

Capítulo 2

Marco Teórico

2.1 Introducción

En este capítulo se revisan los fundamentos teóricos, que dan pie a los métodos propuestos en esta tesis para modelar el comportamiento eficiente de un robot móvil equipado con un sistema de visión artificial, a fin de que éste realice tareas de exploración en un ambiente desconocido, para esto también se revisan algunos trabajos relacionados en el área de la robótica móvil y el campo de la visión artificial, haciendo énfasis en los vehículos de Braitenberg, los cuales son agentes autónomos en donde la percepción y la acción están directamente acoplados, y en lo que se refiere a la etapa de la visión computacional, se analiza el sistema de color I1I2I3 utilizado comúnmente para segmentar imágenes en color.

2.2 Robótica móvil

En esta apartado se estudian algunos conceptos sobre la disciplina de la robótica móvil, los problemas principales que se tienen en esta área, los trabajos relacionados que se han hecho, además se menciona la manera en como los robot móviles son clasificados, así como las características principales de cada uno de ellos, por último se listan los sistemas de percepción más usados en los robots móviles.

2.2.1 Introducción a la robótica móvil

Desde siempre el hombre ha tenido el deseo de poseer el conocimiento del propio ser, de su comportamiento y el de otras especies, a fin de crear agentes con capacidad autónoma con los cuales pueda compartir la inteligencia, para encargarle la realización de tareas que a él le desagradan por ser monótonas, complicadas o peligrosas.

Para el estudio y modelado de estos comportamientos a fin de reproducirlos en un robot, se ha hecho necesario la cooperación de diversas ramas de la ciencia como son la psicología, biología, ingeniería, etc. Con el avance de la ciencia, el desarrollo de nuevas tecnologías y de disciplinas como la electrónica, mecánica y la informática entre otras, se han podido construir robots que nos facilitan algunas tareas, como aquellas en donde se requiere de gran precisión y velocidad o en las que se pone en riesgo la integridad de las personas que las realizan, entre muchas otras tareas más.

Los robots móviles tienen un gran rango de aplicaciones, que con frecuencia son de naturaleza no industrial, A los robots móviles podemos clasificarlos en términos de la manera en la cual obtienen su propulsión, que pueden ser por ruedas, orugas u otros. Un robot móvil puede ser controlado de diversas maneras [1].

Remotamente: por medio de alambres, cables o radio.

Automáticamente: (autónomo), o por un programa..

Los robots móviles se utilizan en situaciones peligrosas o ambientes hostiles como: debajo del agua, en zonas contaminadas radioactivamente, biológicamente o en el espacio.

La característica principal de los robots móviles es, como ya se ha mencionado, la movilidad y la independencia de un sistema físico de guiado como pueden ser rieles, cables, medios magnéticos, ópticos, etc., [3]. Por lo que los robots móviles requieren de un sistema de navegación que les permita en todo momento conocer su posición dentro del ambiente [2], con la finalidad de poder definir un plan de trayectorias a seguir para poder llegar a su objetivo evitando obstáculos que se les puedan presentar en el camino, para esto, el robot debe poseer un sistema sensorial que le permita percibir y representar el mundo que lo rodea.

La navegación de un robot móvil se puede definir como el arte o la ciencia que permite guiar a un robot a su objetivo, teniendo en cuenta el medio que lo rodea [3].

La construcción de robots móviles independientes del entorno, requiere de una gran coordinación y comunicación entre los sistemas de percepción encargados de la correcta interpretación del entorno y los de acción, que son los encargados del control de movimientos del robot, estos problemas son los que se han abordado principalmente en la mayoría de la investigación que sobre robótica móvil se ha realizado [1][3][4][5][6][7][8][9][10].

Uno de los principales problemas en robótica móvil, es la determinación de la posición y orientación del robot dentro del ambiente en el que se encuentra [2], este problema típicamente se ha resuelto por medio de procesos odométricos, que consisten en obtener la posición del robot por medio de decodificadores incrementales ligados a las ruedas del robot [3], sin embargo este tipo de control suele fallar cuando las características de las ruedas cambian, como puede ser el desgaste o deslizamiento de las ruedas por pasar sobre un obstáculo, en estos casos es necesario corregir la posición del robot con la ayuda de sensores externos como pueden ser cámaras de video, sensores infrarrojos, láser, brújulas, etc. [1][2][11]

2.2.2 Sistemas de percepción del robot

Debido a la importancia de conocer la posición del robot en todo momento por el sistema de navegación y la imprecisión de los sistemas odométricos basados en sensores internos al robot como: potenciómetros que permiten determinar la tensión proporcional a la posición de la articulación asociada, giróscopos y tacómetros que miden la velocidad del robot, es necesario la utilización de sistemas exteroceptivos, que permitan corregir y compensar la información recogida por el sistema odométrico [3].

La cualidad de los sistemas de percepción externos es que interactúan con el entorno, permitiendo actualizar la posición y orientación del robot, actualizar y modelar el entorno, así como proporcionar seguridad evitando la colisión con obstáculos en la trayectoria del robot.

Los principales sensores externos son los infrarrojos, ultrasónicos, láser, navegación por satélite, y visión. El robot móvil utilizado en este proyecto está equipado con sensores de proximidad infrarrojos, adaptándose además como parte de este trabajo un sistema de visión.

Los sistemas de visión robóticos además de corregir la posición del robot, se han utilizado para la construcción de mapas del entorno, estos sistemas se basan en una o más cámaras montadas sobre el robot o dentro de su ambiente [11] [12][13].

2.3 Niveles de procesamiento en un robot móvil

La autonomía de funcionamiento de un robot móvil es proporcional a los diferentes niveles de procesamiento con los que el robot cuenta, como son: Control del robot, interpretación de sensores, integración de sensores, modelado del entorno, navegación y planificación [11], en este apartado se revisarán cada uno de los niveles de procesamiento de un robot móvil mencionados arriba.

2.3.1 Control del robot

El sistema de control del robot entre otras cosas es el encargado de la constante monitorización de los sistemas físicos del robot y de su estado interno, como pueden ser temperatura, energía disponible, entre otras. El sistema de control también es el encargado directo del control de los actuadores y sensores, además de producir primitivas que son ejecutadas por el robot, como son las de locomoción, lectura de sensores, etc. El sistema de control depende directamente de la estructura del robot, dicho sistema a su vez permite que

otros sistemas de más alto nivel interactúen con el robot, sin necesidad de conocer explícitamente su estructura.

2.3.2 Interpretación de sensores

El sistema de interpretación de sensores es el encargado de la adquisición e interpretación de la información de éstos y suministra esta información a niveles superiores del control del robot.

2.3.3 Integración de sensores

En el sistema de Integración de sensores se correlacionan y se abstraen los diferentes tipos de información sensorial, de manera tal que se integren y se complementen, evitando ambigüedades en la percepción del entorno, por ejemplo la lecturas de los sensores de proximidad se pueden complementar con el sistema de visión robótica [14].

2.3.4 Modelado del entorno

En la medida en que el robot posea autonomía deberá ser capaz de interactuar con el ambiente que lo rodea, para ello requiere recopilar, integrar y cotejar la información que percibe de su entorno con la información que tiene previamente almacenada, esto con la finalidad de integrar mapas del ambiente que le servirán posteriormente en la planificación de trayectorias. Crowley en [4], propone la construcción de un modelo local compuesto, en el que se integran diferentes lecturas de sensores tomadas de diferentes puntos de vista, si el robot cuenta con un mapa del entorno almacenado previamente al construir el modelo compuesto es posible corregir la posición y orientación del robot.

2.3.5 Navegación

Este sistema es el encargado de realizar tareas como la planificación de trayectorias, evitación de obstáculos y pilotado del robot, lo cual le permite a éste desplazarse teniendo en cuenta el ambiente que lo rodea.

2.3.6 Planificación

Este sistema es encargado de la planificación de tareas, controlando las acciones sensoriales, motrices o de procesamiento del robot, también es el encargado de la replanificación en caso de que suceda algún evento imprevisto, como el encontrarse con un obstáculo en el camino. El enfoque tradicional de la planificación se basa en que las tareas pueden ser determinadas por procesos de razonamiento operando como un modelo simbólico interno[3]. Los esquemas de planificación de trayectorias según FU [15] generalmente aproximan o interpolan el camino deseado mediante una clase de funciones polinomiales y generan un conjunto de puntos de consigna para control a lo largo del tiempo, para controlar al robot desde su posición original hasta su destino.

2.4 El problema del modelado de un ambiente en robótica

Los robots están reemplazando a los seres humanos en algunas tareas como son aquellas que a las personas les resultan peligrosas o tareas que se llevan a cabo en lugares donde los humanos no pueden estar presentes físicamente como pueden ser en ambientes radioactivos, en campos minados, en las profundidades del océano, en la superficie de otros planetas, misiones espaciales, etc. Para que un robot funcione adecuadamente debe conocer el ambiente en el que se desenvuelve, sin embargo los robots no perciben su entorno precisamente como lo hacemos los humanos.

Los robots tienen algunas limitaciones para poder percibir el mundo, estas son: los sensores generalmente tienen una resolución limitada, las lecturas que ofrecen tienen en el mayor de los casos ruido, la precisión de los sensores está en función del costo de los mismos, además generalmente se requiere que los robots funcionen en tiempo real, lo cual limita la cantidad de información sensorial que se procesa.

Otro problema es que el mundo es dinámico y complejo, lo que produce frecuentemente lecturas contradictorias en los sensores del robot, aunado a todos estos problemas los movimientos del robot son inexactos debido a deslizamientos de ruedas, salto de obstáculos, etc. Lo que lleva a una estimación incorrecta de la localización del artefacto

tecnológico, estos errores odométricos pueden ser atenuados restándole movilidad al robot, lo cual introduce una limitante más. El problema principal entonces es construir modelos adecuados de un ambiente, a partir de datos incompletos.

2.4.1 Tipos de modelado del ambiente

Básicamente podemos distinguir dos tipos diferentes de modelados del ambiente, el primero consiste en construir un modelo del mundo tan preciso como sea posible, para esto se requiere que el robot cuente con un sistema confiable de sensores, es evidente que el modelo de este tipo de ambientes no se lleva a cabo en tiempo real, y generalmente se utiliza para construir representaciones virtuales de escenarios reales.

El segundo tipo de modelado de ambientes son aquellos que se realizan de manera rápida pero burda (generalmente un mapa en dos dimensiones), este tipo de modelado es el más usado en robótica, debido al menor tiempo que se requiere para construir el modelo, no se requieren de sensores demasiado sofisticados, este tipo de modelado es el que se implementa en este trabajo de tesis. A continuación se muestra una tabla comparativa entre los dos tipos de modelado de ambientes.

	Modelado preciso pero lento	Modelado rápido pero burdo
Requerimientos de tiempo	Puede tardarse días en el cálculo	Tiempo real
Ámbito de los datos	Localizados en una densa área	Distribuidos a través del ambiente
Precisión	Tan preciso como sea posible, 1mm	Precisión suficiente para navegar 1dm.
Sensores	Scanners láser, Sistemas de cámaras múltiples calibradas	Sensores láser, infrarrojos, cámaras
Aplicaciones	Ambientes virtuales, sitios virtuales, cirugías	Exploración de ambientes desconocidos, búsqueda de objetos

Tabla 2.1. Tipos de modelado de ambientes

Para el problema de la exploración de un ambiente desconocido que se aborda en esta tesis, se utiliza un mini robot móvil con 6 sensores infrarrojos de proximidad, y se le adaptó un sistema de visión artificial, cuyo sensor principal es una cámara de video. A continuación se revisan algunos conceptos relacionados a los sistemas de visión robótica.

2.4.2 Navegación en ambientes desconocidos

En años recientes un gran número de investigadores se han interesado en el problema de la navegación de robots, por lo cual, se han producido gran cantidad de sistemas de navegación exitosos [22][23][24], algunos de los cuales contienen información preestablecida sobre el ambiente o algunos otros requieren que un operador humano guíe al robot a través del ambiente por primera vez en una fase de reconocimiento del entorno y posteriormente son usados algoritmos off-line para construir el mapa del mundo. Los métodos mencionados anteriormente requieren intervención manual, la cual es costosa y está propensa a errores humanos. Una alternativa es la de modelar ciertas conductas del robot como son: seguir paredes, luces, o formas predefinidas, evitando los obstáculos que se le puedan presentar en el camino. Sin embargo, estas estrategias no garantizan la construcción completa del mapa en ambientes grandes y complejos, Duckett en [2] propone utilizar una red neuronal la cual permita predecir con base en la información de los sensores del robot, nuevas áreas de territorios no explorados.

2.4.3 Técnicas para la exploración de ambientes

La exploración de un ambiente desconocido consiste en poner a un agente equipado con sensores externos en un mundo totalmente desconocido [11], el agente trata de conocer que es lo que lo rodea, construyendo un modelo del ambiente con el objetivo de cumplir una tarea preestablecida. La calidad y el detalle con que el robot representa su ambiente, está en función del nivel de detalle que es necesario para realizar la tarea preestablecida, y del tipo de sensores con los que cuenta el robot.

Existen diversas metodologías que se han utilizado para explorar mundos desconocidos por robots móviles. Baruch en [22] propone un técnica que consiste en que el robot haga pequeñas incursiones dentro del ambiente, después de las cuales deberá regresar a su

estado inicial, el ambiente es modelado por un grafo arbitrario no dirigido, se asume que el robot solo distingue vértices y aristas que ya han sido exploradas, con esta técnica se requiere de un control de posición y orientación del robot muy preciso a cada momento, para que el sistema de pilotado automático lo regrese a sitio original después de cada incursión.

Por su parte Owen en [23], propone una técnica para navegar por espacios desconocidos basada en marcas, utiliza un mecanismo auto-organizativo para representar el ambiente explorado con base en el reconocimiento de marcas previamente establecidas en el ambiente, con este sistema no se requiere un sistema de posición global, pero si información a priori sobre el ambiente a explorar y definir marcas dentro de él.

Duckett en [2] utiliza una técnica basada en redes neuronales para detectar nuevas áreas inexploradas por el robot con base en la información de los sensores del mismo, además utiliza una brújula que permite mantener la orientación del robot en la etapa de exploración y creación del mapa del ambiente, esta técnica requiere de una fase de entrenamiento de la red neuronal, y este entrenamiento es supervisado, por lo que requiere que un operador humano guíe al robot por ambientes similares antes de su trabajo real de exploración.

Braitenberg en [25] propone una serie de vehículos con estructuras internas simples que se comportan de manera inesperadamente complejas, a uno de estos vehículos le llamó vehículo con comportamiento explorador, debido a que modela un comportamiento de repulsión a los espacios cerrados y obstáculos, y una atracción a los espacios vacíos, características deseadas por un robot explorador, sin embargo estos vehículos tienen una percepción limitada del ambiente ya que utilizan solo dos sensores de proximidad. En la siguiente sección estudiaremos más detalladamente estos vehículos.

2.5 Vehículos de Braitenberg

Valentino Braitenberg en su libro [25] introduce la idea de crear agentes autónomos en los cuales la percepción y acción están directamente acopladas. Braitenberg denomina a estos

vehículos en términos de las personalidades humanas que se observan en el comportamiento de éstos. En la figura 2.1 se muestra la configuración de un vehículo con un comportamiento temeroso, en donde cada uno de los dos sensores de proximidad con los que cuenta el robot están conectados con el motor del lado correspondiente, la velocidad de cada uno de los motores es proporcional a la intensidad de la percepción de los sensores.

Braitenberg denominó vehículo agresivo al robot cuya configuración se muestra en la fig. 2.2 en la cual el sensor derecho es conectado al motor izquierdo y el sensor izquierdo es conectado al motor derecho, este robot cuando detecta un obstáculo se mueve hacia él cada vez más rápido y lo embiste.

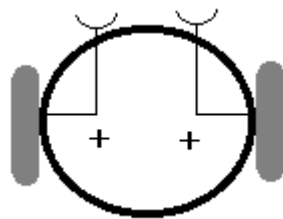


Figura 2.1 Vehículo con comportamiento temeroso

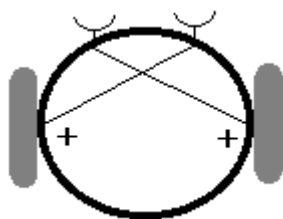


Figura 2.2 Vehículo con comportamiento agresivo

Braitenberg también creó vehículos en los cuales la percepción y la acción están acoplados de manera negativa, esto significa que a mayor percepción la velocidad con que giran las ruedas será menor e inclusive negativa, cuando la intensidad es cero, la velocidad de los motores es máxima. Con esta configuración Braitenberg creó dos tipos de vehículos

diferentes a los cuales les llamé Amistoso y Explorador, como se ven en las siguientes figuras.

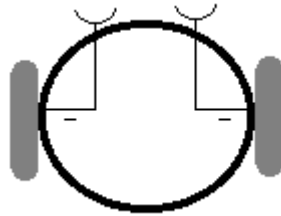


Figura 2.3 Vehículo con comportamiento amistoso

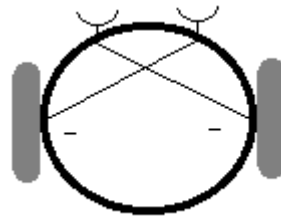


Figura 2.4 Vehículo con comportamiento explorador

El comportamiento de los cuatro vehículos descritos anteriormente se muestran en las siguientes figuras, resultado de una simulación de Yoshiro Endo [26]; los círculos oscuros son obstáculos y las líneas son las trayectorias del robot.



Figura 2.5 Comportamiento Temeroso

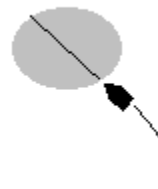


Figura 2.6 Comportamiento Agresivo

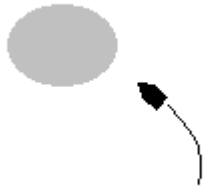


Figura 2.7 Comportamiento Amistoso

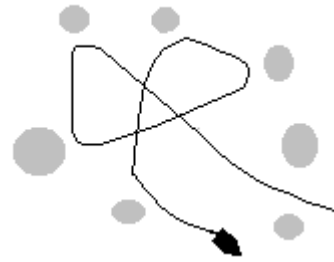


Figura 2.8 Comportamiento Explorador

2.6 Sistemas de visión robótica

Al igual que sucede en el ser humano, la capacidad de visión dota al robot de un sofisticado mecanismo de percepción, que le permite responder a su entorno de manera más flexible e inteligente, en comparación con otros mecanismos de detección [15].

La visión se considera el más importante y sofisticado sistema de percepción de un robot, evidentemente los sensores, los conceptos y los procesos asociados a la visión artificial, son considerablemente más complejos que los asociados a otras capacidades de percepción.

Es importante iniciar este apartado, con una definición de Visión Artificial.

La Visión Artificial, es el proceso de obtención, caracterización e interpretación de información de imágenes tomadas de un mundo tridimensional. [15].

La visión artificial, también llamada visión computacional, puede ser dividida en seis áreas principales:

Captación: *Es el proceso a través del cual se obtiene una imagen visual.*

Preprocesamiento: *Incluye técnica tales como la reducción de ruido y realce de detalles.*

Segmentación: *Es el proceso que divide a una imagen en objetos que sean de nuestro interés.*

Descripción: Es el proceso mediante el cual se obtienen características convenientes para diferenciar un tipo de objeto de otro, por ejemplo tamaño y forma.

Reconocimiento: Es el proceso que identifica los objetos de una escena, por ejemplo diferentes tipos de piezas en un tablero de juego.

Interpretación: Es el proceso que asocia un significado a un conjunto de objetos reconocidos.

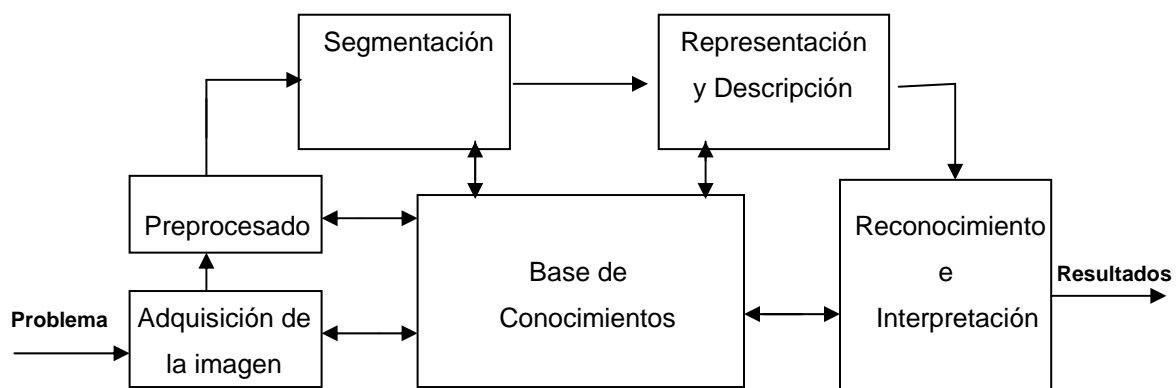


Figura 2.9 Etapas fundamentales de un Sistema de Visión Artificial

El objetivo de un sistema de visión artificial, es crear un modelo del mundo real a partir de imágenes.

Un sistema de visión artificial, toma información útil acerca de una escena a partir de su proyección en dos dimensiones.

Los algoritmos de visión implementados en este proyecto están catalogados dentro del área de la visión robótica dinámica [16][17], debido a que trabajan sobre escenas dinámicas del mundo que está siendo explorado por el robot .

2.6.1 Sistemas de visión en la exploración de ambientes desconocidos

Típicamente para la obtención de características del entorno de un robot móvil, se han utilizado sensores de ultrasonido o sonares, estos elementos se han convertido en dispositivos estándares de captación de información en robótica móvil, la popularidad del sonar se debe a que es un sensor de muy bajo costo y el procesamiento que se realiza a su señal es muy sencillo, permitiendo de esta manera una reacción rápida del robot para la toma de decisiones. Sin embargo, las características del ambiente que pueden ser obtenidas por los sonares o cualquier otro tipo de sensor de proximidad son de naturaleza local como pueden ser aristas, esquinas, o segmentos, además de ser poco robustos y no tolerantes al ruido, es por eso, que en trabajos recientes [1][18][19][20] se ha popularizado el uso de sistemas sensoriales visuales juntamente con los sistemas tradicionales, que incluyen sonares y sensores de proximidad para la tarea de exploración de ambientes desconocidos. Esto debido a que los sistemas de visión artificial proporcionan una mayor cantidad de información sobre el ambiente que se está explorando, lo cual le permite al robot tomar decisiones más inteligentes para llevar a cabo su tarea ya que podrá tener una mejor representación de su entorno. Una vez que se han obtenido las características del entorno de un robot móvil, el siguiente paso es la construcción autónoma de mapas del mundo explorado.

2.6.2 Sistema de color usado en la segmentación de una imagen a color

Dentro del procesamiento digital de imágenes generalmente el primer paso consiste en segmentar la imagen en sus partes constituyentes u objetos [27]. El grado de la subdivisión depende del tipo de problema que se pretende resolver, en las imágenes en tonos de grises, los algoritmos de segmentación se basan en dos propiedades básicas de los niveles de grises, que son la discontinuidad y la similaridad.

La discontinuidad permite detectar puntos aislados, líneas y bordes; los métodos que utilizan la similaridad se basan en umbralización, crecimiento de región, división y fusión de regiones [28].

La segmentación de imágenes digitales en color, generalmente consiste en la adaptación de las técnicas utilizadas para imágenes digitales en tonos de grises, aplicando estas técnicas a cada una de las bandas de color (rojo, verde y azul).

El sistema I1I2I3 se ha empleado entre otras aplicaciones en la segmentación de imágenes digitales en color para darle realismo a objetos en tercera dimensión, así como en la segmentación y medición de áreas en imágenes médicas. El sistema I1I2I3 se define como sigue:

$$\begin{bmatrix} I1 \\ I2 \\ I3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/2 & 0 & -1/2 \\ -1/4 & 1/2 & -1/4 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

De donde surgen las tres características ortogonales del color que son:

$$(2.1) \quad I1 = \frac{R + G + B}{3}$$

$$(2.2) \quad I2 = \frac{R - B}{2}$$

$$(2.3) \quad I3 = \frac{2G - R - B}{4}$$

2.7 Escenario Experimental

En este apartado se mencionan las especificaciones técnicas del robot Khepera 213, así como también se hace una descripción del ambiente construido con la finalidad de probar los algoritmos propuestos en esta tesis.

2.7.1 Robot móvil “khepera ”

Los experimentos reportados en esta tesis fueron realizados utilizando el robot móvil miniatura Khepera (figura 2.10).

El robot Khepera es un robot de 55 mm. de diámetro, 30 mm. de alto y 70 gr. de peso, utiliza el procesador Motorola 68331, cuenta con 226 Kbytes en RAM, 256 Kbytes en ROM, tiene 8 sensores de proximidad infrarrojos, la fuente de poder puede ser una batería Ni – Cd recargable o externa, contiene dos ruedas controladas por dos motores DC independientes de alta resolución y codificadores incrementales de 10 pulsos por mm [21]. Además de esto, se equipó al robot con una cámara de vídeo modelo Webcam3 que brinda una imagen a color de 160 x 120 pixeles. El robot es controlado por una computadora PC.

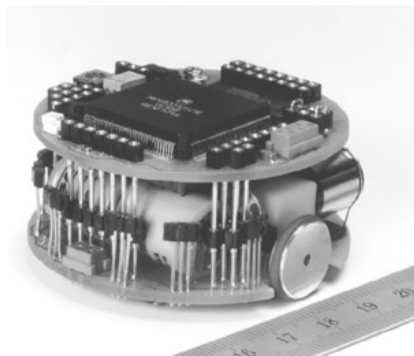


Figura 2.10 Robot Khepera

2.7.2 Escenario de prueba

Para la realización de los experimentos de la exploración del ambiente por el robot “khepera”, se construyó un escenario de forma cuadrada de 50 cm de lado y 14 cm de alto, las paredes son de color blanco, los obstáculos dentro del ambiente tienen diversas formas geométricas en colores rojo y azul (figura 2.11). Debido a que la comunicación con el robot y la cámara se realiza por cable, fue preciso adaptarle al escenario un soporte para los cables de comunicación del robot.



Figura 2.11 Escenario de pruebas

2. 8 Conclusiones del capítulo

En este capítulo se revisaron las bases teóricas, a partir de las cuales en las siguientes páginas se propondrán algunas técnicas para la resolución del problema de la exploración de un ambiente desconocido por un robot móvil, se decidió tomar como base, por la facilidad para su implementación y por las características propias del robot de prueba, el algoritmo de Braitenberg que modela el comportamiento explorador de un agente móvil descrito en este capítulo, con la finalidad de proponer los ajustes necesarios para que su comportamiento se vea mejorado por el uso de un sistema de visión artificial.

En la etapa de visión y específicamente en la de segmentación se considerará como base el modelo I1I2I3 visto también en este capítulo, a partir del cual se propondrán mejoras al utilizarlo como filtro en la segmentación de imágenes a color debido a las restricciones del ambiente de prueba que se construyó, además de que la cámara de video que utilizará el sistema de visión del robot khepera proporciona imágenes en color.