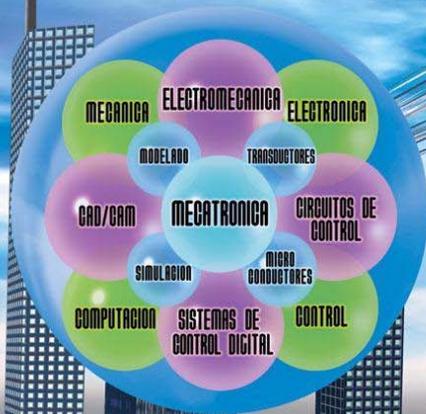


# 6º Congreso Nacional de MECATRÓNICA

DESARROLLO SUSTENTABLE Y TRANSPORTE

Noviembre 2007  
Días 8, 9 y 10  
San Luis Potosí



ASOCIACIÓN MEXICANA DE  
MECATRÓNICA A.C.



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE SAN LUIS POTOSÍ

INFORMES: <http://www.mecamex.net/congreso>

# Robot Móvil Todo Terreno

Ortiz Sánchez-Navarro David Alfredo., Méndez-Canseco Mauricio Cirilo  
y Vargas-Soto José Emilio

Facultad de Ingeniería, Universidad Anáhuac México Sur

## Resumen

*En este trabajo se describe una metodología mecatrónica utilizada para desarrollar un robot móvil todo terreno. Se utiliza dicho vehículo como una herramienta para enseñar y aprender sobre la ingeniería mecatrónica y la robótica. Se propone una metodología de diseño como medio para integrar y formar la visión que un líder de proyectos debe mostrar. El modelo cinemático del comportamiento del robot es analizado mediante Cuaterniones, y simulado con Mathematica®. El sistema de control se basa en la estructura pasiva que muestra la locomoción del robot móvil, donde la estructura se adapta a las diferentes formas que presenta el terreno por donde se desplaza el robot. El trabajo describe los componentes del sistema de control y del análisis del mecanismo que sostienen las ruedas del robot.*

Palabras clave: robot móvil, metodología, mecatrónica.

## 1. Introducción

Una innovación reciente en los conceptos de enseñanza –aprendizaje en la robótica se refiere a la realización de robots para facilitar el trabajo académico. Tradicionalmente, los conceptos de la robótica han sido estudiados por los libros y analizado de manera teórica, en algunos casos las actividades prácticas en laboratorio permiten entender y aplicar esos conceptos. Los elementos para conseguir una excelencia académica son muchos y se salen del contexto de este trabajo, no obstante una manera para facilitar la formación integral en ingeniería mecatrónica es utilizar una metodología que muestre las etapas del diseño, la modelación, la simulación, la fabricación, el control y la puesta en marcha de un prototipo de robot, como parte esencial de un proyecto de investigación.

Un robot móvil presenta buenos elementos para facilitar la integración de estudiantes en equipos y potenciar el desarrollo de capacidades de un líder de

proyecto. Hay diversos tipos de robot móviles, algunos con piernas, otros con orugas o ruedas, o una combinación híbrida de estos elementos. Estas clases de robot se utilizan para moverse en diversos tipos de ambiente, y no están fijos en un lugar. Hay diversas clasificaciones para los robots móviles. Algunos de ellos consideran el sistema de control o el ambiente donde los robots realizan sus tareas. Por lo que no es difícil encontrar robots móviles realizando diferentes tareas, como por ejemplo: en ambientes industriales, militares y de entretenimiento.

## 2. Descripción del robot móvil

Se seleccionó realizar un robot móvil por ser una máquina que presenta excelentes características para potenciar desarrollar habilidades de diseño, manufactura e ingeniería de control. Así mismo, el diseño seleccionado permite lograr una experiencia sobre la estabilidad pasiva en los robots móviles. El robot móvil todo terreno tiene como objetivo la exploración de entornos desconocidos y lugares con ambientes hostiles, peligrosos y poco accesibles para el ser humano. Como capacidades alternas se pueden considerar el transporte de materiales peligrosos, la obtención de información acerca del entorno y tareas de rescate.

El robot tiene seis ruedas, todas están acopladas a motores con reductor integrado. Las cuatro ruedas intermedias componen un sistema de suspensión tipo paralelo que da soporte al cuerpo del robot, las ruedas trasera y delantera giran para dar facilitar que el robot de vuelta y la rueda delantera se encuentra montada en un mecanismo flexible que permite levantarse y evadir obstáculos de dos veces el tamaño de la rueda.

Para alimentar los motores y el circuito de control se utiliza una batería de Li-Po recargable de 14.8V y 1320mAh. Esta tecnología de baterías es la mejor en cuanto a la relación peso/capacidad y se encuentran comercialmente.

El robot esta construido de perfiles de aluminio, nylamid, acero y bronce, intentando hacerlo lo mas ligero y robusto posible.

## 2. Metodología

Como parte del conocimiento necesario para administrar las actividades asociadas al desarrollo del robot móvil, se aplicó una metodología a fin de lograr reducciones de tiempo del proyecto y facilitar la interacción entre los participantes del trabajo. El método utilizado se ha aplicado anteriormente para desarrollar las máquinas industriales, y algunos proyectos de investigación [1], [2], [3]. Sin embargo, por la naturaleza de los proyectos industriales, estos presentan características diferentes a proyectos académicos, principalmente en tiempo y aplicación. El proyecto industrial requiere una interacción rápida y dinámica orientada para reducir el tiempo del proyecto y para conseguir resultados inmediatos. La Fig. 1 demuestra un concepto del mapa del método utilizado. Una vez conceptualizado el diseño del robot móvil, en este proyecto se organizaron tres equipos de trabajo: a) Equipo del diseño y fabricación b), Equipo de control y c) Equipo de la pruebas. El método consiste primero en determinar las ecuaciones de la física que modelan el comportamiento cinemática de estructura del robot, a fin de evaluar la disposición y sus dimensiones.

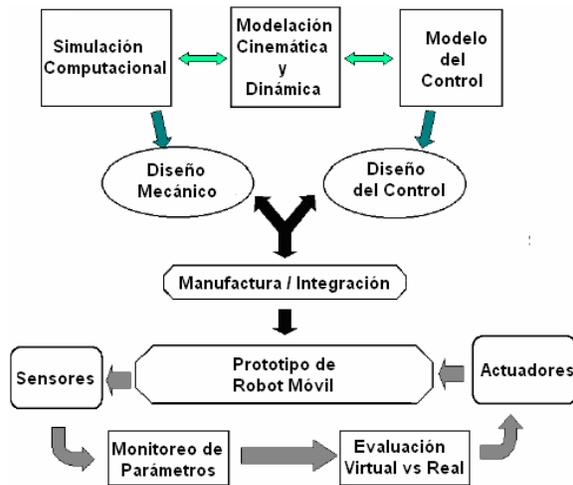


Fig. 1. Mapa conceptual de la metodología.

El modelo de la cinemática una vez obtenido, pasa a ser evaluado en simulación a fin de asegurar su definición. De esta forma se evalúan los parámetros cinemáticos y las dimensiones del robot mediante simulación computacional. De esta forma se determinó el tipo de mecanismo soporte de las ruedas, las dimensiones de ruedas y del cuerpo del robot. El paso siguiente de esta metodología consiste para en diseñar y construir los sistemas que componen al robot. En esta parte, por lo general, es

posible también realizar el diseño del control. Durante la fabricación y ensamble se determinó la necesidad de efectuar algunos cambios en los diseños iniciales, por lo que se modificaron algunos parámetros y dimensiones de los componentes del robot. Principalmente, los cambios estuvieron relacionados con las características de los materiales utilizados. Se recomienda, para mejorar los modelos físicos, analizar dichos cambios mediante simulación computacional con programas especializados. Así mismo, es importante mencionar que cambios en el sistema de control fueron realizados como resultado de la integración de los sistemas del robot. Las nuevas modificaciones fueron puestas en ejecución para asegurar el correcto funcionamiento de los sistemas ya ensamblados. Una vez lograda la primera versión del prototipo de robot el paso siguiente de la metodología consiste en evaluar el comportamiento real del robot y comparar su funcionamiento con los modelos matemáticos. Esta última tarea tiene como finalidad modificar y mejorar los modelos usados para diseñar el robot y de esta forma conseguir un mejor entendimiento del comportamiento real que presentan este tipo de máquinas.

## 3. EL Sistema de Control

El control del robot esta dividido en dos partes: un circuito que controla el giro de dos servomotores para dar vuelta y un circuito que controla la velocidad de las ruedas divididas en tres pares.

Para ajustar la posición angular de los servomotores es necesario generar un pulso que varía en su ancho desde 1ms hasta 2ms, siendo linealmente proporcional el ancho a la posición angular del eje de movimiento del servomotor. El pulso de control de los servomotores es generado por un microcontrolador y el ancho depende de la posición angular de las ruedas delantera y trasera que están relacionadas con la velocidad de giro de las ruedas. El pulso de control generado por el microcontrolador se tiene que repetir cada 20ms para cada uno de los servomotores, esto permite que el servo guarde su posición y corrija cualquier error generado por agentes externos.

Para controlar la velocidad y el sentido de giro de las ruedas se utilizan tres circuitos tipo H con mosfets y tres señales PWM de 5KHz para lograr la máxima eficiencia. El circuito permite que los motores giren en ambos sentidos con velocidad variable y tienen freno electrónico.

El robot se maneja de manera remota con un radio de 2.4GHz. Se utilizan comandos seriales para controlar la velocidad y la dirección y es posible

ampliar los comandos si es necesario controlar algún otro tipo de equipo electrónico, GPS, o enviar imágenes desde una cámara. Toda la información recibida del radio, el control de los servomotores y la velocidad son controlados por un microcontrolador programado en lenguaje 'C'.

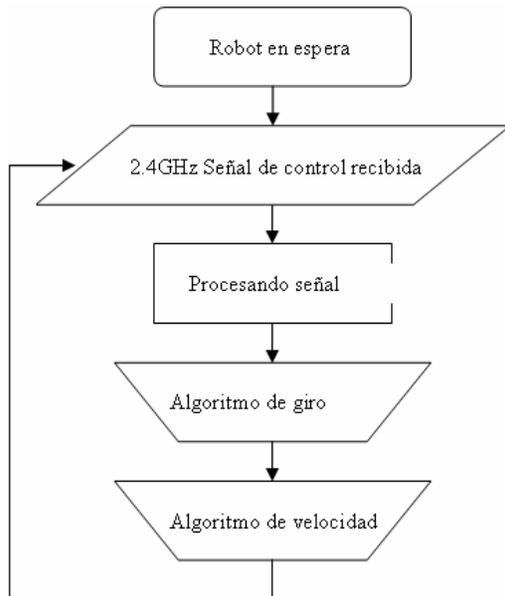


Fig. 2. Diagrama de flujo del sistema de control

#### 4. Análisis de configuración del robot explorador

El sistema mecánico del robot explorador se puede considerar en cuatro subsistemas. La primera compuesta por el subsistema rueda trasera-chasis. La segunda y tercera por el conjunto de ruedas que pivotan en los costados y la cuarta por el subsistema rueda delantera.

Como se puede apreciar en la figura el primer subsistema se reduce a considerar que gira respecto a la rueda trasera. Las configuraciones que pueden adoptar los subsistemas segundo y tercero se pueden calcular el sistema de cuatro barras mostrado en la figura. El cuarto subsistema también se analiza como un sistema de cuatro barras.

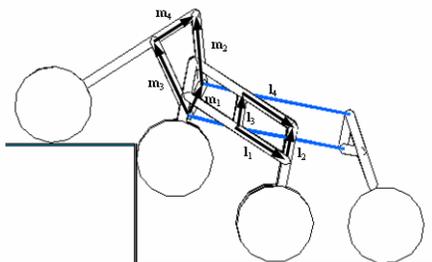


Fig.3. Análisis de la configuración del mecanismo

En la siguiente figura se muestran las relaciones que hay que considerar para obtener la configuración del robot de acuerdo a las condiciones del suelo.

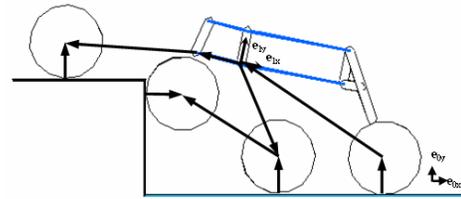


Fig.4. Análisis geométrico de los vectores del mecanismo

Los cálculos se realizaron utilizando la plataforma Mathematica® y utilizando funciones programadas para obtener los vectores que representan a mis subsistemas. Estas funciones permiten definir la relación de movimiento de los vectores de acuerdo a su restricción de movimiento y se utilizó el álgebra de cuaternios para implementar dichas restricciones.

El código que se muestra a continuación es la forma de definir el sistema de cuatro barras que define el comportamiento de los subsistemas segundo y tercero. El resultado final es la suma de los vectores que están restringidos a girar en el plano x-y.

```

In[1]:=
  Get["Rob"]

In[1904]:= ClearAll[posicion,P,Q,R,ttheta,Alpha,bbeta]

LL1={174/2, 0, 0}; LL2={0, 0, 51.33};
LL3={0, 0, 51.33}; LL4={174/2, 0, 0};

P={Cos[ttheta/2],0,Sin[ttheta/2],0};
Q={Cos[Alpha/2],0,Sin[Alpha/2],0};
R={Cos[bbeta/2],0,Sin[bbeta/2],0};

eslabon1= Rota[[P],LL1];
eslabon2= Rota[[Q],LL2];
eslabon4= Rota[[R],LL4];

posicion=Simplify[eslabon1+eslabon2-LL3-eslabon4]/Chop

Out[1913]=
{-87. Cos[bbeta] +
 87. Cos[ttheta] + 51.33 Sin[Alpha],
 0, -51.33 + 51.33 Cos[Alpha] +
 87. Sin[bbeta] - 87. Sin[ttheta]}
    
```

Fig 5. Código en Mathematica® de la cinemática del mecanismo

Este sistema se iguala a cero y se resuelve para obtener las posibles configuraciones del subsistema.

```

kinP={{0,-0.8,0}};cont=0;
Table[
  cont=1+cont;
  inic1={Alpha,kinP[[cont,1]]};
  inic2={bbeta,kinP[[cont,2]]};
  solucio1=FindRoot[{posicion[[1]]==0,posicion[[3]]==0},
  {Alpha,kinP[[cont,1]]},{bbeta,kinP[[cont,2]]},MaxIterations->70];
  AppendTo[kinP,{Alpha,bbeta,ttheta}/.solucio1];
  {ttheta,-7Pi/20, 7Pi/20, 2 Pi/(36*8)}];
    
```

Fig.6. Código en Mathematica® para resolver la cinemática del mecanismo de cuatro eslabones

De la misma manera se define y resuelve el cuarto subsistema. Se definen los vectores y se resuelve la suma de vectores.

```

ClearAll[]
MM1={-12, 0, -49.9}; MM2={-114.09, 0, 40};
MM3={-88.4889, 0, 52.0355};
MM4={-37.6011, 0, -61.9355};

PM={Cos[tM/2], 0, Sin[tM/2], 0};
QM={Cos[AM/2], 0, Sin[AM/2], 0};
RM={Cos[bM/2], 0, Sin[bM/2], 0};

es1M2= Rota[{PM}, MM2];
es1M3= Rota[{QM}, MM3];
es1M4= Rota[{RM}, MM4];

posM=Simplify[MM1+es1M2-es1M3-es1M4]/Chop

Out[1924]=
{-12. + 88.4889 Cos[AM] + 37.6011 Cos[bM] -
 114.09 Cos[tM] - 52.0355 Sin[AM] +
 61.9355 Sin[bM] + 40. Sin[tM], 0,
-49.9 - 52.0355 Cos[AM] + 61.9355 Cos[bM] +
 40. Cos[tM] - 88.4889 Sin[AM] -
 37.6011 Sin[bM] + 114.09 Sin[tM]}

MinP = {{0, 0, 0}}; cont = 0;
Table[cont = 1 + cont;
  inic1 = {AM, MinP[[cont, 1]]};
  inic2 = {bM, MinP[[cont, 2]]};
  solucio1 = FindRoot[{posM[[1]] == 0, posM[[3]] == 0},
    {AM, MinP[[cont, 1]]}, {bM, MinP[[cont, 2]]},
    MaxIterations -> 70];
  AppendTo[MinP, {AM, bM, tM} /. solucio1];
  {tM, -Pi/2, 6 Pi/16, 2 Pi/(36+8)}];
    
```

Fig.7. Código en Mathematica® para resolver la cinemática del mecanismo de cuatro eslabones

El análisis mencionado es una herramienta para dimensionar los componentes del robot de acuerdo a la capacidad requerida.

## 5. Análisis de resultados

El conocimiento y el uso de una metodología es una manera que permite planear adecuadamente las actividades especializadas implicadas en un proyecto de investigación. El tiempo dedicado al proyecto puede ser considerablemente reducido través de una eficaz administración y organización. Los equipos formados para este proyecto fueron capaces de trabajar de forma conjunta y manejar información específica. El robot móvil fue diseñado de acuerdo a las especificaciones del diseño, y su solucionado su modelo matemático. El sistema de control puede conducir al robot de forma manual o mediante los circuitos diseñados para realizar los comandos específicos. La Fig. 8 muestra al robot móvil desplazándose por unos escalones. La Fig. 9 muestra al robot móvil pasando por encima de un CPU de una computadora el escritorio. El robot móvil en ambos casos adapta su mecanismo flexible al terreno.



Fig 8. Robot móvil subiendo escalones



Fig.9. Robot móvil subiendo por un CPU

La tabla 1 muestra algunas especificaciones técnicas del robot móvil desarrollado. Consideramos en el futuro desarrollar estudios que permitan aplicar el robot en tareas de inspección industrial en el ambiente estructurado.

Tabla 1. Especificaciones técnicas

Peso total	3.0 kilogramos.
Dimensiones	630x400x175 milímetro.
Velocidad máxima	0.256 m/s
Corriente	480 mA.
Autonomía de baterías	2.75 horas

## 6. Conclusiones

En este trabajo se presentó una metodología aplicada al desarrollo de un robot móvil, como proyecto de investigación académica. El método usado facilitó desarrollar de forma eficaz el robot móvil. Actualmente, este robot se utiliza como una herramienta para enseñar y para aprender la ingeniería de la robótica, la mecatrónica y dirección

un proyecto bajo circunstancias reales, que en la práctica se presentan. El modelo del cuaterniones utilizado para resolver la cinemática muestra su aplicado correctamente y permitió describir la configuración del robot. El sistema de control implementado permite conducir al robot de acuerdo a los comandos programados (vuelta a la izquierda, hacia delante, vuelta a la derecha, hacia atrás). Los participantes en el proyecto lograron desarrollar habilidades que les permiten integrar un trabajo especializado en este tipo de proyectos de ingeniería mecatrónica. El robot móvil se encuentra aún en desarrollo y hay usos potenciales que se evaluarán como: exploración, inspección industrial y hospitalidad. El trabajo siguiente por realizar se orienta en desarrollar algunas tareas de ejecución autónomas, específicamente orientadas hacia la evasión de obstáculos.

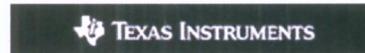
## Referencias

- [1] Vargas E., Reynoso G., Villarreal L, Mier R., “en industrial Subestaciones Eléctricas de Diseño de un Robot párrafo Aplicaciones de Limpieza ”, *Memorias del 3er. Congreso Mexicano de Robótica*, Asociación Mexicana de Robótica. Septiembre 2001, Querétaro.
- [2] Gorrostieta E., y Vargas E. , “locomoción libre para la robustez Legged seises”, 3er. WSEAS *Conferencia internacional sobre el proceso de señal, la robótica y la automatización*, Ispra 2004, ISBN 960-8052-95-5, del 13 al 15 de febrero, Salzburg, Austria. 2004.
- [3] Vargas E, Rodríguez W., “Diseño de Mechatronics de una máquina automática para manipular la hoja de la cartulina”, *Procedimientos del congreso internacional sobre Mechatronics y Robótica MECH&ROB 2004*, Sociedad de la electrónica industrial de IEEE, centro europeo para Mechatronics, ISBN 3-938153-30-X, Del 13 al 15 de septiembre de 2004, Aquisgrán. Alemania
- [4] Reyes L. “*Quaternions: Rotaciones Finies del DES de Parametrique Systematique de la representación de Une*”. *Partie 1: Le Cadre Theorique. Partie 2: Quelques Applications*. Rapport de Recherche Inria - Rocquencourt, Francia 1990.
- [5] Méndez M “*Cerrada de de cadena de los mecánicos de Modelado cinemático de sistemas*”. Ingeniería de Tesis de maestría en, DEPEI, UNAM. Agosto 1995.
- [6] Méndez M. Los “rígidos de Dinámica de cuerpos con Quaterniones: aplicación del una mecanismos de los los”. Ingeniería del en de Tesis de Doctorado, Universidad Anáhuac del Sur 2000.
- [7] Méndez M. “Los rígidos de los cuerpos de Simplificación del Modelado Cinemática de n con Quaterniones”. Ingeniería del en de Tesis de Doctorado, Universidad Anáhuac del Sur 2000. Congreso Mexicano de Robótica, del 2001, Santiago de Querétaro de Septiembre.
- [8] Méndez M. - Gudiño J. El “sistema de planar 2 GL de Dinámica de un con Quaterniones”. Congreso Nacional de Control Automático 2003, Ensenada Baja California, del 2003 de 16 de octubre.

**El Comité Organizador del evento, agradece profundamente a las siguientes empresas e instituciones su apoyo para que nuevamente el congreso sea una realidad:**



Siemens PLM Software



978-970-8702-03-3



9789708702033