



Capítulo I. Introducción

1.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

La Universidad de las Américas Puebla cuenta con un programa de robótica que tiene *kits* de LEGO MINDSTORMS. En la actualidad los torneos más conocidos utilizan robots SONY AIBO, pero su precio es muy elevado. Este proyecto tuvo la finalidad de crear robots jugadores de fútbol sin tener que invertir demasiados recursos.

Es muy recurrente la utilización de *kits* de LEGO MINDSTORMS en investigaciones pequeñas, ya que permite acoplar el diseño a las restricciones que se tengan. Cada kit de construcción de robots LEGO MINDSTORMS permite crear diseños a base de unir ladrillos, y con la ayuda de motores y engranes darles un movimiento específico. Su computadora central, llamada RCX, tiene la capacidad de almacenar instrucciones y darle al robot un comportamiento en un ambiente definido, el cual es captado por medio de sensores de tacto y luz.

Esta investigación tuvo como objetivo el construir un equipo de 3 robots capaces de jugar fútbol en su regla más básica de anotar goles. Cada integrante del equipo tiene un comportamiento autónomo dentro de la cancha, que fue definido con base a los mejores resultados obtenidos de combinar el diseño del robot y su programación.

Algunas limitantes del material disponible hicieron que estos robots requirieran cualidades especiales, tanto en su programación como en su diseño y construcción. Las principales restricciones son: contar con una sola LEGO Cam y no con 3 como se necesitarían en un caso ideal; y la cantidad de piezas especiales con las que cuenta cada *kit* de LEGO



MINDSTORMS, como son los motores, sensores de luz y tacto, llantas y diferencial, entre otras.

Al construir robots ciegos, no se puede hacer uso del reconocimiento de imágenes para determinar dónde se encuentra el balón, por lo cual se buscó uno especial. Dicho balón es amarillo para utilizar el sensor de luz para localizarlo. Se necesitó definir el mejor algoritmo de exploración para buscar el balón y no desperdiciar tiempo valioso en una misma zona de la cancha.

La LEGO Cam debe ser colocada de manera que permita la visualización de la cancha y la clara diferenciación de los robots en todo momento. Por medio de comandos simples transmitidos a los robots desde una computadora, estos pueden ser controlados por un entrenador humano en ciertos momentos de las pruebas, en especial cuando los robots encuentren el balón y necesiten ser orientados hacia la portería para realizar un tiro e intentar anotar. El control remoto de los robots está basado en las señales enviadas desde el transmisor de infrarrojos de LEGO, o IR Tower, conectado a una computadora.

Actualmente existe una investigación similar a esta, pero fue delimitada a una comunicación sin direccionamiento, es decir, se envían mensajes simultáneos y los robots no son diferenciados, por lo que todos deben obedecer sin distinción. Para solucionar este problema se creó un protocolo de comunicaciones para que sólo responda a la instrucción el robot adecuado, siendo esta la parte central de toda la investigación.

Para todas las pruebas necesarias se construyó una cancha imitando la forma de la usada en fútbol rápido, esto significa que cada lado es una pared para no permitir la salida del robot ni del balón, y las porterías son pequeños huecos hechos a una medida relativa del balón para permitir su entrada sin problemas. También se necesitó un poste que permitió colocar



la LEGO Cam y la IR Tower sobre la cancha para poder tener contacto visual y una buena comunicación con los 3 robots durante todas las pruebas.

Se desarrolló un sistema con interfaz gráfica de usuario que es capaz de enviar los comandos a los 3 robots, además de presentar una zona dedicada a la presentación de la imagen captada por la LEGO Cam. Se insertaron diferentes modalidades de ingreso de los comandos, para que el usuario pueda elegir el nivel de administración que desee.

El balón debe ser colocado por un asistente en una posición inicial central en caso de que salga de la cancha accidentalmente o cuando se logre una anotación. Los robots serán inicializados en posiciones aleatorias dentro de la cancha cada vez que esto ocurra.

Una limitante muy importante es el alcance de la IR Tower y de la LEGO Cam, por lo cual las medidas y características de la cancha fueron decididas con base en las pruebas realizadas. Es importante mencionar que no se cuenta con un equipo rival, por lo cual sólo se implementó un comportamiento ofensivo.

1.2. CONTEXTO

En 1992 surge la idea de construir robots jugadores de futbol soccer, en un artículo del Profesor Alan Mackworth de la University of British Columbia en Canadá, titulado “On Seeing Robots”. Actualmente existen dos torneos principales a nivel internacional donde se enfrentan robots con capacidades de jugar futbol: la RoboCup [WEB01] y la Federation of International Robot-Soccer Associations Cup (FIRA) [WEB02].

1.2.1. ROBOCUP

La RoboCup es una iniciativa internacional que tiene como objetivo fomentar la investigación en diferentes áreas de la robótica aplicadas a la construcción de robots para



jugar fútbol. Se tiene el ideal de que para el año 2050, un equipo de robots humanoides completamente autónomos sea el equipo ganador, cumpliendo con el reglamento de FIFA, en un partido contra el más reciente campeón de la Copa del Mundo.

Se han creado varias ligas que permiten poner a competir equipos de todo el mundo en diferentes categorías que definen las características de los robots participantes:

- **Liga de Simulación**

- Se basa en un *software* que controla el comportamiento de los jugadores, los cuales se desenvuelven independientemente, como agentes, y juegan fútbol en un campo virtual diseñado en una computadora. La duración de los encuentros está dividido en dos medios tiempos que duran 5 minutos cada uno.

- **Liga de Robots Pequeños**

- Robots pequeños de no más de 18 cm. de diámetro, juegan fútbol con una pelota naranja de golf en equipos de cinco robots. El campo de juego debería ser mayor a una mesa de ping-pong (con una longitud de 2.74 m. y 1.525 m. de ancho). Los partidos tienen dos medios tiempos de 10 minutos de duración cada uno.

- **Liga de Robots Medianos**

- Robots medianos de no más de 50 cm. de diámetro juegan en equipos de 4 robots, con una pelota de fútbol naranja, en una cancha de 12 x 8 metros. Los partidos tienen dos medios tiempos de 10 minutos de duración cada uno.



- **Liga de Robots de Cuatro Patas**

- Equipos de 4 robots con cuatro patas juegan fútbol en un campo de 3 x 5 metros. Los partidos tienen dos medios tiempos de 10 minutos de duración cada uno.

- **Liga de Humanoides**

- Robots humanoides bípedos y autónomos juegan en categorías de tiros penales, uno contra uno y dos contra dos.

Un grupo de investigadores japoneses organizaron un Taller de Grandes Desafíos en Inteligencia Artificial en octubre de 1992. Este taller condujo a discusiones serias sobre el uso de juegos de fútbol soccer para promover la ciencia y la tecnología. Las reglas fueron elegidas mientras se desarrollaban los prototipos de robots jugadores de fútbol y sistemas simuladores.

En junio de 1993, un grupo de desarrolladores, incluyendo a Minoru Asada, Yasuo Kuniyoshi, y Hiroaki Gitano, decidieron hacer una competencia de robótica, que llevaría el nombre de Liga Japonesa de Robots (Robot J-League). En el transcurso del mes recibieron reacciones de investigadores de fuera de Japón, donde pedían la iniciativa de extender el proyecto a un nivel internacional. El proyecto cambió de nombre a Robot World Cup Initiative, y fue el nacimiento de la RoboCup.

En septiembre de 1993 fue hecho el primer anuncio de la iniciativa internacional, y las regulaciones específicas de la competencia fueron dictaminadas. Durante la Conferencia Internacional sobre Inteligencia Artificial en Montreal, Canadá, en agosto de 1995, se hizo el esperado anuncio de organizar la primera Robot World Cup Soccer Games and Conferences en Nagoya, Japón. También se tomó la decisión de realizar la Pre-RoboCup-



96, con el fin de identificar los principales problemas que surgirían a mayor escala en la organización de la RoboCup.

La Pre-RoboCup-96 se llevó a cabo durante la Conferencia Internacional de Robótica y Sistemas en Osaka, del 4 al 8 de noviembre de 1996, con 8 equipos participantes en una liga de simulación y demostración de robots de mediano tamaño.

La primera RoboCup oficial en 1997 en Nagoya, Japón, tuvo un éxito rotundo. Más de 40 equipos participaron en todas las categorías, y alrededor de 5000 espectadores se dieron cita en el recinto para ver las competencias.

Esta copa tuvo sedes en ciudades como París, Estocolmo, Melbourne, Seattle, Fukuoka, Busan y Padua, en eventos anuales. La última fue realizada en Lisboa, Portugal, en su edición del 2004.

1.2.2. FIRA CUP

La iniciativa del Profesor Jong-Hwan Kim data del mes de septiembre de 1995, cuando formalmente se creó el Comité Internacional Organizador (IOC por sus siglas en inglés) del MiroSot. Una reunión previa de MiroSot se llevó a cabo en un campamento en el verano de 1996, a la cual asistieron 30 equipos de 13 países.

Con el paso de los torneos se han ido necesitando clasificaciones de los robots en cada vez más categorías:

- **MiroSot** – Torneo de Soccer de Micro-Robots.
 - El tamaño de cada robot está limitado a 7.5 x 7.5 x 7.5 cm. La altura de la antena no es considerada en la altura del robot. Un partido será jugado por dos equipos, cada uno de tres robots, uno de los cuales puede ser el portero.



Se permite una computadora por equipo, principalmente dedicada al procesamiento de la visión y otras identificaciones de la localización.

- **S-MiroSot** – Torneo de Soccer de un Solo Micro-Robot.
- **HuroSot** – Torneo de Soccer de Robots Humanoides.
 - Un robot humanoide debe tener dos piernas. El tamaño del robot estará limitado a 40 cm. de altura y 15 cm. de diámetro. Las piernas deben tener un diámetro máximo de 15 cm. El partido será jugado por dos equipos, cada uno de tres robots, uno de los cuales puede ser el portero.
- **S-HuroSot** – Torneo de Soccer de un Solo Robots Humanoide.
- **NaroSot** – Torneo de Soccer de Nano Robots.
 - El tamaño del robot está limitado a menos de 3.75 x 3.75 x 3.75 cm. Un partido será jugado por dos equipos, cada uno de tres robots, uno de los cuales puede ser el portero. Se permite una computadora por equipo, principalmente dedicada al procesamiento de la visión y otras identificaciones de la localización.
- **S-NaroSot** – Torneo de Soccer de un Solo Nano Robot.
- **KheperaSot** – Torneo de Soccer de un Robot Khepera (Khepera es un robot móvil miniatura con funcionalidad similar a robots más grandes usados en investigación y educación, con 5.5 cm. de diámetro, 3 cm. de altura y aproximadamente 70 grs. de peso).
 - Un partido será jugado por dos equipos, cada uno de tres robots Khepera, uno de los cuales puede ser el portero. Se permite una computadora por



equipo, principalmente dedicada al procesamiento de la visión y otras identificaciones de la localización.

- **S-KheperaSot** – Torneo de Soccer de un Solo Robot Khepera
- **RoboSot** – Torneo de Soccer de Robots.
 - Un RoboSot robot es un robot sin piernas que se mueve en un campo. Un partido será jugado por dos equipos, cada uno de tres robots, uno de los cuales puede ser el portero.
- **S-RoboSot** – Torneo de Soccer de un Solo Robot.
- **SimuroSot** – Torneo Simulado de Soccer de Robots.
 - El partido es jugado en una computadora entre dos equipos. Sin un robot físico, el partido se decide por medio de complejas estrategias desarrolladas usando técnicas avanzadas de Inteligencia Artificial.

MiroSot'96

Fue realizada en Corea en noviembre de 1996. 23 equipos de 10 países fueron partícipes del evento. El equipo Newton de los Laboratorios de Investigación Newton de Seattle, EE.UU., fueron los ganadores del primer premio.

MiroSot '97

También se llevó a cabo en Corea en junio de 1997, con 22 equipos participantes de 9 países. El equipo Newton consiguió el segundo campeonato mundial consecutivo, seguidos del equipo local OverDrive.



1998 FIRA Cup France

La Federation of Internacional Robot-Soccer Association (FIRA) realizó un nuevo torneo en La cite des Sciences et de L'Industrie, Paris, entre junio 29 y julio 3 de 1998. Se añadieron las competencias NaroSot y S-KheperaSot.

En este torneo se vieron los robots más pequeños jugando futbol, pertenecientes a los equipos SOTY y BEST de Corea. Clasificados dentro de la categoría NaroSot, estos robots medían 4 x 4 x 5.5 cm. Equipos de Dinamarca y EE.UU. compitieron en la categoría S-KheperaSot. En la categoría principal de MiroSot, esta vez se enfrentaron 16 equipos, de los cuales el equipo The Keys de Corea se convirtió en el campeón.

En el FIRA'98 se dieron avances prometedores en tecnología de visión. Los ganadores del evento, The Keys, demostraron una clara superioridad antes los demás participantes, al lograr desarrollar una tarjeta de visión que funcionaba a más de 60 cuadros por segundo, con una capacidad de reconocer 255 colores. Su robot era muy rápido, moviéndose a una velocidad de 2 metros por segundo. Esto representa un gran progreso en dos años, ya que en anteriores competencias sólo se tenían tarjetas de visión que trabajaban a 10 cuadros por segundo y robots con velocidades que sólo alcanzaban 50 cm. por segundo.

1999 FIRA Cup Brazil

Se llevó a cabo del 4 al 8 de agosto de 1998 en el Colegio Notre Dame. 15 equipos representando a 6 países tuvieron que pasar selecciones regionales para participar en las categorías NaroSot y MiroSot. Este mundial tuvo una asistencia estimada de 3000 personas y contó con el patrocinio de reconocidas marcas como Sun Microsystems y 3M.



El equipo RobotIS de Corea se coronó campeón de la categoría MiroSot, y el equipo RobotIT, también de Corea, hizo lo propio en la categoría NaroSot.

FIRA Benchmark Competition '99

Esta competencia tenía varios propósitos:

- Poner un estándar científico más riguroso para la investigación sobre fútbol de robots.
- Alentar a los equipos a trabajar en los mismos problemas y permitir comparar los resultados obtenidos.
- Recolectar y publicar datos sobre el control del robot y del balón.
- Permitir el análisis científico del funcionamiento de los equipos alrededor del mundo.
- Permitir a cualquier equipo comparar su funcionamiento contra los estándares.
- Proporcionar una base a partir de la cual puedan definirse nuevas pruebas.

Las pruebas utilizadas son las siguientes:

Prueba 1: Golpear el balón. Controlar un robot para moverse de un punto inicial dado a golpear un balón estacionario. Esta prueba se ejecuta tres veces, cada ocasión con una posición inicial diferente. El robot tiene un minuto para completar la tarea.

Prueba 2: Anotar. Controlar un robot para moverse de una posición inicial dada a un balón estacionario y anotar un gol. Esta prueba se ejecuta tres veces, cada ocasión con una posición inicial diferente. El robot tiene un minuto para completar la tarea.

Prueba 3: Pases entre jugadores y tirar. Controlar dos robots iniciando desde posiciones dadas. El robot 1 debe golpear el balón estacionario una vez, y el robot 2 debe golpear el



balón en movimiento una vez para hacerlo pasar por la línea de anotación. Esta prueba se ejecuta dos veces, cada vez con posiciones iniciales diferentes. Los robots tienen tiempo ilimitado para completar la tarea.

Cuatro equipos participaron en esta competencia, arrojando resultados que daban como ganador al equipo NEW NEU de China.

2000 FIRA Cup Australia

Se realizaron al mismo tiempo que los Juegos Olímpicos en agosto del 2000. Cuatro campeonatos regionales de la FIRA fueron organizados para seleccionar los equipos del evento FIRA 2000

2001 FIRA Cup China

Se llevó a cabo en el Museo de Ciencia y Tecnología de Beijing, China del 1 al 5 de agosto del 2001, junto con el Congreso Mundial de Robots de la FIRA. 65 equipos participaron en 8 categorías diferentes.

2002 FIRA Cup Korea

Se organizó en las mismas ciudades de la Copa del Mundo de la FIFA del 23 al 29 de mayo del 2002. También tuvo lugar el Congreso Mundial de Robots y la Exhibición de Robots Inteligentes de la FIRA.

Atrajo participantes locales e internacionales, teniendo un total de 207 equipos de 25 países, con más de 600 profesores, científicos, ingenieros y universitarios, haciendo de este el evento más grande en su corta historia.



2003 FIRA Cup Austria

Se realizó en Vienna, Austria, del 28 de septiembre al 3 de octubre del 2003. Hubieron participantes en 6 categorías diferentes: HuroSot, KheperaSot, MiroSot (Ligas de Pequeños, Medianos y Grandes), NaroSot, RoboSot y SimuroSot (Liga de Medianos y Grandes). 107 equipos de 22 países participaron en este torneo.

2004 FIRA Cup Korea

Esta copa se hizo en Busan, Corea, del 27 al 31 de octubre del 2004. En este torneo hubo 96 equipos de 21 países diferentes, con una clasificación en las mismas 6 categorías que el torneo anterior.

Paralelamente a la copa del mundo, se realizó el Congreso Mundial de la FIRA. En este congreso se mostraron y discutieron detalles en materia de robots móviles, cooperativos, inteligentes. Particularmente se hizo énfasis en las aplicaciones y desarrollo en las áreas de robots personales, para entretenimiento, educación y servicio.

1.3. OBJETIVO GENERAL

El objetivo de esta tesis es diseñar y codificar un protocolo de comunicación infrarroja para lograr un direccionamiento de mensajes; el protocolo será probado en una computadora que envíe mensajes por medio de un transmisor infrarrojo a 3 robots que combinen comportamientos autónomos y dependientes de un entrenador para jugar fútbol.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

La presente tesis cuenta con los siguientes objetivos:



- Codificación de una interfaz gráfica capaz de controlar cada uno de los módulos.
- Análisis del envío de mensajes a través de la IR Tower.
- Codificación de un modelo que contenga una conexión con la IR Tower.
- Diseño y pruebas del protocolo de comunicación infrarroja entre los robots y la computadora.
- Codificación de la conexión con la LEGO Cam.
- Análisis de comportamientos necesarios en los robots autónomos.
- Codificación de los comportamientos autónomos y de los enviados de manera remota.
- Modalidades de envío de comandos integrados a la interfaz gráfica principal.

1.5. ALCANCES

Para poder cumplir con el objetivo general del proyecto se requiere crear una división de tareas que cumplan con un principio de diseño modular. Se necesita el encapsulamiento de cada función para poder ir las agregando al sistema sin modificar lo ya generado. Esta investigación cuenta con los siguientes módulos:

- Interfaz gráfica primaria.
- Conexión de la IR Tower con la interfaz gráfica.
- Conexión de la LEGO Cam con la interfaz gráfica.
- Análisis de funcionamiento y diseño del protocolo de comunicación infrarroja entre los robots y la computadora.
- Comportamiento autónomo de los robots.
- Modalidades de envío de comandos.



1.6. LIMITACIONES

- No se usa reconocimiento de imágenes.
- Los robots no se programan con técnicas de inteligencia artificial.
- No se analizará una comunicación infrarroja entre los robots.
- No se diseñará un comportamiento defensivo.

1.7. HARDWARE UTILIZADO

- 3 *kits* de LEGO MIDSTORMS Robotics Invention System 2.0
 - Usados para construir los 3 robots que conformarán el equipo de fútbol.
 - Se usará un motor extra a los incluidos en cada *kit*.
- 1 LEGO Cam
 - Se colocará sobre la cancha de juego para tener una visualización en todo momento de los robots.
- 1 LEGO USB IR Tower
 - Permite la comunicación remota con los robots.

1.8. SOFTWARE UTILIZADO

- leJOS 2.1.0
 - Lenguaje de Programación para LEGO MINDSTORMS basado en Java. Da ventajas sobre la programación del RCX y del uso de todo el hardware que se utiliza.



- Java 2 SDK 1.4.2
 - Necesario para operar leJOS 2.1.0, ya que la versión JSDK 1.5 no es todavía soportada.
- RCXTools
 - Interfaz gráfica que permite descargar el *firmware* y los programas programados con leJOS.
- Java Media Framework 2.1.1e
 - *Software* necesario para realizar una conexión con la LEGO Cam.
- LDRAW
 - *Software* opcional que contiene una base de datos de las piezas de LEGO para hacer modelos gráficos.
- MLCAD 3.20
 - *Software* opcional que cuenta con una interfaz gráfica para diseñar modelos de LEGO.
- L3P
 - *Software* opcional que sirve a manera interfaz entre archivos generados por MLCAD y los requeridos por POV-Ray.
- POV-Ray 3.6.1
 - *Software* opcional que genera imágenes de mayor calidad a partir de archivos generados con L3P.