266 MHz Network Processor Texas Instruments TIC5502 300MHz Digital Signal Processor</b>
<b>Memoria</b>	<b>64 MBytes DRAM y 16 MBytes flash</b>
<b>Conectividad</b>	<b>Serial: RS-32 interfaz serial Ethernet: 10/100 Base T interfaz Ethernet</b>
<b>Dimensiones</b>	<b>25.5 x 25.4 x 3.8 cm</b>
<b>Temperatura</b>	<b>Operación: 0°C a 40°C Almacenamiento: -20°C a 70°C</b>
<b>Humedad</b>	<b>Humedad relativa de 0 a 90% no condensada</b>
<b>Peso</b>	<b>1.6 kg</b>
<b>Alimentación</b>	<b>24V DC, 2 A</b>
<b>Frecuencias de operación</b>	<b>902 a 928 MHz 865 a 870 MHz</b>
<b>Protocolos de interfaz aérea</b>	<b>EPC clase 0, EPC clase 1, ISO 1800-6B/Ucode 1.19, Rewritable Clase 0+, EPC gen 2</b>
<b>Configuración de antenas</b>	<b>4 antenas combinadas UHF (transmisión y trcepción) con polarización circular</b>
<b>Sistema Operativo</b>	<b>Linux (KerneK version 2.4.1 Mercury OS real-time tagreader</b>
<b>Protocolos de red</b>	<b>TCP/IP, UDP/IP, HTTP, HTTPS, SSH/SSL</b>
<b>Protocolo de conexión</b>	<b>ThingMagic's RQL</b>

Por otro lado, las antenas utilizadas fueron ThingMagic, las cuales te proporcionan 2 en la compra del kit Mercury 4. Las especificaciones de estas antenas se muestran en la tabla 12.

Tabla 12 Especificaciones de las antenas ThingMagic

Especificaciones de antenas ThingMagic	
Dimensiones	710 x 306 x 41 mm
Peso	3 Kg
Materiales	Aluminio y polímero
Polarización	Circular Dual RH/LH
Conectores	TNC hembra
Resistencia DC	0 a 10 K Ohms
Rango de frecuencias	902 a 928 MHz
Ancho de haz en 3 dB	60°
VSWR	1.25
Temperatura de operación	0° a 50°C
Ganancia lineal en dBd	6.75

### 10.3 Costo del prototipo aproximado en pesos Mexicanos

Para obtener el costo del prototipo se tomaran en cuenta: un lector, tres antenas, un portal, etiquetas enmicadas, y el trabajo de los ingenieros que lo estuvieron desarrollando. El monto total es de \$52, 110 pesos Mexicanos, esto se muestran en la tabla 13.

Tabla 13 Costo del prototipo de cronometraje

Costos del prototipo de cronometraje	
Kit Mercury 4 (Lector y 2 antenas)	\$ 17, 545
1 antena extra	\$ 3, 245
Rollo de etiquetas	\$ 4, 000
Enjicado de 1000 etiquetas	\$ 7, 000
Estructura del portal	\$ 4, 000
Trabajo de 3 ingenieros	\$ 16, 320
<b>Total</b>	<b>\$ 52, 110</b>

#### 10.4 Especificaciones del portal

Para las dimensiones del portal se decidió una longitud de 4m y una altura de 2.1m porque es un prototipo, por los recursos económicos que se obtuvieron y como se va a utilizar en México, la estatura promedio de los mexicanos es de 1.70m.

El portal es completamente desmontable y se conforma de las siguientes partes como se muestra en la figura 25:

- 2 bases metálicas en forma de cruz de 80 cm x 1 1/2" (a)
- 2 tubos cuadrados metálicos de 1.04m x 1 1/4" (b)
- 2 tubos cuadrados metálicos de 1.04m x 1" (c)
- 2 tubos cuadrados metálicos de 2.0m x 1 1/4" (d)
- 3 bases metálicas para montar a las antenas (e)



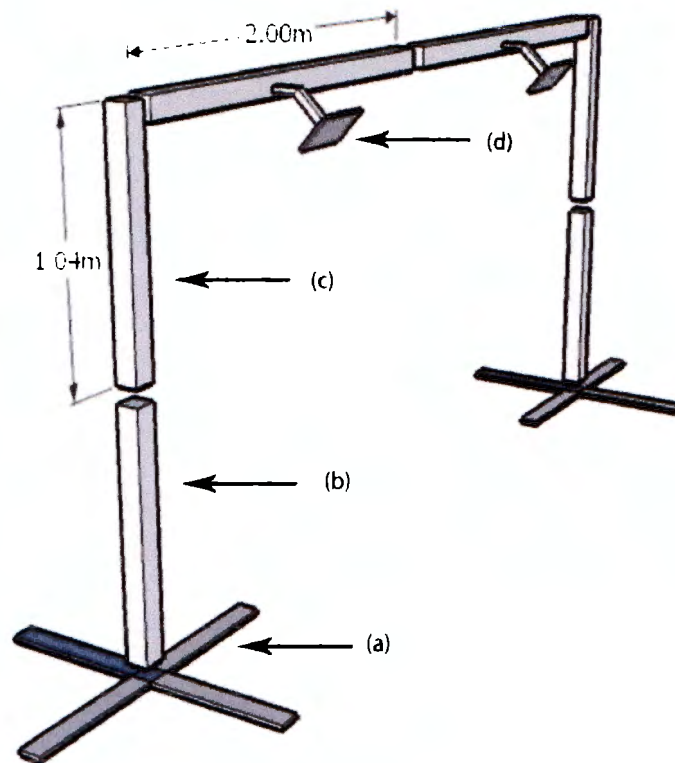


Figura 25 Partes que forman el portal

### 10.5 Etiquetas usadas actualmente en sistemas de cronometraje

En la actualidad empresas como ChampionChips cuentan con sistema de cronometraje para diferentes eventos deportivos como carreras de fondo, y triatlones. Los sistemas RFID para este tipo de aplicaciones están basados en etiquetas LF o HF. Estas etiquetas tienen la ventaja de ser muy pequeñas de tal forma que se pueden encapsular en vidrio para sellarlas de forma hermética y que puedan ser sumergidas en agua. En la tabla 14 se presentan 2 etiquetas de Texas Instruments encapsuladas en vidrio.

Tabla 14 Etiquetas de Texas Instruments selladas herméticamente

	Etiqueta 1	Etiqueta 2
Número de parte	RI-TRP-RR2B	RI-TRP-RF0B
Frecuencia de operación	134.2 kHz (LF)	134.2 kHz (LF)
Principio de transmisión	FSK, HDX	FSK, HDX
Bits programados de fábrica	64 bits	64 bits
Dimensiones	3.56x31.2 mm	10.5x37.5 mm

Sin embargo pruebas realizadas por Alien Technology demuestran el buen funcionamiento de la frecuencia UHF es sistemas de cronometraje para distintos deportes como son ciclismo, carreras de fondo y motociclismo. En este estudio se utilizaron lectores de la serie ALR-8800 y etiquetas generación 2 Squiggle, trabajando a una frecuencia de 866 MHz.

De acuerdo al estudio realizado por Alien Technology, el implementar esta aplicación en UHF trae como consecuencia un ahorro de un 20% en costos por evento, y un ahorro de 5 horas en mano de obra por carrera. Esto ya que te evitas el recolectar etiquetas al final de la carrera, y cobrar al corredor por cada etiqueta no entregada como se hace en sistemas LF.

### 10.6 Cronograma de actividades

Actividades (usar tabla de tiempos de "Project")

Las actividades se dividen en 4 categorías. Para cada categoría hay un cronograma y un responsable. El responsable tiene el trabajo de revisar las actividades y delegar actividades. Las categorías y sus respectivos responsables son:

- Trabajo escrito: Leopoldo Urquidi (La meta es terminarlo antes del segundo parcial, es decir para el 7 de Marzo, como se muestra en la figura 26).
  - Frecuencias de operación: 13 a 17 de febrero
  - Regulación: 17 a 21 de febrero
  - Etiquetas: 21 a 25 de febrero
  - Antena: 25 a 29 de febrero
  - Lector: 29 de febrero a 4 de marzo
  - Aplicación: 4 a 7 de marzo

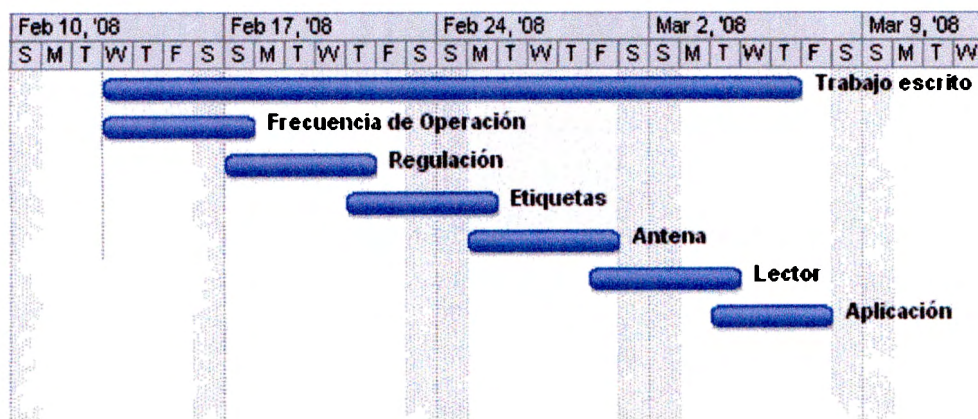


Figura 26 Actividad: Trabajo escrito

- Aplicación: Ricardo Morales (La meta es terminarlo antes del segundo parcial, es decir para el 7 de Marzo, como se muestra en la figura 27).
  - Base de datos: 14 a 21 de febrero

- Interfaz: 21 a 29 de febrero
- Aplicación Java: 29 de febrero a 7 de marzo

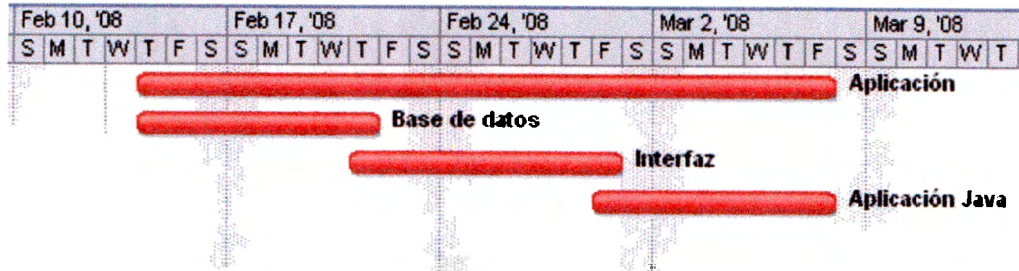


Figura 27 Actividad: Aplicación

- Facilidades: Juan R. Galván (La meta es terminar antes del 22 de febrero, como se muestra en la figura 28).
  - Soporte de antenas: 14 a 18 de febrero
  - Tarima: 18 a 22 de febrero

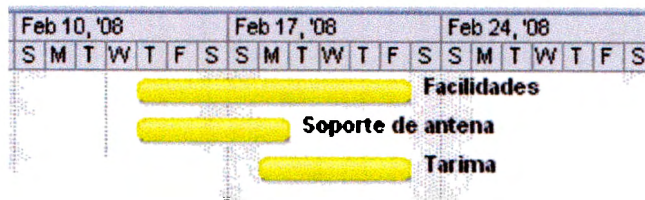


Figura 28 Actividad: Facilidades

- Pruebas: Juan R. Galván (La meta es terminar antes del 1 de abril, como se muestra en la figura 29)
  - Selección y posición de etiquetas: 13 a 22 de febrero
  - Posición de antena: 22 de febrero a 7 de marzo
  - Integración de aplicación con el equipo: 7 de marzo a 1 de abril

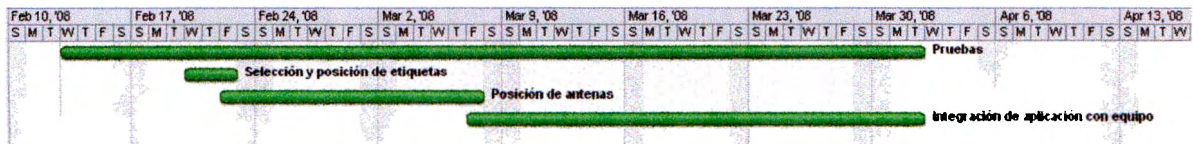


Figura 29 Actividad: Pruebas

El cronograma en conjunto se muestra en la figura 30.

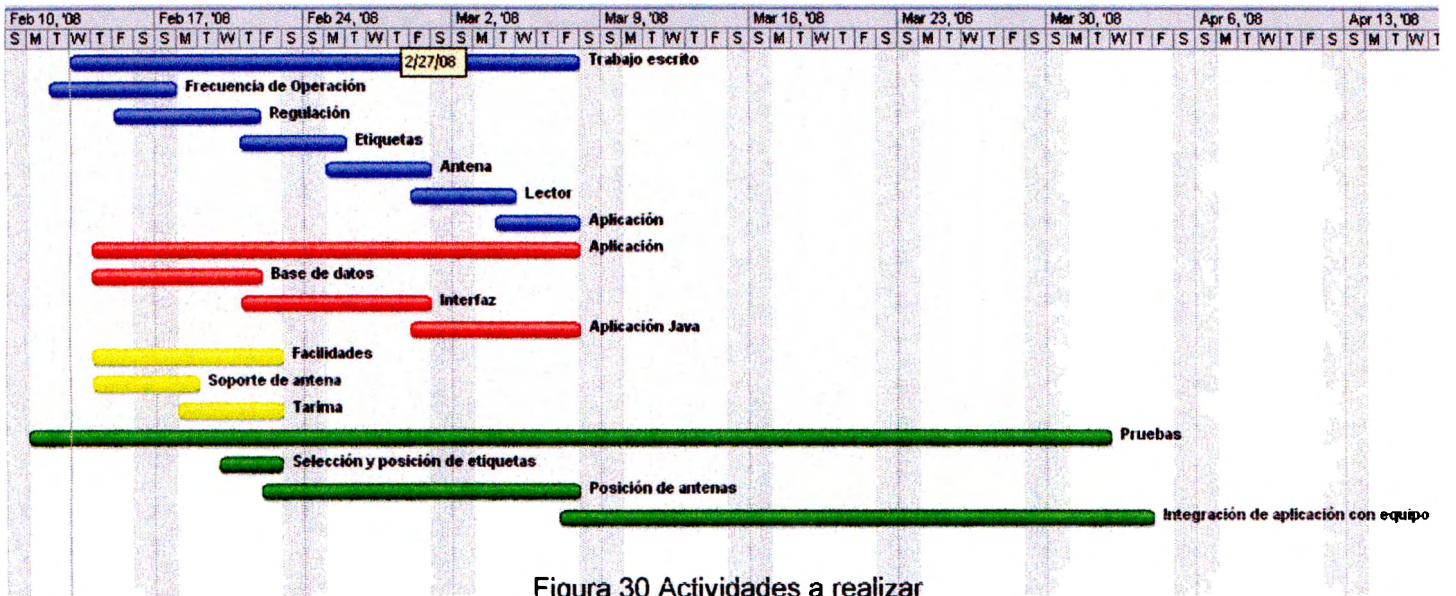



Figura 30 Actividades a realizar

## 11. Referencias

- Glover, Bill and Bhatt, Himanshu. RFID essentials. O'Reilly USA 2006
- Paolo Atzeni, Stefano Ceri, Stefano Paraboschi, Riccardo Torlone. Database System concepts, languages and architectures. The McGraw-Hill Companies.
- Rodríguez, Javier. Cosío Enrique. Gutiérrez, Isauro. Sistema de identificación y productos mediante RFID. Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey Ciudad de México. México, DF.
- Finkenzerler K. (2003). RFID Handbook Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards and Identification. Chichester, England: John Wiley & Sons. 2<sup>nd</sup> Edition.
- Sweeney II P. J. (2005). RFID for Dummies. Indianapolis, Indiana: John Wiley Publishing.
- Rabadán, Erika. Palacios Germán. Román, Manuel. González, Erick. Manejo de inventarios mediante tecnología RFID. Tesis de maestría, Tecnológico de Monterrey Ciudad de México. México, DF.
- A. Balanis. Constantine. Antenna Theory: Analysis and Design. Willey. New York 1982.
- Shepard, S. (2005). RFID Radio Frequency Identification. USA. McGraw-Hill Networking.
- Dominguez A. G.(1995) Cálculo de Antenas. Marcombo, España. Ed. Alfa
- ThingMagic Co. Mercury 4 User Guide
- ThingMagic Co. (2005). Developer Training 2005 Mercury 4 RQL & The Physics of RFID. Cambridge, MA.
- IPICO Sport Company. <http://www.ipicosports.com/>
- ChampionChip. <http://www.championchip.com>
- AMB-it. <http://www.amb-it.com/>
- Sanchez A. J., & Fernandez H. G., & Manjón B. F., & Díaz M. P. (2001). *Java 2*. Madrid, España.

## 12. Póster



### TECNOLÓGICO DE MONTERREY

Campus Ciudad de México  
División de Ingeniería y Arquitectura  
Departamento de Mecatrónica

## Prototipo para el cronometraje de competencias atléticas de fondo usando tecnología RFID

Leopoldo Marcos Urquidí Sánchez • Ricardo Morales González • Juan Ramón Galván Pérez  
342637 995008 373182

Asesor: M. en C. Rodrigo Regalado García  
Profesora: Dra. Kalya Eugenia Romo Medrano

### Problemática:

Cada año en el ITESM CCM se realiza un evento deportivo llamado Carrera Tec; una competencia atlética de 5 ó 10 km. en la que participan alrededor de 1000 corredores.

### Objetivo general:

Desarrollar e implementar un prototipo para el cronometraje de carreras atléticas de fondo usando identificación por radio frecuencia (RFID).


### Objetivos específicos:

- Diseñar e implementar una interfaz de usuario y una base de datos.
- Definir la posición adecuada de la etiqueta sobre el corredor.
- Definir las especificaciones del portal.
- Integrar el Hardware (antena, lector y etiqueta), con el software (interfaz de usuario y base de datos).

### Solución propuesta:



Para la solución de la problemática, se propone un prototipo usando tecnología RFID, que consta de 5 partes principalmente: etiquetas, antena, lector, computadora y base de datos.

En la figura 1 se muestra el diagrama a bloques del prototipo propuesto.



### Resultados:

Se han desarrollado la base de datos y la interfaz de usuario, partes que constituyen la administración del prototipo propuesto. A continuación se muestran en las figuras 2 y 3.

Figuras 2 y 3: Diagrama de la base de datos(izquierda) e Interfaz de usuario(derecha).

También se propuso un portal de 2.10 m de alto y 4 m de largo como se observa en la figura 4.

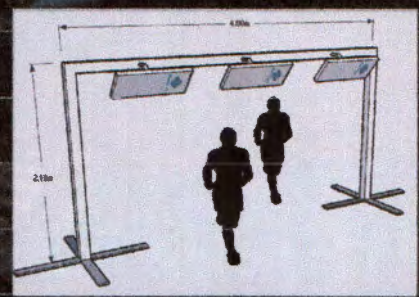


Figura 4: portal propuesto.

### Trabajo a futuro:

- Implementar que las preinscripciones puedan ser realizadas por Internet.
- Selección de una etiqueta que presente mejores características, aunque la que se escogió (Allen Squiggle) no dió problemas en la carrera de prueba final.
- Diseñar una serie de pasos a seguir al aplicar el prototipo en un evento en forma:
  - Inscripción
  - Almacenamiento de la información en la base de datos
  - Entrega de etiquetas personalizadas
  - Mostrar los resultados de la carrera
- Realizar un sistema alterno que ayude a decidir cuando 2 o más corredores llegan a la meta muy juntos.