

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE  
MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**



**ANTEPROYECTO DE TESIS**

**DISEÑO DE ESQUEMAS DE CONTROL DIFUSO PARA LA POSICIÓN Y VELOCIDAD  
DE UN MANIPULADOR PARALELO TIPO DELTA**

**POR:**

**GILBERTO REYNOSO MEZA**

**MONTERREY, N.L.**

**NOVIEMBRE 2004**

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE MONTERREY  
CAMPUS MONTERREY

DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA

Los miembros del comité de tesis recomendamos que el presente anteproyecto de tesis presentado por el Ing. Gilberto Reynoso Meza sea aceptado como requisito parcial para obtener el grado académico de Maestro en Ciencias con especialidad en:

AUTOMATIZACIÓN

Comité:

---

Antonio Favela Contreras, Ph.D.  
Asesor

---

Sinodal

---

Sinodal

Aprobado:

---

Federico Viramontes Brown, Ph.D.  
Director del Programa de Graduados en Ingeniería

MONTERREY, N.L.

NOVIEMBRE 2004

## **Resumen**

La dirección del Departamento de Mecatrónica y Automatización del ITESM campus Monterrey ha identificado como área de oportunidad para el desarrollo de tecnología y capital intelectual la inversión de esfuerzos en el diseño, construcción y control de robots manipuladores de diferentes arquitecturas.

Se presenta la siguiente propuesta de tesis cuyo objetivo se concentra en el diseño e implementación de arquitecturas de control difuso para la posición y velocidad de un manipulador paralelo tipo DELTA.

Los manipuladores paralelos han llamado la atención en los últimos años dada las ventajas que ofrecen con respecto a los manipuladores seriales y su potencial aplicación como máquinas-herramienta. Esto las ha convertido en un área de investigación y desarrollo con muchos problemas abiertos aún por tratar. Uno de ellos consiste en el diseño de controladores eficientes, que puedan lidiar con su dinámica altamente no lineal.

# 1

## Introducción

### 1.1. Manipuladores Paralelos

Los Robots Manipuladores pueden ser clasificados de muchas formas. Por ejemplo, se les puede clasificar de acuerdo a su forma, su volumen de trabajo, su tarea a desempeñar y su estructura. Esta última se divide en dos ramas: Robots Manipuladores Seriales (RMS) o de Cadena Cinemática abierta y Robots Manipuladores Paralelos (RMP) o de Cadena Cinemática Cerrada.

Una cadena cinemática es la unión de eslabones conectados por articulaciones. Se dice que es abierta cuando un eslabón se encuentra conectado con cualquier otro de una sola forma. Se dice cerrada cuando un eslabón se encuentra conectado con otro de dos formas diferentes, por lo menos.

Los RMS son los mas conocidos y han sido ampliamente usados en la industria, dada la versatilidad de movimientos que ofrecen y la flexibilidad para desempeñar diferentes tareas. Algunos de los Manipuladores de mayor distribución son los conocidos como tipo SCARA (Selective Apliance Arm Robot for Asembly) o PUMA (Programmable Universal Manipulator Arm).

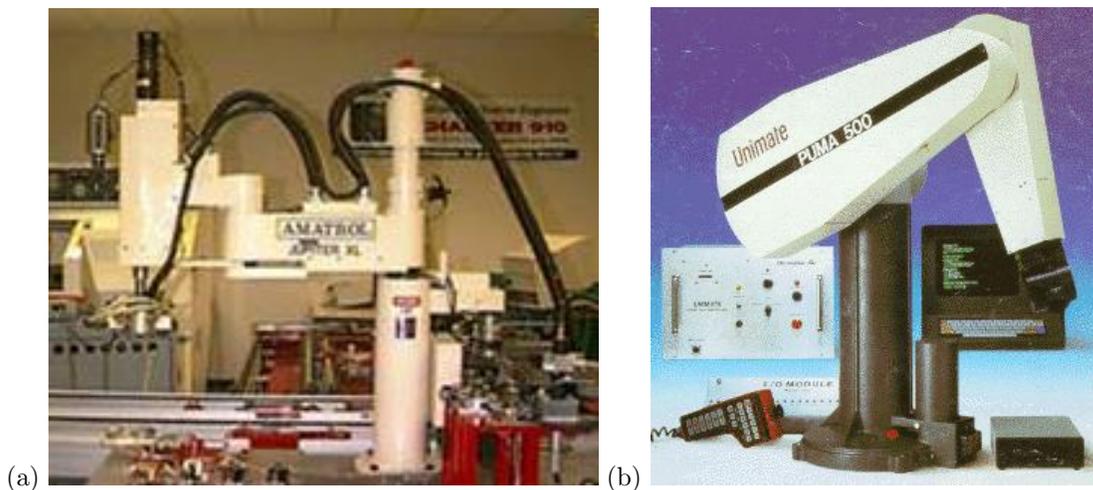


Figura 1.1: Robot Manipulador Serial tipo SCARA (a) , PUMA (b)

Los RMP son estructuras cinemáticas de cadena cerrada. El primer robot de este tipo en ser ampliamente comercializado fue el Manipulador Paralelo tipo DELTA que fue diseñado y construido para responder a la

necesidad de contar con un manipulador capaz de transportar pequeños pesos con gran velocidad. Esto es posible con esta estructura, debido a que su topología les permite lograr mayores aceleraciones a la par de permitir que su estructura no esté sometida a cargas de flexión, por lo que pueden ser más precisos que los manipuladores seriales [24, 2, 16].



Figura 1.2: Robot Manipulador Paralelo tipo DELTA

El interés por los RMP fue renovado en el IMTS de 1994 en Chicago, cuando las compañías Ingersoll, Giddings and Lewis y la Corporación Hexel presentaron los primeros prototipos de máquinas CNC con variantes de la plataforma Stewart, otro tipo de RMP [14, 20, 18]. Sin embargo, dada la configuración de los manipuladores paralelos las estructuras de control se vuelven más complejas, y en el caso de procesos de maquinado, es crucial el correcto seguimiento de trayectorias de corte.

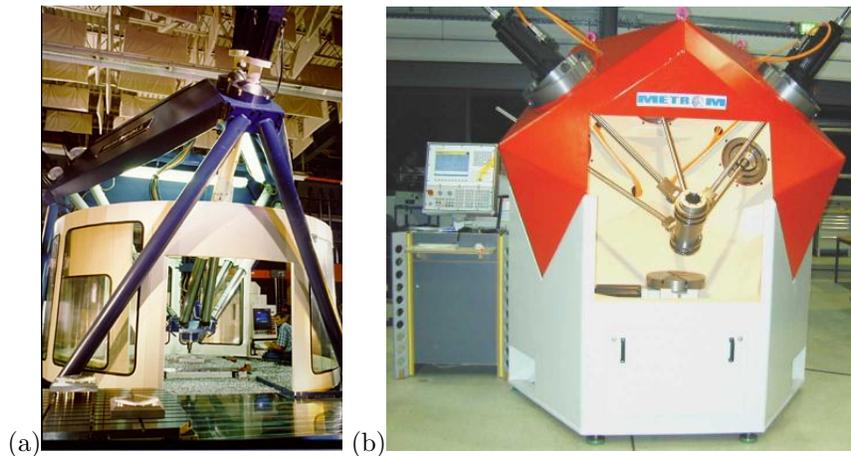


Figura 1.3: Prototipo de Máquina Herramienta de estructura paralela de: (a) Ingersoll (b) Metrom

Pese a estas ventajas, los RMP no han sido comercializados de la misma forma que los seriales. Esto se debe a su topología que les vuelve mucho más complejos para el cálculo de posiciones, de su volumen de trabajo, la determinación de singularidades, y el control de velocidades y trayectorias que los RMS. Esto ha provocado que se convierta en un área de investigación y desarrollo que presenta aún muchos problemas abiertos por tratar. Una descripción a fondo de las ventajas y desventajas de los RMP pueden encontrarse



Figura 1.4: Prototipo de Máquina Herramienta Convencional

en [17, 18, 27]

## 1.2. Lógica Difusa

La Lógica Difusa fue iniciada por Lofti A. Zadeh en 1965 y ha logrado una gran aceptación en los últimos años. Esto se debe principalmente a que ha mostrado buenos resultados en aplicaciones de control. Por su naturaleza, la Lógica difusa es una arquitectura de control robusta que emplea una técnica de razonamiento aproximado.

El Diseño de controladores difusos requiere de tres pasos: Fuzificación, Inferencia Difusa y Defuzicación. En la primera de ellas, las variables de observación son traducidas a variables difusas que el controlador pueda interpretar. La Inferencia difusa consiste en procesar estas entradas mediante las reglas verbales con las que se ha programado el controlador. Finalmente, la defuzicación consiste en traducir las salidas difusas en manipulaciones para el control.

## 2

# Planteamiento de la Propuesta

## 2.1. Definición del Problema y Justificación

Se identifica un área de oportunidad en el control de posición y velocidad en manipuladores paralelos tipo DELTA. La Hipotesis a plantear es que una arquitectura de Control Difuso en un Manipulador Tipo DELTA dará mejores resultados que el Control Convencional.

Se opta por la plataforma tipo DELTA, dado que es una plataforma bien documentada [8, 23, 10, 13, 11] a la vez que dentro de los RMP, representa una de las estructuras más sencillas. Una línea de investigación en RMP debe comenzar comprendiendo a fondo el funcionamiento y complejidad de las estructuras más simples[21].

Se elige como estructura de Control la Lógica Difusa debido a que es una estructura de control que no ha sido explorada a fondo en los Manipuladores Delta y que ha dado excelentes resultados en manipuladores seriales [19, 5, 30, 26, 9, 3, 7], ha mejorado el desempeño de arquitecturas de control convencionales [15, 6, 22] y es un controlador cuyo desempeño puede mejorarse usando herramientas como redes neuronales o algoritmos genéticos([12, 31, 34]).

Este trabajo constituirá el primer paso en la búsqueda de nuevas arquitecturas de control en RMP en el Departamento de Mecatrónica y Automatización del ITESM Campus Monterrey. Con ello, se espera impulsar el estado del arte en lo referente al control de estas estructuras, esperando impactar en manipuladores paralelos más complejos y sus aplicaciones a los procesos de manufactura.

## 2.2. Antecedentes

Dada la complejidad inherente a la topología de los manipuladores paralelos, se ha vuelto importante encontrar esquemas de control apropiados si se pretende lleguen a ser implementados en la industria que tiene ya mucho tiempo trabajando con los manipuladores seriales. Se han probado diferentes esquemas de control, pero acorde con Merlet [28], Koren [21], estos esquemas aún no son del todo satisfactorios y resta mucho camino por recorrer. Referencias del control en manipuladores paralelos se encuentran en [29, 1, 4, 25, 32]

Para el Manipulador DELTA en particular, acorde con Clavel[23] ha sido probado bajo esquemas de control robusto como son:

P(I)D Desacoplado

P(I)D con retroalimentación

PD con linealizado y retroalimentado  
PD con retroalimentación y antealimentación  
PD con retroalimentado y adaptable

Se observa que los esquemas de control difuso no han sido empleados en este tipo de plataforma y ningún otra de acuerdo a la revisión bibliográfica. El único antecedente sobre el control de RMP en uso de la Lógica Difusa se encuentra en [35]. La aplicación consiste en el desarrollo de un Radio Telescopio que usará la lógica difusa para rastreo de alta precisión por medio manipuladores paralelos que modificarán la orientación del mismo.

## 2.3. Objetivo General

El Objetivo Tecnológico de este Proyecto de Tesis es el diseño y construcción de un Manipulador tipo DELTA que sirva como banco de pruebas para nuevos enfoques de control.

El Objetivo Científico de este Proyecto de Tesis es la implementación de arquitecturas de Control Difuso en el manipulador DELTA y busca responder a las siguientes preguntas:

- 1.-¿Es factible la implementación de controladores Difusos para el control de posición y velocidad de un Manipulador Tipo DELTA?
- 2.-¿Es justificable la implementación de un control difuso en el manipulador DELTA?
- 3.-¿El Controlador Difuso mejora el desempeño de arquitecturas de control convencionales?

## 2.4. Objetivos particulares

1.- Diseñar e implementar un banco de pruebas para algoritmos de control de manipuladores tipo DELTA. La metodología a seguir será la descrita en [33]

- 2.- Identificación del manipulador
- 3.- Diseño de la arquitectura de Control Difuso
- 4.- Diseño de una HMI para las acciones de control
- 5.- Implementación del algoritmo de control
- 6.- Pruebas del Algoritmo de Control con técnicas de control documentadas.
- 7.- Redacción de Tesis

## 2.5. Recursos

Para la consecución del presente Proyecto de Tesis se necesitará lo siguiente:

- 1.- Disponibilidad de Máquinas Herramienta CNC para la manufactura de piezas del manipulador DELTA.
- 2.- Actuadores y sensores para la instrumentación del manipulador.
- 3.- Computadora con Puerto Serial RS232 para ejecutar las acciones de control del manipulador.
- 4.- Tarjeta de adquisición de datos NI6229.
- 5.- LabWindows CVI Versión 5.5 o superior para la implementación de la HMI.

## 2.6. Actividades

Actividad	2004					2005												
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Redacción Tesis																		
Redacción de Trabajos																		
Documentación																		
Creación del Prototipo para Banco de pruebas																		
Diseño Arquitectura de Control Difuso																		
Diseño de la HMI																		
Implementación y Pruebas																		
Evaluación de Resultados																		

Figura 2.1: Cronograma de Actividades

Creación del Prototipo para Banco de Pruebas	2004					2005											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Documentación Sobre Diseño Mecatrónico				■	■												
Diseño					■	■											
Análisis Dinámico						■	■										
Selección, cotización y compra de componentes				■	■	■	■										
Fase Mecánica						■	■	■									
Fase Electrónica						■	■	■									
Integración									■	■	■						

Figura 2.2: Cronograma de Actividades Auxiliar: Construcción Banco de Pruebas

Arquitectura de Control	2004					2005											
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
Antecedentes y Documentación			■	■	■												
Estudio Independiente Lógica Difusa					■	■	■										
Simulación Dinámica del Manipulador Delta				■	■												
Implementación de arquitecturas conocidas								■	■								
Diseño de Control Difuso									■	■	■						

Figura 2.3: Cronograma de Actividades Auxiliar: Arquitectura de Control

Redacción de TESIS	2004					2005												
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Capítulo 1: Introducción																		
Capítulos 2: Antecedentes de Control																		
Capítulo 3: Diseño para el Control																		
Capítulo 4: Arquitectura de Control																		
Capítulo 5: Diseño de la HMI																		
Capítulo 6: Pruebas en Tiempo Real y simulación																		
Capítulo 7: Conclusiones																		
Apéndice 1: Revisión Histórica																		
Apéndice 2: Diseño por Igualación de Frecuencias																		
Apéndice 3: Diseño a Detalle																		
Apéndice 4: Lógica Difusa																		

Figura 2.4: Cronograma de Actividades Auxiliar: Redacción de Tesis

Redacción de Trabajos	2004					2005												
	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	
Revisión Histórica de los Manipuladores Paralelos																		
Diseño para el Control de un Manipulador DELTA																		
Control Difuso para Manipuladores DELTA																		

Figura 2.5: Cronograma de Actividades Auxiliar: Redacción de trabajos

# Bibliografía

- [1] Dynamic modeling and vibration control of high speed planar parallel manipulator. *Proceedings of the 2001 IEEE/RS International Conference on Intelligent Robots and Systems*, Oct.29-Nov.03 2001.
- [2] Anonymous. The wait is over. *Motion System Design*, Nov. 2001; 43, 11; P10.
- [3] Francisco Alberto Montes Aragón. Modelación, identificación y diseño de servo control de un robot manipulador de seis grados de libertad. Master's thesis, ITESM Campus Monterrey, 2002.
- [4] James K. Mills Bongsoo Kang, Jiaxin Chu. Design of high speed planar parallel manipulator and multiple simultaneous specification control. *Proceedings of the 2001 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 21-26 2001.
- [5] J.F. Whidborne B.W. Bekit and L.D. Seneviratne. Fuzzy sliding mode control for a robot manipulator. *IEEE*, 1997.
- [6] Z.Qu C. Ham and R.Jhonson. Robust fuzzy control for robot manipulators. *IEE Proceedings*, 2000.
- [7] Oscar Palomino Camargo. Modelación y control de posición de un robot manipulador de seis grados de libertad usando sistemas difusos. Master's thesis, ITESM Campus Monterrey, 2004.
- [8] Reymond Clavel. Device for the movement and positioning of an element in space, 1990. U.S. Patent 4,976,582.
- [9] T. Hiyama C.M. Lim. A fuzzy logic control scheme for robot manipulators. *IEEE*, 1993.
- [10] Alain Codourey. Dynamic modelling and mass matrix evaluation of the delta parallel robot for axes decoupling control. *IEEE SMC*, 2002.
- [11] María del Rosario Velázquez Camacho. Estudio y análisis del espacio de trabajo de un manipulador paralelo de 3 gdl. Master's thesis, UAQ, 2003.
- [12] K. Kumbla M. Jamshidi E. Tunstel, M.R. Akbarzadeh. Hybrid fuzzy control schemes for robotic systems. *IEEE*, 1995.
- [13] Alejandra Sánchez Flores. Cálculo de la cinemática inversa y el espacio de trabajo de un manipulador paralelo de 6 gdl. Master's thesis, UAQ, 2001.
- [14] D. Hasdage G. Wiens. Dynamics and controls of hexapod machine tools. In L. Molinari-Tisatti and K.S. Smith C.R. Boer, editor, *Parallel Kinematic Machines, Theoretical Aspects and industrial requirements*, Advanced Manufacturing Series. Springer, 1999.
- [15] Anthony Green and Jurek Z. Sasiadek. Fuzzy and optimal control of a two-link flexible manipulator. *IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics Proceedings*, 2001.
- [16] Eric Hemmingson Hakan Brantmark. Flexpicker with pickmaster revolutionizes picking operations. *Industrial Robot: An International Journal*, 2001.

- [17] H. Grendel H.K. Tonshoff. A systematic comparison of parallel kinematics. In L. Molinari-Tisatti and K.S. Smith C.R. Boer, editor, *Parallel Kinematic Machines, Theoretical Aspects and industrial requirements*, Advanced Manufacturing Series. Springer, 1999.
- [18] Gloria J. Wiens Irene Fassi. Multiaxis machining: Pkms and traditional machining centers. *Journal of Manufacturing Processes*, 2000.
- [19] Young-Kiu Choi Jin-Hyun PArk, Hyun-Sik Kim. Trajectory optimization and control for robot manipulator using evolution strategy and fuzzy logic. *IEEE*, 1997.
- [20] K. Srinivasan K. Harib. Evaluation of control algorithms for high-speed motion control of machine-tool structures based on stewart platforms. In L. Molinari-Tisatti and K.S. Smith C.R. Boer, editor, *Parallel Kinematic Machines, Theoretical Aspects and industrial requirements*, Advanced Manufacturing Series. Springer, 1999.
- [21] Y. Koren. Will pkm be adopted by industry? In L. Molinari-Tisatti and K.S. Smith C.R. Boer, editor, *Parallel Kinematic Machines, Theoretical Aspects and industrial requirements*, Advanced Manufacturing Series. Springer, 1999.
- [22] Eddie Kwan and Ming Liu. An adaptive fuzzy approach for robot manipulators tracking. *IEEE*, 1999.
- [23] R. Clavel L. Rey. The delta parallel robot. In L. Molinari-Tisatti and K.S. Smith C.R. Boer, editor, *Parallel Kinematic Machines, Theoretical Aspects and industrial requirements*, Advanced Manufacturing Series. Springer, 1999.
- [24] John Lewis. Robots pack 1,200 cookies per minute. *Design News, Academic Research Library*, Jan 7, 2002: 57,1; pg. 31.
- [25] G. Schweitzer M. Honegger, R. Brega. Application of a nonlinear adaptive controller to a 6 dof parallel manipulator. *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April 2000.
- [26] Grard Lachiver Maher Hamdi. A novel fuzzy logic algorithm for the control of industrial robot manipulators. *IEEE*, 1995.
- [27] Jean-Pierre Merlet. *Parallel Robots*. Solid Mechanics and its applications. Kluwer Academic Publishers, 2000.
- [28] Jean-Pierre Merlet. An initiative for the kinematics study of parallel manipulators. In Clément M. Gosselin and Imme Ebert-Uphoff, editors, *Fundamental Issues and Future Research Directions for Parallel Mechanisms and Manipulators*, October 2002.
- [29] E.Burdet M.Honegger, A.Codourey. Adaptive control of the hexaglide, a 6 dof parallel manipulator. *Proceedings of the 1997 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, April 1997.
- [30] Ali T. Alouani Mounir Ben Ghalia. A robust trajectory tracking control of industrial robot manipulators using fuzzy logic. *IEEE*, 1995.
- [31] C. Gosselin P. Payeur, H. Le-Huy. Robot path planning using neural networks and fuzzy logic. *IEEE*, 1994.
- [32] N. Koanine Y.Ñakamura R. Yamane, M. Okada. Parallel dynamics computation and hinf acceleration control of parallel manipulators for acceleration display. *Proceedings of the 1998 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, May 1998.
- [33] Rodrigo Ruispalacios Remus. Metodología para el diseño dinámico de sistemas mecatrónicos. Master's thesis, ITESM Campus Monterrey, 1997.

- [34] Peng Yung Woo Sourav Banerjee. Fuzzy logic control of robot manipulator. *Second IEEE on Control Applications*, 1993.
- [35] B.Peng R.D.Nan X.Y.Su, B.Y. Duan. Fuzzy learning tracking control of feed-supporting system for the square kilometer array. *IEEE SMC*, 2002.