

DIVISIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

**“Programa Informático para Control  
del Robot Móvil Rovio ”**

POR  
**Ing. Tomás Rangel Moreno**

**TESIS**

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL  
GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA

DIRECTOR DE TESIS

Dr. Alejandro Enrique Dzul López

CODIRECTOR DE TESIS

Dr. Luis Rodolfo García Carrillo

ISSN: 0188-9060



**RIITEC: (19)-TMCIE-2014**

Torreón, Coahuila, México  
Diciembre 2014



"2014, Año de Octavio Paz"

Toreón, Coah., 12/Diciembre/2014  
Dependencia: DEPI/CPCE  
Oficio: DEPI/CPCE/157/2014  
Asunto: Autorización de  
Impresión de tesis.

**C. TOMÁS RANGEL MORENO**  
**CANDIDATO AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA ELÉCTRICA.**  
**PRESENTE**

Después de haber sometido a revisión su trabajo de tesis titulado:

**"PROGRAMA INFORMÁTICO PARA CONTROL DE ROBOT MÓVIL ROVIO"**

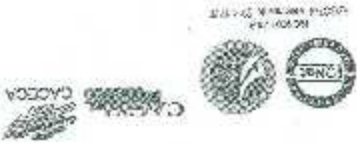
Habiendo cumplido con todas las indicaciones que el Jurado revisor de tesis hizo, se le comunica que se le concede la autorización con número de registro **RIITEC: (19)-TDGIE-2014**, para que proceda a la impresión del mismo.

**ATENAMENTE**  
SECRETARÍA DE INNOVACIÓN

**DR. JOSÉ LUIS MEZA MEDINA**  
Jefe de la División de Estudios de Posgrado e Investigación  
del Instituto Tecnológico de La Laguna

JLM:MSR

SECRETARÍA DE  
EDUCACIÓN PÚBLICA  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
de la Laguna  
División de Estudios de Posgrado  
e Investigación



*Dedicado a todas las personas que me  
han dado su apoyo incondicional  
y han dejado enseñanzas  
en mi vida personal y profesional.*

# Agradecimientos

Con todo mi cariño y amor para las personas que hicieron todo en la vida para que yo pudiera lograr mis sueños, por motivarme y darme la mano en los momentos difíciles de mi carrera.

A mi mamá, Mía, de los Ángeles, y a mi papá, Tomás, que me dieron la vida y han estado conmigo en todo momento al pendiente de mí, por apoyarme y guiarme por el camino correcto, por darme una carrera para mi futuro, por todos los sacrificios que han hecho para lograr que este sueño sea una realidad y sobre todo por el cariño y apoyo incondicional que he recibido de su parte.

A mis hermanos, Alan y Jorge, por los momentos que hemos compartido juntos y por demostrarme que cuanto siempre con su apoyo, cariño y amistad.

A mi novia, Julissa, que me ha sabido apoyar, comprender, amar y por sacrificar su tiempo para que yo pudiera cumplir con el mío, aún cuando hemos vivido momentos difíciles.

A mis abuelos que están en el cielo, a mis primos, tías y amigos, por todos los momentos que comparten a mi lado.

A mis amigos y compañeros de la maestría por sus consejos y apoyo cuando se presentaba alguna dificultad.

A mi asesor, el doctor Alejandro Enrique Díaz López, por haberme apoyado en mis cuestiones de estudio y darme la confianza y consejos adecuados para la realización de la presente tesis.

Al Maestro en Ciencias Víctor Edmundo Javier Olleridas Vázquez y a los doctores Francisco Jurado Zamarripa y Luis Rodolfo García Carrillo, por formar parte de mi comité de revisiones dándome los consejos pertinentes para que este trabajo sea mejor, así como también a los demás doctores que fueron parte de mi formación académica.

Al CONACYT por la beca de apoyo recibida durante mis estudios de maestría durante dos años.

# Programa informático para el control del robot móvil ROVIO

Tomás Rangel Moreno

## Resumen

La robótica hoy en día ha venido revolucionando la vida del ser humano, en el sentido de poder realizar tareas que anteriormente parecían imposibles para una persona, gracias al avance de la tecnología, los robots han ayudado enormemente en diversos campos de aplicación. Por otra parte, los robots móviles son una pieza fundamental de la robótica ya que han venido colaborando en aplicaciones en las áreas de la medicina, seguridad, militar, etc. Una parte importante de la robótica móvil es la autonomía del robot, éste depende del tipo de aplicación y dependiendo de ésta, tenemos diferentes tipos de ruedas y de configuración para las mismas.

En la presente tesis se trabajó con un robot móvil Rovio, de la marca WowWee, con tres ruedas orientacionales y elaborado con fines de seguridad en el hogar. Dicho robot posee un programa computacional que permite realizar movimientos, sin embargo es un programa cerrado, por lo que no nos permite adaptarle código para la verificación de alguna ley de control propuesta. El robot recibe y transmite datos de manera inalámbrica. Empleando la plataforma *LabVIEW* se realizó un programa informático personalizado, el cual nos permite tener acceso al robot de manera inalámbrica, permitiendo así realizar diferentes movimientos sobre el mismo, así con este programa podemos desarrollar la creatividad al realizar diferentes controles y movimientos al gusto del programador, sin estar limitados al programa original proporcionado por el fabricante. Posteriormente se estudió el modelado y control básico de un robot móvil con ruedas. Finalmente se realizó un control basado en el nivel de intensidad de la señal inalámbrica que recibe el robot para poder detectar de dónde proviene la dicha fuente.

**Abstract**

Robotics today has been revolutionizing human life, in the sense of being able to perform tasks that previously seemed impossible for one person, with the advancement of technology; robots have helped greatly in various fields of application. Moreover mobile robots are an essential part of robotics, has been also working on applications in medicine, security, the military, etc.; an important part of mobile robotics is the autonomy of the robot, it depends on the type application and depending on this, we have different types of wheels and wheel configuration.

In this thesis, we worked on a mobile robot with three omnidirectional wheels called Rovio of WowWee brand which is a robot developed for home security. This robot has a computer program that enables movement, however it is a closed program, which does not allow us to adapt some code to validate a control law to propose, the robot receives and transmits data wirelessly; using *LabVIEW* platform a custom computer program was developed, allowing us to perform different moves in the mobile robot, with this program we can develop the creativity to apply different custom controls and movements from the developer, and we are not limited to the original program provided by the manufacturer. Subsequently modeling and basic control of a mobile robot with wheels was studied. Finally, based on the level of strength of the wireless signal received by the robot to detect where it came from that source the control was developed.

Software for control of the mobile robot ROVIO  
 Tomás Rangel Moreno

# Índice general

1	1. Introducción
4	1.1. Estructura general de un robot móvil
9	1.2. Algunos robots móviles en la historia
9	1.2.1. Robots industriales
10	1.2.2. Seguridad
10	1.2.3. Hospitales
11	1.2.4. Investigación espacial
12	1.2.5. Actividad militar
12	1.2.6. Sector educativo
13	1.2.7. Juguetes y biología electrónica
14	1.2.8. Humanos e humanoides
15	1.3. Objetivo de la tesis
15	1.3.1. Objetivo general
15	1.3.2. Objetivos específicos
16	1.4. Estructura del documento
17	2. Estado del arte

17	2.1.	Locomoción	17
20	2.1.1.	Puntos de interés sobre la locomoción	20
21	2.2.	Robots móviles con ruedas	21
22	2.2.1.	Diseño de la rueda	22
23	2.2.2.	Geometría de la rueda	23
25	2.2.3.	Estabilidad	25
26	2.2.4.	Mantobrabilidad	26
28	2.2.5.	Controlabilidad	28
29	2.3.	Robot móvil Seekur	29
30	2.3.1.	Modelo cinemático del robot	30
32	2.4.	RoboRealm	32
32	2.4.1.	RoboRealm y Rovio	32
34	2.5.	Robot móvil Rovio	34
34	2.5.1.	Partes del Rovio	34
36	2.5.2.	Trabajando con Rovio	36
37	2.5.3.	Interfaz del usuario	37
38	2.5.4.	Trabajos anteriores con el robot Rovio	38
42	3.	Modelado del robot Rovio	42
44	3.1.	Modelos cinemáticos y limitaciones	44
45	3.2.	Descripción de robots móviles	45
47	3.3.	Restricciones cinemáticas de la rueda sueca	47
50	3.4.	Modelo cinemático de postura	50



3.6. Modelo cinemático de configuración	51
4. Control del robot Rovio	53
4.1. Protocolo de comunicación TCP/IP	54
4.2. Protocolo TCP/IP en LabVIEW	55
4.3. Comunicación con el Rovio	56
4.3.1. Librerías API	56
4.3.2. Respuestas y peticiones	57
4.1. Instrucciones de control del Rovio	58
4.4.1. Comandos relacionados con la imagen	58
4.4.2. Sensores del Rovio	59
4.5. Control de detección de fuente	60
4.5.1. Algoritmo de detección de fuente Wi-Fi	61
4.5.2. Diagrama y bloques del algoritmo de control	63
4.5.3. Resultados	65
5. Programa informático del Rovio	66
5.1. Programación	69
6. Conclusiones	74
6.1. Trabajos futuros	75
Bibliografía	77

# Índice de figuras

1.1.	Manipulador Universal Programable para Ensamblaje PUMA.	2
1.2.	Similitudes entre un robot móvil y un ser vivo.	3
1.3.	El Roboscrib para la aspiración y limpieza de pisos.	9
1.4.	Robot de seguridad <i>Denning Sentry</i> .	10
1.5.	<i>Helpmate</i> o robot enfermero.	11
1.6.	Robot <i>Sojourner</i> para investigación espacial.	11
1.7.	Robot <i>Fitch</i> de uso militar.	12
1.8.	Sistemas LEGO.	13
1.9.	Robot tipo animal.	13
1.10.	Robot humanoide Honda P3.	15
2.1.	Mecanismos de locomoción usados en sistemas biológicos.	18
2.2.	El sistema bipedo se puede aproximar por un polígono continuo.	19
2.3.	Tipos de ruedas: a)Direccional; b)Castor; c)Sueca y d)Esferica.	21
2.4.	Configuraciones cinemáticas más comunes de los robots móviles.	25
2.5.	Robot Gye.	26
2.6.	Robot móvil Rovio.	26

29	2.7. Robot móvil <i>Seekur</i> .....
30	2.8. Orientación de las ruedas respecto a un ICR .....
31	2.9. Diagrama de cuerpo libre .....
31	2.10. Velocidades del Robot <i>Seekur</i> .....
33	2.11. Configuración del Rovio en <i>RoboRealm</i> .....
33	2.12. Interfaz y cámara web del Rovio .....
35	2.13. Robot móvil Rovio y sus accesorios .....
36	2.14. Parte interior del Rovio .....
36	2.15. Estación de carga .....
37	2.16. Proyección de luces infrarrojas .....
38	2.17. Interfaz del usuario .....
39	2.18. Interfaz visual y algoritmo de procesamiento de imágenes .....
40	2.19. Imagen de la red neuronal .....
41	2.20. Pruebas y resultados .....
45	3.1. Marco de referencia local y global del robot móvil .....
48	3.2. Rueda suera y sus parámetros .....
49	3.3. Diagrama esquemático del robot móvil Rovio .....
55	4.1. Diagrama en LabVIEW para comunicación con el Rovio .....
58	4.2. Petición HTTP en LabVIEW .....
58	4.3. Comunicación entre Rovio y LabVIEW .....
61	4.4. Seguimiento del robot .....
62	4.5. Casos de detección de huecos .....

4.6.	Diagrama a bloques del algoritmo de detección de fuente Wi-Fi. . . . .	64
5.1.	Interfaz visual del robot móvil Rovio. . . . .	66
5.2.	Programación de movimientos manuales en LabVIEW. . . . .	69
5.3.	Instrucciones API en LabVIEW. . . . .	70
5.4.	Obtención de imagen en LabVIEW. . . . .	71
5.5.	Algoritmo de evasión de obstáculos. . . . .	71
5.6.	Algoritmo para indicador de la batería del Rovio. . . . .	71
5.7.	Algoritmo para indicador del Wi-Fi. . . . .	72
5.8.	Algoritmo de detección de fuente Wi-Fi. . . . .	72
5.9.	Algoritmo para regresar a la posición <i>home</i> . . . . .	73

## Índice de tablas

2.1. Accesorios del robot móvil Rovio. . . . .	35
3.1. Parámetros característicos del robot móvil Rovio. . . . .	50
5.1. Indicadores del programa. . . . .	67
5.2. Controles de navegación. . . . .	68

# Capítulo 1

## Introducción

El campo de la robótica ha venido evolucionando a pasos muy rápidos, impulsado por los avances en computación, sensores, electrónica, comunicaciones y *software*. Hoy en día el uso de algún tipo de robot en la industria es esencial, están en la autocala de revolucionar los procedimientos que se emplean en la agricultura, minería, industria en general, etc.; atravesado los distintos mercados debido a la facilidad de realizar algún tipo de tarea de un modo fácil, rápido y seguro.

Los robots han venido desplazado al ser humano en ciertas actividades industriales e incluso en actividades cotidianas, por lo que poco a poco la robótica y su tecnología van aportando ventajas a la humanidad. Por otro lado, la ventaja del ser humano con respecto a los robots consiste en la capacidad de razonamiento, la capacidad de pensar, que hoy en día no se ha podido implementar en los robots, aunque no se descarta la posibilidad de que esto sea a futuro una realidad.

Uno de los primeros robots fue el llamado *Shakey*, desarrollado en el Instituto de Investigaciones de Stanford en 1950, capaz de tomar bloques de una pila utilizando una cámara de video como sensor visual y de procesar información en una pequeña computadora. Tiempo después, a mediados de 1970, la *General Motors* lanzó un programa de desarrollo en el que el investigador Victor Scheinman, del Instituto de Tecnología de Massachusetts,

inventó un brazo mecánico PUMA (*Programmable Universal Manipulator for Assembly*) para producir un manipulador universal programable para ensamblaje, mostrando en la figura 1.1, el cual marcó el inicio de la era de los robots [Bermúdez, 2002].

El campo de acción de la robótica comprende la actividad productiva, la investigación científica y la medicina; de acuerdo con su uso y aplicación, los aparatos tienen diversas características. En la producción industrial los robots se unen a otras máquinas con el propósito de mejorar la eficiencia en la producción, obtener mejores calidades de producto y/o a aumentar la rapidez del proceso; sin embargo, su utilización también conlleva la disminución de la cantidad de mano de obra requerida.

Dentro de la robótica se encuentra el campo de los robots manipuladores, que ha experimentado un alto desarrollo desde la década de los setenta, y la denominada robótica móvil, que ha cobrado una importancia creciente durante los años ochenta y noventa.

Los robots móviles han venido revolucionando, especialmente, el área de la milicia y la investigación, ya que, por citar un ejemplo, existen lugares difíciles de explorar donde se pone en riesgo la vida o puede ser un lugar donde simplemente el ser humano no puede estar presente; para eso existen robots móviles comandados por el ser humano, para explorar dichos lugares.

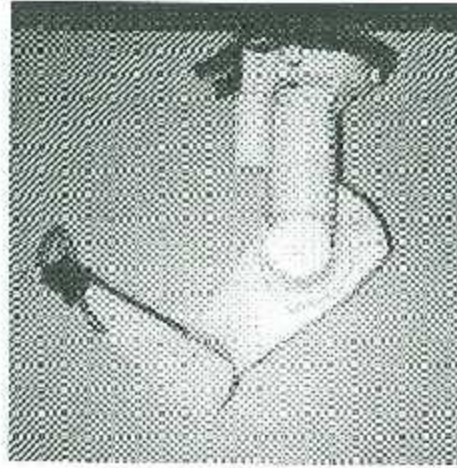


Figura 1.1: Manipulador Universal Programable para Ensamblaje PUMA.

En los últimos años la investigación sobre robots móviles ha estado adquiriendo un gran desarrollo. Esto se debe, en parte, al abaratamiento del *hardware* necesario para su construcción y en parte a la nueva concepción industrial de planta de fabricación flexible, que requiere la reconfiguración de la secuencia de acciones necesarias para una producción variada, lo que a su vez exige facilidad de desplazamiento de los materiales entre estanterías

de los puntos de la factoría [González, 2001].

Las soluciones a este problema de transporte de material en entornos flexibles son varias. La primera consiste en situar las máquinas cerca unas de otras organizadas de modo que uno o más brazos robot puedan llevar las piezas entre ellas; esta configuración, un caso particular de las llamadas células de fabricación flexible, es sólo apropiada para un número limitado de máquinas. Otra solución válida es el uso de vehículos autoguiados (denotados usualmente como AGV, *Autonomous Guided Vehicles*), los cuales recorren por el guiado a sistemas externos programados. Finalmente, la mejor opción sería disponer de vehículos autónomos (denotados como AV, *Autonomous Land Vehicles*) que se muevan de un punto a otro sin necesidad de ayuda externa, al menos no en todo momento, lo que los hace capaces de navegar en un entorno dado a partir de instrucciones específicas.

Por otra parte, la construcción experimental de pequeños robots móviles, en laboratorios universitarios y a nivel de aficionado (*microbots*), está haciendo surgir un tipo de investigación que aborda los aspectos de conexión senso-motora desde un punto de vista diferente a aproximaciones anteriores, y que conlleva también un cambio de visión en la concepción clásica de la Inteligencia Artificial, la cual se aborca intentando construir vida artificial.

Existen diferencias bastante importantes entre los robots manipuladores industriales y los móviles. Para que un robot manipulador sea útil y capaz de evolucionar en el espacio 3D, debe poseer varios grados de movilidad (grados de libertad). Sin embargo, un robot móvil con solamente dos grados de libertad puede realizar cosas bastante interesantes sobre una superficie de trabajo. Por otro lado, dado que los robots manipuladores generalmente trabajan en espacios altamente estructurados (fijos y adecuados a las tareas a desarrollar), requieren de un sistema de percepción mucho menos sofisticado [González, 2004].



- Inteligencia: métodos y algoritmos, entre otros, que permitan, a partir de la información de los sensores, interactuar con el entorno.
- Sensores: láser, cámaras y cualquier elemento que proporcione información del entorno.
- Actuadores: motores, luces, brazos, ruedas o cualquier elemento que permita interactuar con el entorno.
- Estructura mecánica: estructuras con ruedas, patas, orugas, etc.

En la figura 1.2 se puede observar la estructura del robot móvil y del ser vivo en donde se comparan dichas estructuras mejoradas [Calle, 2007].

En la figura 1.2 se puede observar la estructura del robot móvil y del ser vivo en donde se comparan dichas estructuras mejoradas [Calle, 2007].

Debido a que un robot móvil por lo general está destinado a simular el comportamiento de personas y animales con un nivel de eficiencia similar, la estructura del robot móvil es muy similar a la estructura del ser vivo.

## 1.1. Estructura general de un robot móvil

En la presente investigación se estará hablando de un robot de tipo móvil desarrollado por la empresa Canadiense *WowWee*, el robot es llamado *Roovi* al cual se le desarrolló un programa informático para poder manipular a dicho robot.

En la presente investigación se estará hablando de un robot de tipo móvil desarrollado por la empresa Canadiense *WowWee*, el robot es llamado *Roovi* al cual se le desarrolló un programa informático para poder manipular a dicho robot.

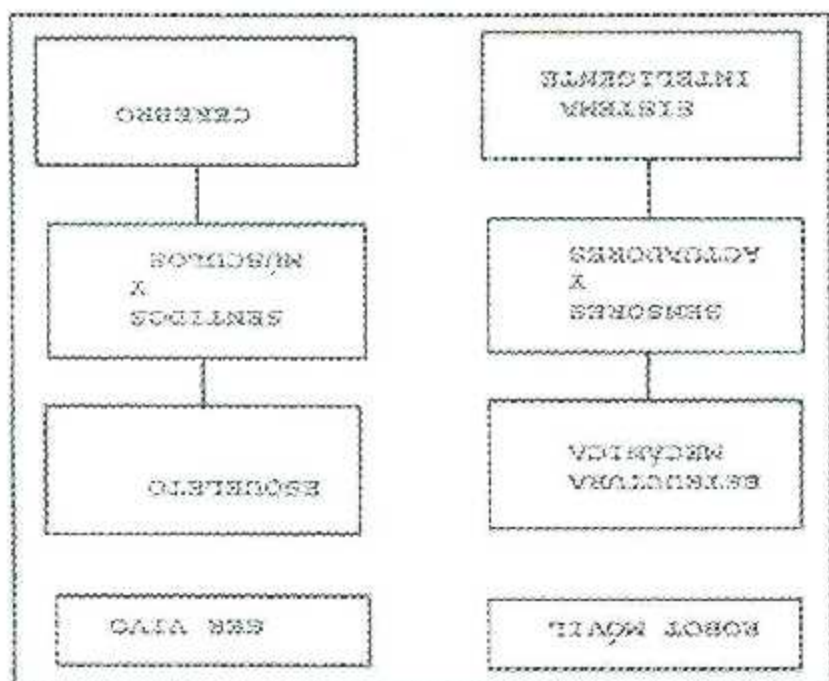
En la presente investigación se estará hablando de un robot de tipo móvil desarrollado por la empresa Canadiense *WowWee*, el robot es llamado *Roovi* al cual se le desarrolló un programa informático para poder manipular a dicho robot.

En la presente investigación se estará hablando de un robot de tipo móvil desarrollado por la empresa Canadiense *WowWee*, el robot es llamado *Roovi* al cual se le desarrolló un programa informático para poder manipular a dicho robot.

- De acuerdo a su sistema de locomoción, se clasifican conforme a su desplazamiento por sus ruedas y caminantes o humanoides.
- De acuerdo al ambiente en que se desenvuelven se pueden clasificar como marinos que son los que operan en la superficie marítima o debajo de ella, impulsados comúnmente por hélices o turbinas; terrestres, que son fáciles de implementar y se basan en conceptos mecánicos ya probados: aéreos, principalmente estudiados en investigaciones militares como aviones de exploración autónomos, climatológicos, etc.; y espaciales, cuyo objetivo es navegar o realizar una acción en el espacio exterior.
- De acuerdo al grado de rango que tiene una persona tras el robot, éste se puede clasificar como autónomo o teleoperado.

Existen diversas clasificaciones de un robot de acuerdo a los aspectos mencionados a continuación [Rodríguez, 2004]:

Figura 1.2: Similitudes entre un robot móvil y un ser vivo.



En el área científica diversos dispositivos son empleados para hacer investigaciones en campos en los cuales el hombre no puede ir o le es muy difícil ir, por tratarse de medios hostiles o demasiado peligrosos (submarino, espacial, irradiado por centrales nucleares, etc.). Así, de acuerdo con su misión y su sentido de operacionabilidad se han diseñado

- **Comunicación:** Se refiere a la interacción del robot con otros robots o con un operador externo.
- **Razonamiento:** Se refiere a cómo convierte medidas del mundo exterior en acciones a realizar.
- **Control:** Se refiere a cómo se realiza la actuación sobre el sistema físico.
- **Percepción:** Se refiere a cómo mide el robot propiedades de sí mismo y de su entorno.
- **Locomoción:** Se refiere a cómo se desplaza el robot en su entorno.

Los robots móviles tienen mucho potencial y se caracterizan por la combinación de varios componentes físicos (*hardware*) y computacionales (*software*). Existe un conjunto de subsistemas que componen a un robot móvil y se mencionan a continuación:

- **Humanoides**
- **Arañas o hexápodos**
- **Rastreo**
- **Orugas**
- **De pista**
- **Con ruedas**

Los robots móviles terrestres han dado origen a diversas alternativas de desplazamiento, como lo son:

dos tipos de robot: los *robots autónomos* se programan para una misión, casi siempre de realización de trabajos sencillos que no requieren de reflexión ni de comprender su entorno; por su parte, la *teleoperación o telepresencia* permite el control a distancia por un puesto maestro monitoreado por un operador humano.

Los sistemas teleoperados, a su vez, pueden clasificarse como *sistemas manipulados o sistemas vehículos*. Los primeros son sistemas que se mueven por mando en su ambiente, y los segundos son usados sólo para navegar o moverse sobre su espacio individual. Así mismo, la *telerobótica o robots semiautónomos* son un híbrido entre sistemas autónomos y teleoperados con usos especialmente industriales.

Especialmente, la robótica se preocupa por el estudio de sistemas controlados por computadora que son capaces de interactuar con su ambiente para llevar a cabo una tarea específica. De acuerdo con su diseño cada robot puede realizar funciones específicas y pre-determinadas. El interés de investigación principal es el de conocer, diseñar y desarrollar prototipos reales de robots móviles con alguna de las siguientes aplicaciones industriales:

- Operación en ambientes industriales hostiles, por ejemplo en refinerías de petróleo, plantas químicas o nucleares, o procesos que impliquen manipulación de sustancias tóxicas.

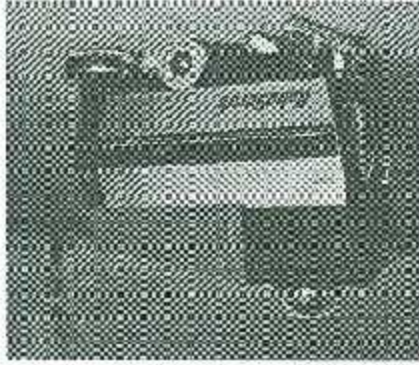
- Realización de rutinas de mantenimiento y seguridad en caso de accidentes.
- Inspección de tuberías terrestres y submarinas para detectar posibles filtraciones o fisuras.

- Detección, recolección y clasificación de frutos o flores delicadas en el sector agrícola.
- Exploración submarina.
- Reconocimiento de ambientes donde el hombre no puede llegar.
- Tecnología de la pesca.

- Realización de labores de construcción que impliquen gran esfuerzo físico o actividades que requieran constante concentración.
- Vigilancia y seguridad en plantas industriales.
- Inspección y reparación de tubos de evacuación que demanden controles y sensores robustos para trabajar en entornos muy contaminados.
- Transporte de materiales en actividades de producción industrial.
- Sillas de ruedas eléctricas dotadas de sistemas de sensores que permitan a los usuarios discapacitados evitar obstáculos y realizar desplazamientos seguros.
- Implantación de sistemas de telerobots para el mantenimiento de líneas de distribución de energía eléctrica.
- Extinción de pequeños incendios ceseros.
- Fabricación de juguetes sofisticados y educativos.

Como aplicación especial, y posible campo de investigación, cabe destacar que los robots teleoperados son empleados en situaciones que implican peligro para los seres humanos; estos han sido usados en el seguimiento de la limpieza de incidentes como los ocurridos en las plantas nucleares de *Chernobyl* y *Three Mile Island*. Además, las fuerzas militares los emplean para recoger, probar o destruir bombas y explosivos contenidos en paquetes sospechosos.

Figura 1.3: El Roboscumb para la aspiración y limpieza de pisos.



autónomamente la tarea programada. manual que le indica la ruta establecida para la limpieza; posteriormente, el robot realiza su Norteamérica. Posee un sistema de detección tipo sonar y un control automático o limpieza de espacios grandes; éste ha sido tal vez el equipo de este tipo con mayor éxito. El *RoboKent* fue otro robot, fabricado por *Cleaning Equipments* en 1988, para labores de navegación autónomas.

incorporados transductores tipo sonar, infrarrojos, computadores y también algoritmos de presencia de obstáculos para no tropezar con ellos; como parte de sus características tiene equipo se programó para seguir un patrón a través del espacio por limpiar, percibiendo la produjo el *Roboscumb*, un robot que aspira y limpia pisos de grandes capacidades. El dedicada a comercializar robots móviles, la *Manning Mobile Robots y Windsor Industries*, sigue aprovechando el potencial de robots que aspiran y limpian. En 1991 una compañía Las primeras aplicaciones fueron en el campo de la limpieza; aún en el mercado actual se

## 1.2.1. Robots industriales

Algunos diseños de robots móviles desarrollados para fines específicos y que describen campos posibles de aplicación se describen a continuación [Wise, 1999]:

## 1.2. Algunos robots móviles en la historia

### 1.2.2. Seguridad

*Deming Mobile Robots* diseñó el *Deming Sentry* (Figura 1.4), destinado a ser un robot de seguridad. Mediante sensores de detección de intrusos este puede efectuar patrullas de manera infatigable en una instalación, bodega o simular. Cuando la alimentación se agota, el robot regresa automáticamente a su estación de carga y recarga sus baterías sin asistencia de ningún operador; el equipo incorpora un anillo de sonares para detección de obstáculos, sensores de movimiento de tipo infrarrojo y de microondas. También posee una cámara de TV, micrófono y transmisores inalámbricos para enviar la información a la estación de seguridad.

### 1.2.3. Hospitales

El *Helpmate* (Figura 1.5) es un robot enfermero fabricado por *Helpmate Robotics Inc.* Nace de la reducción de la efectividad de los enfermeros y otros trabajadores de hospitales debido al tiempo que pierden en labores incidentales y fue diseñado para aliviar el peso de tales tareas. Recorre los corredores de los hospitales combinando el sistema de navegación y la ubicación por sonar. Presionando un botón, el operario puede enviar el robot a determinado lugar del mapa y navegar de una estación programada a otra. El equipo incorpora sonares para evitar obstáculos y un sistema de triangulación por luz estroboscópica.



Figura 1.4: Robot de seguridad *Deming Sentry*.

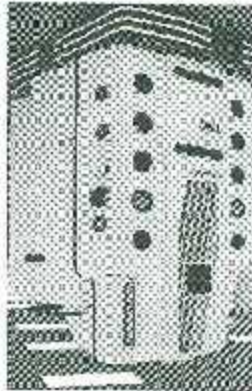
Figura 1.6: Robot *Sojonner* para investigación espacial.



La misión *Pathfinder*, orientada a la exploración de Marte en 1997, llevó el que se puede considerar el robot móvil autónomo de mayor éxito en la historia. El robot *Sojonner* (ver Figura 1.6) concentró la atención de millones de personas en su exploración del planeta rojo. Ejecutó fielmente los comandos enviados desde controladores en el laboratorio de Propulsión a chorro en California; también podía efectuar acciones por sí mismo, manteniéndose alerta de obstáculos y abismos. El equipo fue el resultado del desarrollo de varios prototipos previos y fue programado de acuerdo a los principios de control autónomo y de teleoperación.

#### 1.2.4. Investigación espacial

Figura 1.5: *Helpmate* o robot enfermero





### 1.2.5. Actividad militar

Otro de los robots más interesantes es el *Mitch* (ver Figura 1.7), diseñado con el propósito de remover las pequeñas bombas y granadas de la artillería antitanque que no explotan en el campo de batalla. La munición es soltada desde acorazados y se calcula que el 25% de ellas no explotan, lo que genera un grave problema. La tarea de remoción es perfecta para un robot; en la evaluación se demostró que estos pueden destruirse incluso de explosivos de artillería. El robot tuvo éxito en su navegación autónoma a un punto, en la búsqueda de munición en espiral y en su localización, levantamiento y transporte a un punto.

### 1.2.6. Sector educativo

La investigación y desarrollo de sistemas contribuye a la generación de conocimiento. Específicamente, los sistemas LEGO (Figura 1.8) han desarrollado la robótica en todo el mundo de la palabra; estos brindan información, elementos y partes que permiten crear cualquier sistema, constituyéndose en un apoyo educativo muy fuerte a partir de la utilización potencial del software, piezas mecánicas, sensores, sistemas de desarrollo y demás elementos necesarios para que el estudiante construya sus propios desarrollos asimilando el conocimiento requerido.

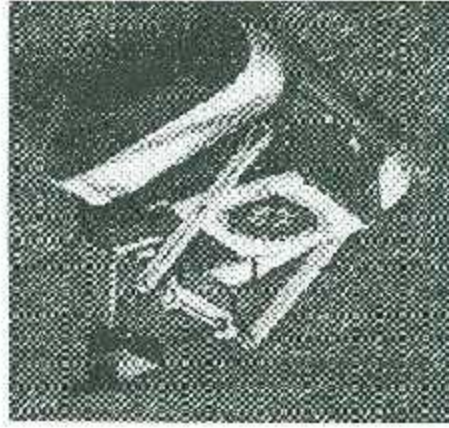


Figura 1.7: Robot *Mitch* de uso militar.

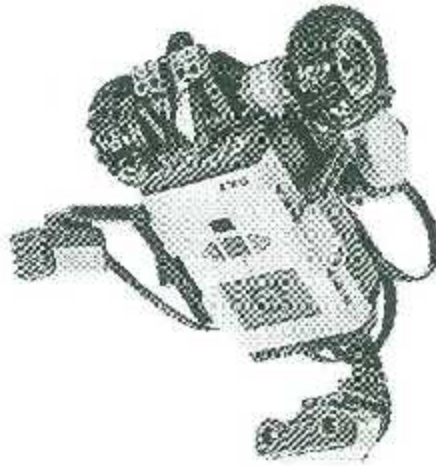
Figura 1.9: Robot tipo animal.



Algunos de los robots de juguete, y con forma animal, son desarrollados en la industria actual con la finalidad de entretenimiento; en la figura 1.9 se muestra un robot con la figura de un animal, en este caso un perro.

## 1.2.7. Juguete y biología electrónica

Figura 1.8: Sistemas LEGO.



## 1.2.8. Humanoides

El robot Honda P3 (ver figura 1.10) es posiblemente el más avanzado del mundo, al poder realizar tareas fáciles como subir escaleras. Su tipo es conocido como humanoide, debido a su aparente forma humana. Sin embargo, aunque pueda parecer que se ha obtenido un sistema completo, capaz de realizar una amplia gama de actividades, en verdad no es así. El diseño del robot y de su sistema sensorial inherente está orientado a conseguir una capacidad de desplazamiento elevada, pero los brazos han de ser controlados de forma remota. En él pueden distinguirse cuatro tipo de sensores: los táctiles, situados en las manos y en los pies, que le permiten controlar la fuerza de agarre de objetos o de pisadas; un sensor giroscópico en la cintura, para detectar y controlar los movimientos de las piernas; internamente, sin señalarse en la figura 1.10, dispone de un inclinómetro que le permite conocer la posición de su columna vertebral; además, una cámara localizada en su cabeza, que le permite desplazarse por el entorno mediante técnicas de visión.

La población de robots crece a pasos agigantados; muy pronto formarán parte indisoluble del paisaje tecnológico, pasando a dominar muchas de sus áreas de aplicación. Sólo en los Estados Unidos, el número de robots casi se cobló durante la pasada década y su presencia es cada día más importante en operaciones como la exploración espacial, la cirugía o la producción de servicios.

En 1985 integrar seres humanos y robots era casi un sueño. Ahora existe un área científica dedicada a la ergonomía de estos aparatos, orientada a facilitar la relación hombre-máquina. En diversos procesos de fabricación, agricultura y construcción, los robots se hallan ya plenamente integrados en la labor de los seres humanos.

1. Estudio del modelado de los robots móviles con ruedas omnidireccionales.
2. Establecer la comunicación inalámbrica entre el Roovi y una computadora personal a través de *LabVIEW*.
3. Desarrollo de la interfaz visual que permita visualizar y programar movimientos específicos al robot móvil.

### 1.3.2. Objetivos específicos

Desarrollar un programa informático basado en el paquete *LabVIEW* con el fin de que un robot móvil con ruedas omnidireccionales pueda ser simulado, observado y controlado desde una computadora.

### 1.3.1. Objetivo general

A continuación se describen los objetivos propuestos al inicio de esta tesis.

## 1.3. Objetivo de la tesis

Figura 1.10: Robot humanoide Honda P3.



A continuación se describe la estructura del presente documento de tesis, la cual está organizada en seis capítulos.

En el capítulo 2 se presentan conceptos preliminares sobre robots móviles y trabajos desarrollados referente a los mismos, estudiando el modelado general de robots móviles, control e interfaz visual desarrolladas. Asimismo se presenta formalmente el robot móvil Rovio.

En el capítulo 3 se presentan los diferentes tipos de modelado cinemático que se pueden emplear para este robot móvil, así como también sus limitaciones y restricciones cinemáticas para las ruedas que utiliza el robot Rovio.

En el capítulo 4 se presenta el protocolo de comunicación para la interacción del robot móvil con el programa *LabVIEW*, así como también el control elaborado sobre el Rovio, el cual nos permite la corrección de la fuente de la señal inalámbrica, describiéndose el algoritmo empleado para dicho funcionamiento.

En el capítulo 5 se muestra la interfaz visual desarrollada del programa informático, así como la descripción de cada una de sus funciones para la interacción completa del robot con el usuario.

En el capítulo 6 se destacan las conclusiones y se propone una serie de trabajos futuros para este robot móvil.

## 1.4. Estructura del documento

4. Estudio sobre el control de robots móviles con ruedas omnidireccionales.

## Capítulo 2

### Estado del arte

#### 2.1. Locomoción

Un robot móvil necesita mecanismos de locomoción que le permitan desplazarse sin límites a lo largo de su entorno. Existe una gran variedad de posibles formas de desplazarse, por lo que la selección del enfoque de un robot para la locomoción es un aspecto importante del diseño del robot móvil. Es posible encontrar robots de investigación que pueden caminar, saltar, correr, deslizarse, patinar, nadar, volar, y, por supuesto, rodar. La mayoría de estos mecanismos de locomoción se han inspirado en sus aspectos biológicos (figura 2.1) [Siegwart, 2004].

Por otro lado, es posible encontrar una excepción: la rueda de accionamiento activo es una invención humana que logra una eficiencia extraordinariamente alta en terreno plano. Este mecanismo no es completamente ajeno a los sistemas biológicos. El sistema bípedo se puede aproximar por un polígono continuo, con lados de longitud  $d$  igual al paso de la persona (figura 2.2). A medida que el tamaño de paso disminuye, el polígono se aproxima a un círculo o rueda.

Tipo de movimiento	Resistencia al movimiento	Movimiento aleatorio básico
Flujo en Canal	Fuerzas hidrodinámicas	Remolinos
Atrascamiento	Fuerzas de fricción	Vibración longitudinal
Deslizamiento	Fuerzas de fricción	Vibración transversal
Correr	Pérdida de energía cinética	Movimiento oscilatorio de un péndulo de múltiples articulaciones
Saltar	Pérdida de energía cinética	Movimiento oscilatorio de un péndulo de múltiples articulaciones
Caminar	Fuerzas gravitacionales	Polígono convexo

Figura 2.1: Mecanismos de locomoción usados en sistemas biológicos.

El éxito de los sistemas biológicos reside en el movimiento a través de una amplia variedad de ambientes hostiles. Por lo tanto, es deseable copiar e implementar los mecanismos de locomoción biológicos en los robots móviles. Sin embargo, replicar la naturaleza en este sentido es extremadamente difícil por varias razones. Para empezar, la complejidad estructural se consigue fácilmente en los sistemas biológicos debido a su naturaleza.

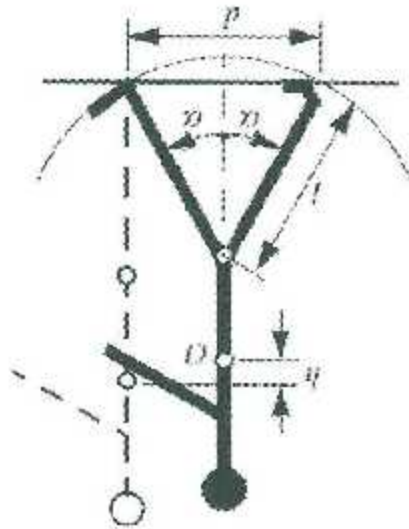
La división celular, en combinación con la especialización biológica, puede producir fácilmente un millón de miembros con varios cientos de piernas a la vez. Además, la célula es un bloque de construcción microscópica que permite la miniaturización extrema. En estructuras artificiales, cada parte debe ser fabricada de forma individual, por lo que se necesita una producción muy grande que conlleve a costos elevados de fabricación.

simples, son extremadamente adaptables al suelo plano. De mayor complejidad técnica de la locomoción de ruedas. Las ruedas, además de ser En general, la locomoción de piernas requiere un mayor grado de libertad y por lo tanto de los enfoques biológicos a la locomoción (ver figura 2.2).

Debido a estas limitaciones, los robots móviles en general se mueven, ya sea usando un mecanismo de ruedas o utilizando un pequeño número de piernas articuladas, el más simple con sistemas articulares hechos por el hombre.

fácilmente superan el par, el tiempo de respuesta y la velocidad de reacción en comparación y los sistemas de activación muscular, utilizados por los grandes animales y los insectos, empleadas por los humanos. Por último, el sistema de almacenamiento de energía biológica peso pequeño, que no hemos sido capaces de reproducir con las técnicas de fabricación Los insectos pueden alcanzar un nivel de robustez muy alto, a pesar de su tamaño y

Figura 2.2: El sistema bípedo se puede aproximar por un polígono continuo.





### 2.1.1. Puntos de interés sobre la locomoción

La locomoción es el cumplimiento de la manipulación. En la manipulación el brazo robótico es fijo, pero puede mover objetos en el espacio de trabajo aplicando fuerza sobre estos. En la locomoción el ambiente es fijo y el robot se mueve; en el medio ambiente, impartiendo fuerza en sus ruedas. En ambos casos la base científica es el estudio de los actuadores que generan fuerzas de interacción y mecanismos que implementan las propiedades cinemáticas y dinámicas deseadas. Locomoción y manipulación por lo tanto comparten los mismos temas de interés de estabilidad, características de contacto y de tipo ambiental. A continuación se mencionan a que se refieren cada uno de los puntos de interés:

#### Estabilidad

- El número y la geometría de puntos de contacto
- Centro de gravedad
- Estabilidad estática/dinámica
- Inclinación de terreno

#### Características de contactos

- Punto de contacto/tamaño y forma de la ruta
- Ángulo de contacto
- La fricción

#### Tipo de ambiente

- Estructura
- Medio (Por ejemplo: agua, aire, suelo blando o duro)

## 2.2. Robots móviles con ruedas

La rueda ha sido el mecanismo de movimiento más popular en la robótica móvil y en vehículos hechos por el hombre en general. Además el balance de las ruedas no es usualmente un problema en el diseño de robots móviles, porque los robots móviles con llantas son casi siempre diseñados para que las llantas siempre tengan contacto con el piso todo el tiempo. Por lo tanto, tres llantas son suficientes para garantizar un balance estable, sin embargo, también algunos robots móviles con dos llantas también pueden ser estables. Cuando más de tres llantas son usadas, regularmente un sistema de suspensión es requerido para permitir que todas las llantas mantengan contacto con el piso cuando el robot se encuentra en un terreno irregular. En vez de ocuparnos del balance de las llantas, los estudios de robots móviles tienden a enfocarse en el problema de tracción y estabilidad, maniobrabilidad y control.

Distinguiremos entre dos clases básicas de ruedas ideales, llamadas ruedas convencionales y las ruedas suecas [Canudas, 1996].

Dentro de las ruedas convencionales se encuentran la rueda fija, la rueda direccional u orientable y la rueda tipo castor. Por otra parte, las ruedas suecas a  $45^\circ$  y  $90^\circ$  así como la rueda esférica son de tipo omnidireccional.

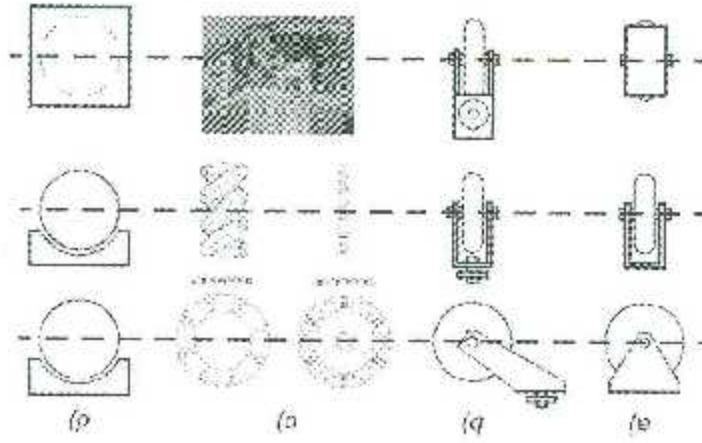


Figura 2.3: Tipos de ruedas: a) Direccional, b) Castor, c) Sueca, y d) Esférica.

La figura 2.3 muestra cuatro tipos de ruedas, sin mostrar la rueda fija [Siegwart, 2004].

*Rueda fija o estándar:* Tiene su eje de rotación principal fijo, su orientación está predefinida y es inalterable.

*Rueda orientable o direccional:* Al igual que la rueda fija, solo puede rotar sobre su eje principal, pero su orientación es manipulable sobre un eje vertical que corta al eje de rotación.

*Rueda anastor:* Al igual que la rueda fija, tiene su eje de rotación fijo, pero a diferencia de esta, está dotada de un mecanismo que obliga a girar sobre un eje fuera del centro de la rueda, lo que somete al chasis del robot a una fuerza durante el cambio de dirección.

*Rueda sueca:* Funciona como una rueda fija pero provee poca resistencia al movimiento en cualquier dirección al estar dotada de rodillos que ayudan al movimiento de esta dirección secundaria.

*Rueda esférica:* El diseño más común es el de una esfera con dos actuadores encargados de dar omnidireccionalidad al giro de ésta. Una analogía de una rueda esférica suele ser el del mecanismo mecánico de un ratón de computadora.

### 2.2.1. Diseño de la rueda

Hay cuatro clases principales de la rueda, como se muestra en la figura 2.3. Estas difieren ampliamente en su cinemática y por lo tanto la elección del tipo de rueda tiene un gran efecto sobre la cinemática general del robot móvil. La rueda estándar y la rueda castor tienen un eje principal de rotación y son por lo tanto altamente direccionables. Para mover en una dirección diferente, la rueda debe ser conducida primero a lo largo de un eje vertical. La diferencia principal entre estas dos ruedas es que la rueda estándar puede lograr este movimiento de dirección sin efectos secundarios debido a que el centro de rotación pasa a través de la superficie de contacto con el suelo, mientras que la rueda castor gira alrededor de un eje de desplazamiento haciendo que una fuerza se impartiera al chasis del robot durante la dirección.

La rueda sueca y la rueda esférica son diseñadas de tal manera que están menos limitadas en direccionalidad con respecto a la rueda convencional. La rueda sueca funciona como una rueda normal, pero ofrece baja resistencia en otra dirección, a veces perpendicular a la dirección convencional, como en la rueda sueca de  $90^\circ$ , y a veces a un ángulo intermedio, como en la rueda sueca a  $45^\circ$ . Los rodillos pequeños están alrededor de la circunferencia de la rueda son pasivos y el eje principal de la rueda sirve como la única articulación activa. La principal ventaja de este diseño es que, aunque la rotación de la rueda es accionada solo a lo largo el eje principal (a través del eje), la rueda puede moverse cinemáticamente con muy poca fricción a lo largo de muchas trayectorias posibles, no sólo hacia adelante y hacia atrás. La rueda esférica es verdaderamente omnidireccional, continuamente desviada de forma que pueda ser accionada activamente para girar a lo largo de cualquier dirección. Uno de los mecanismos para la implementación de este diseño limita el rango de la computadora, proporcionando rodillos accionados activamente que desactúan contra la superficie superior de la esfera e imparten fuerza de rotación.

Independientemente de la rueda que se utilice, en robots diseñados para entornos de todo terreno y en robots con más de tres ruedas, un sistema de suspensión es normalmente requerido para que se mantenga el contacto de la rueda con el suelo. Uno de los enfoques más simples de la suspensión es brindarle flexibilidad a la propia rueda. Por ejemplo, en el caso de algunos robots de cuatro ruedas desviados para interiores, que usan ruedas suecas, los fabricantes han aplicado un neumático de caucho blando deformable a la rueda para crear una suspensión primitiva. Por supuesto, esta solución limitada no puede competir con un sofisticado sistema de suspensión en las que el robot necesita una suspensión más dinámica para terrenos significativamente discontinuos.

## 2.2.2. Geometría de la rueda

La elección de los tipos de ruedas para un robot móvil está fuertemente ligada a la elección del arreglo o de la geometría de la rueda. El diseñador del robot móvil debe tener en cuenta simultáneamente estas dos cuestiones a la hora de diseñar el mecanismo de locomoción de

un robot con ruedas? Por qué el tipo de rueda y la geometría de la rueda importan? Por tres características fundamentales que gobiernan a un robot: Maniobrabilidad, controlabilidad y estabilidad.

A diferencia de los automóviles, que están diseñados en gran parte para un entorno altamente estandarizado (la red de carreteras), los robots móviles están diseñados para aplicaciones en una amplia variedad de situaciones. Todos los automóviles comparten configuraciones de ruedas similares porque hay una región en el espacio de diseño que maximiza la maniobrabilidad, controlabilidad y la estabilidad de su ambiente estándar. La carretera pavimentada. Sin embargo, no hay ninguna configuración de rueda simple que maximiza estas cualidades para una variedad de ambientes a los que se pueden enfrentar los diferentes robots móviles. Es por ello que se observa una gran variedad de configuraciones de ruedas de robots móviles. De hecho, pocos robots usan la configuración de la rueda Ackerman debido a su pobre maniobrabilidad.

La figura 2.4 proporciona una visión general de configuraciones de ruedas. Esta figura muestra tanto la selección de tipos de rueda en particular y su configuración geométrica en el chasis del robot. Algunas de las configuraciones que se muestran son de poca utilidad en aplicaciones de los robots móviles. Por ejemplo, la disposición de dos ruedas de la bicicleta tiene moderada maniobrabilidad y pobre controlabilidad. Sin embargo, esta figura proporciona solo un indicativo de la gran variedad de configuraciones que son posibles en el diseño del robot móvil.

El número de variaciones en la figura 2.4 es limitada. Sin embargo, hay tendencias importantes y agrupaciones que pueden ayudar en la comprensión de las ventajas y desventajas de cada configuración. A continuación se identifican algunas de las ventajas y desventajas de clave en términos de las tres cuestiones: La estabilidad, maniobrabilidad y capacidad de control.



Figura 2.4: Configuraciones cinemáticas más comunes de los robots móviles.

### 2.2.3. Estabilidad

Sorprendentemente, el número mínimo de ruedas necesarias para la estabilidad estática es de dos. Un robot de dos ruedas con accionamiento diferencial puede lograr la estabilidad estática si el centro de masa está por debajo del eje de la rueda. Cye es un robot móvil comercial que utiliza esta configuración de ruedas (figure 2.5). Sin embargo, en circunstancias normales dicha solución requiere cilindros de rueda que son demasiado grandes. La dinámica también puede causar que un robot de dos ruedas toque el suelo con un tercer punto de contacto, por ejemplo, con pares de motor suficientemente altos desde un punto muerto. Convencionalmente, la estabilidad estática requiere un mínimo de tres ruedas con la adicional advertencia de que el centro de gravedad debe estar contenido dentro del triángulo formado por los puntos de contacto del suelo con las ruedas. La estabilidad puede mejorarse aún más mediante la adición de más ruedas, aunque una vez que el número de puntos de contacto es superior a tres, la naturaleza de la geometría de la rueda requerirá alguna forma de suspensión flexible en un terreno irregular.

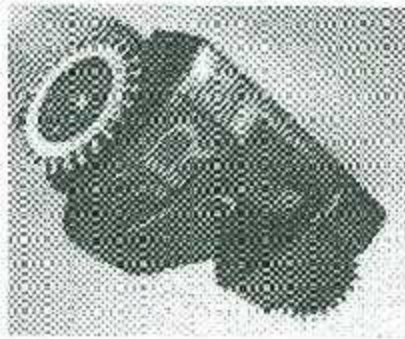


Figura 2.5: Robot Eye.

## 2.2.4. Maniobrabilidad

Algunos robots son omnidireccionales, lo que significa que pueden moverse en cualquier momento a lo largo del plano  $(x,y)$  y en cualquier dirección, independientemente de la orientación del robot, alrededor de su eje vertical. Este nivel de maniobrabilidad requiere ruedas que puedan moverse en más de una de dirección, por eso los robots omnidireccionales suelen emplear ruedas sueltas o esféricas. Un buen ejemplo es el robot móvil Rovio empleado en esta tesis (figura 2.6). Este robot utiliza tres ruedas sueltas que giran y se mueven hacia cualquier dirección.

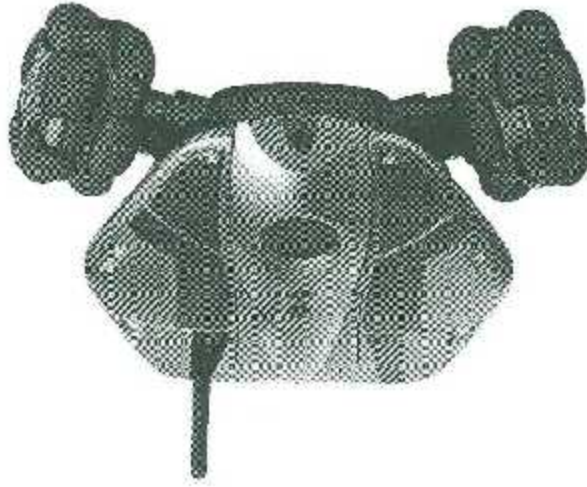


Figura 2.6: Robot móvil Rovio.

En contraste con las configuraciones anteriores, considere la configuración de dirección Ackerman común en los automóviles. Tal vehículo tiene típicamente un diámetro de giro que es mayor que la longitud del coche. Por otra parte, por ejemplo, un vehículo para moverse de lado requiere una maniobra de estacionamiento que consiste de repetidos cambios en la dirección hacia adelante y hacia atrás. Sin embargo, la configuración de dirección Ackerman ha sido especialmente popular en el mercado de la robótica, donde un robot se puede construir partiendo de un kit de coche de carreras a control remoto, agregando sensores y autonomía para el mecanismo existente. Además, la limitada capacidad de maniobra de dirección Ackerman tiene una ventaja importante: su direccionalidad y la geometría de dirección proporcionan muy buena estabilidad lateral en curvas a una alta velocidad.

En la comunidad de investigación, otras clases de robots móviles son muy populares lo- grande alta maniobrabilidad, sólo ligeramente inferior a la de las configuraciones omni- direccionales. En tales robots, el movimiento en una dirección particular puede requerir inicialmente un movimiento de rotación. Con un chasis circular y un eje de rotación en el centro del robot, un robot de este tipo puede girar sin cambiar su huella en el suelo. El más popular es el robot de dos ruedas de tracción diferencial, en la que las dos ruedas giran alrededor del punto central del robot. Uno o dos puntos de contacto de tierra adicionales pueden ser utilizados para la estabilidad, basado en las aplicaciones específicas.

En general, la tolerancia del terreno del robot con ruedas sucas y esféricas es algo limitado debido a las restricciones mecánicas de la construcción de ruedas omni- direccionales. Una solución interesante al problema de la navegación omnidireccional, mientras se descarta la solución de este problema de la tolerancia del terreno del suelo, es la configuración de cuatro ruedas sucas, en la que cada rueda es direccionada. En esta configuración, el robot es verdaderamente omnidireccional, ya que, incluso si las ruedas giratorias se enfrentan a una dirección perpendicular a la dirección de desplazamiento deseada, el robot puede todavía moverse en la dirección deseada por la dirección de esas ruedas. Debido a que el eje vertical está desplazado de la trayectoria de contacto con el suelo, el resultado de este movimiento de dirección es el movimiento del robot.



## 2.2.5. Controlabilidad

En general, existe una correlación inversa entre la controlabilidad y maniobrabilidad. Por ejemplo, los diseños omnidireccionales tales como la configuración de cuatro ruedas tipo caster requieren un procesamiento significativo para convertir velocidades deseadas de rotación y traslación a cada una de las ruedas individualmente. Tales diseños omnidireccionales a menudo tienen mayores grados de libertad en la rueda. Por ejemplo, la rueda sueca tiene un conjunto de rodillos libres a lo largo del perímetro de la rueda. Estos grados de libertad causan una acumulación de deslizamiento, tienden a reducir la precisión de estimación y aumentar la complejidad del diseño.

Controlar un robot omnidireccional para una dirección específica es también más difícil y a menudo menos precisa en comparación con diseños menos maniobrables. Por ejemplo, una configuración tipo Ackerman puede ir directamente hacia adelante, simplemente mediante el bloqueo de las ruedas de dirección y conducción de las ruedas motrices. En un vehículo de tracción diferencial, los dos motores acoplados a las dos ruedas deben ser conducidos exactamente a lo largo del mismo perfil de velocidad, lo que puede ser un reto cuando en cuenta las variaciones entre las ruedas, motores y las diferencias ambientales. Con las cuatro ruedas omnidireccionales el problema es aún más difícil debido a que las cuatro ruedas deben ser impulsadas exactamente a la misma velocidad, a lo largo de la trayectoria del robot, en una línea recta perfecta.

En resumen, no hay ninguna configuración de la unidad ideal que maximice al mismo tiempo la estabilidad, maniobrabilidad y la controlabilidad. Cada aplicación del robot móvil coloca únicas restricciones sobre el problema de diseño de robot, por lo que la tarea del diseñador consiste en elegir la configuración de la unidades más apropiadas posibles entre su espacio de trabajo:

### 2.3. Robot móvil Seekur

El robot móvil Seekur es un robot móvil omnidireccional, no holonómico o pseudonmidireccional. Esta denominación es para los robots móviles de cuatro ruedas direccionables con orientación y tracción independientes [Sáenz, 2013].

Un robot móvil omnidireccional que posee ruedas suecas o de castor es capaz de cambiar su sentido de avance en cualquier dirección manteniendo la orientación del robot sin necesidad de reacomodar sus ruedas, logrando un cambio de dirección en su desplazamiento en un tiempo cero. Los robots omnidireccionales no holonómicos también pueden cambiar el sentido de avance en cualquier dirección sin modificar la orientación del robot pero es necesario cambiar la orientación de las ruedas. Al hacer esta reorientación de ruedas es necesario esperar a que el robot tome una nueva postura, lo que le impide hacer el cambio de movimiento instantáneamente. Los robots móviles pseudo-omnidireccionales presentan ciertas ventajas sobre los robots móviles omnidireccionales y son porque el modelo cinemático es más simple y en todo momento se conoce el punto de contacto de la rueda con el piso.

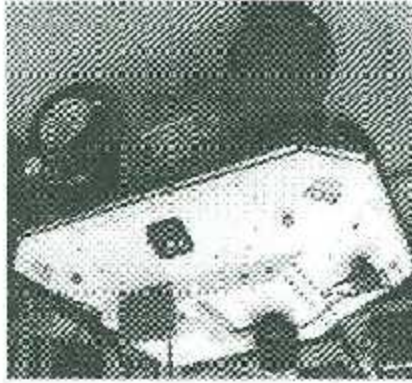


Figura 2.7: Robot móvil Seekur.

### 2.3.1. Modelo cinemático del robot

Actualmente el robot Seekur presenta, de fábrica, un control omnidireccional el cual recibe como señales de entrada velocidades deseadas y éste calcula los ángulos de orientación de cada una de las ruedas, así como la velocidad de cada una de ellas. Este control se encarga de generar los torques necesarios para orientar cada una de las ruedas hacia un ICR (por sus siglas en inglés Centro de Rotación Instantáneo), como se muestra en la figura 2-8, y hacerlas girar a la velocidad necesaria de acuerdo a las consignas ingresadas. Cada rueda es de tracción independiente y el giro de orientación es de  $360^\circ$ . Al no tener restricciones en el mecanismo de orientación, el ICR puede ser colocado en cualquier parte del plano lo que le permite al robot tener un movimiento omnidireccional.

La posición del robot se describe a través del vector

$$\xi = [x \ y \ \theta]^T \quad (2.1)$$

donde  $x$  y  $y$  son las coordenadas en el plano y  $\theta$  es la orientación, siendo estas variables medidas respecto al marco inercial  $G$ , como se muestra en la figura 2-9.

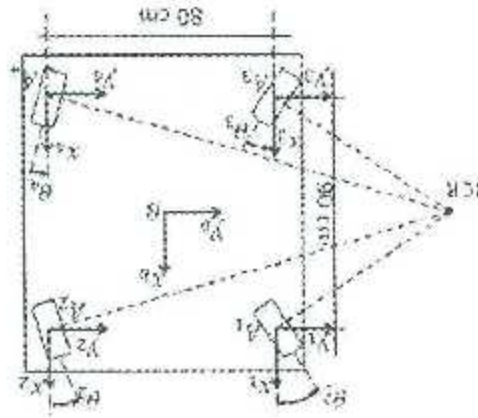
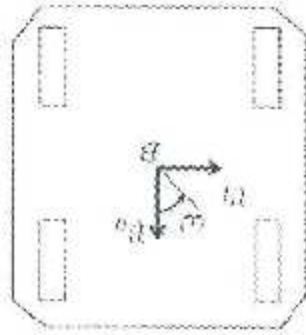


Figura 2-8: Orientación de las ruedas respecto a un ICR.

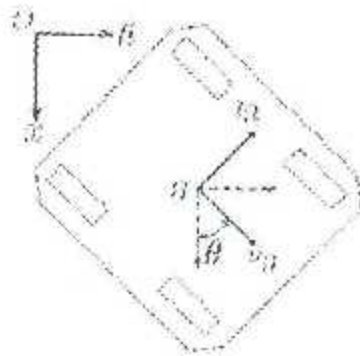
Figura 2.10: Velocidades del Robot Seekur.



$$\xi = \begin{bmatrix} \theta \\ \dot{y} \\ \dot{x} \end{bmatrix} = R^B \xi_B \quad (2.2)$$

Las señales de entrada para el robot son:  $V_a$  para la velocidad lineal de avance en [mm/s],  $V_l$  para la velocidad lineal lateral en [mm/s] y  $\omega$  para la velocidad rotacional en [grados/s] respecto al marco móvil del robot B. Estas velocidades se muestran en la figura 2.10 y su relación matemática en las ecuaciones (2.2) y (2.3), donde  $R^B$  es la matriz de rotación que indica la orientación del marco B respecto al marco G y  $\xi_B$  es el vector de velocidades.

Figura 2.9: Diagrama de cuerpo libre.



## 2.4. RoboRealm

Una interfaz visual amigable con robots móviles es el *software* llamado *RoboRealm*, el cual es una aplicación para uso en visión por computadora, análisis de imagen y sistemas de visión en robótica. *RoboRealm* es un *software* que se puede descargar a través de Internet de forma gratuita por unos días. Usando un punto y un simple clic, *RoboRealm* simplifica la programación de visión. Se puede usar una cámara web USB de bajo costo y una computadora para agregar visión artificial en proyectos robóticos.

La imagen y/o procesamiento de video pueden ser técnicamente difíciles. Los robots se están moviendo continuamente hacia sistemas basados en PC (computadora portátil, net-book, etc.) que tienen el poder para apoyar las funciones de procesamiento de imágenes complejas. *RoboRealm* proporciona el *software* necesario para conseguir un sistema integral con buen funcionamiento. El *software* recopila muchas de las funciones de procesamiento de imágenes en un formato fácil de usar, ventanas de aplicaciones que se puede utilizar con una cámara web, sintonizador de TV, cámara IP, etc. *RoboRealm* sirve para apreciar el entorno del robot, el proceso de la imagen adquirida, analizar lo que tiene que hacer y enviar las señales necesarias a los motores del robot, servos, etc.

Por ejemplo, se puede utilizar *RoboRealm* para rastrear objetos de colores, navegar con evasión de obstáculos, entre otras aplicaciones.

### 2.4.1. RoboRealm y Rovio

En la figura 2.11 se observa un ejemplo de configuración del programa, específicamente con un robot móvil omnidireccional llamado Rovio.

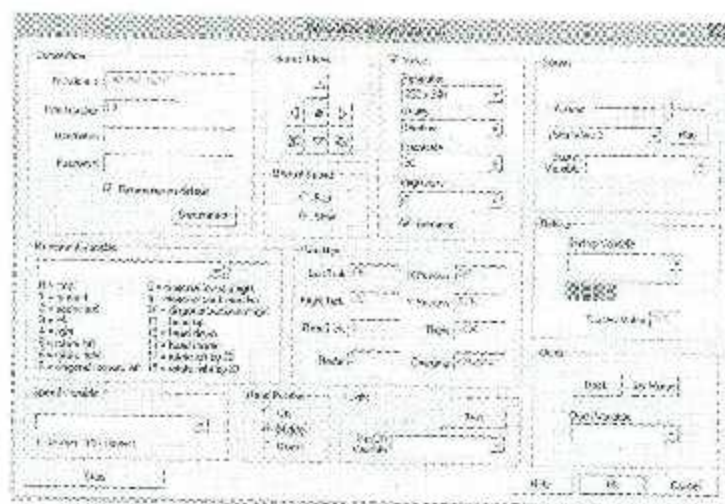


Figura 2.11: Configuración del Rovio en *RoboRealm*.

El *software* es compatible con varios robots del mercado para realizar proyectos de manera sencilla y ahorrar tiempo al momento de la comunicación y diseño de la interfaz visual (*instant saving app*). El robot móvil Rovio cuenta con una cámara web cuyas imágenes captadas por la misma se verán reflejadas a través del programa *RoboRealm* (ver figura 2.12). En este ejemplo se realizó una aplicación sencilla de evasión de obstáculos con código en *visual basic* utilizando la interfaz *RoboRealm*.

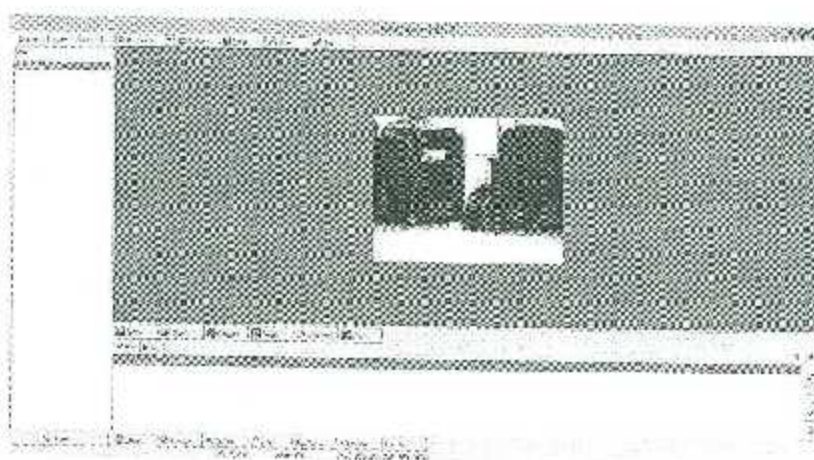


Figura 2.12: Interfaz y cámara web del Rovio.

## 2.5. Robot móvil Rovio

Rovio es un robot móvil creado por la empresa WowWee que consta de tres ruedas omnidireccionales, lo que hace que tenga la capacidad de moverse hacia cualquier dirección. Fue creado con la intención de estar monitoreando las actividades en el hogar desde la oficina o desde cualquier parte en que se encuentre, siempre y cuando se tenga acceso a internet, ya que el programa del fabricante es una plataforma realizada en internet.

Entre las características más importantes se tienen las siguientes:

- Puede utilizarse desde cualquier parte del mundo con una conexión a Internet. Se puede utilizar cualquier dispositivo habilitado para la web: PC o Mac, teléfono móvil, smartphone, PDA o incluso su consola de juegos de video.
- Rovio detecta la configuración del equipo y consta de una guía a través del proceso de configuración.
- Su cámara movable, montada en la cabeza del robot, y la amplia gama de visión permite visualizar y escuchar, en el programa, exactamente lo que capta Rovio.
- Es posible establecer puntos de referencia para que Rovio pueda navegar dentro de su casa sin tener que controlar cada paso del robot.
- Con el clic de un botón se puede enviar al robot Rovio de vuelta a la estación de carga, usando sus capacidades de autoconexión, incluso cuando el robot tiene poco nivel de batería se regresa solo hacia la estación de carga.
- Puede guiar al robot Rovio a través de lugares con poca luz gracias a su base de faros LED.

### 2.5.1. Partes del Rovio

El Rovio cuenta con los siguientes accesorios (figuras 2.13-2.15):