

# Diseño Conceptual Y Estudio Cinematico de un Robot Delta De Tres Grados De Libertad (Marzo 2012)

Daniel A. Santos, Fabián A. Flórez, *Estudiantes de Ingeniería Mecatronica, UNAB*

**Abstract**—The robot Delta is a 3 degrees of freedom well known parallel structure allowing the 3 natural translations X, Y and Z. It exists with either rotational or linear actuated joints. In this paper we will point out the advantages of the kinematics based on linear actuation and present different innovative robots studied, developed and industrialized with the LSRO (Laboratoire de Systèmes Robotiques). Each of them was designed to be tailored to industrial applications. These structures consist of fast pick-and-place robots as well as high stiffness machines for insertion and tool machining operations. To deal with this, each robot will be emphasized through its specifications and the application it has been developed for. The following Delta robots will be presented and detailed: The horizontal linear version of the Delta, the “Delta Press”, the robot Delta Keops and the Delta Ibis.

## I. INTRODUCCION

UN robot paralelo (robot de cadena cinemática cerrada), es todo aquel robot cuyo efector final, con  $n$  grados de libertad, se encuentra unido a la base por más de una cadena cinemática independiente (Tsai, 1999). Esta condición hace que los manipuladores paralelos tengan una mayor rigidez (estabilidad estructural), puedan trabajar a mayor velocidad, mayor relación carga/peso y cuenten con más precisión que los robots de cadena abierta o seriales, que son los más comunes en la industria.

En los últimos años el uso de las computadoras y el desarrollo de nuevas técnicas de análisis han permitido el redescubrimiento y aplicación de los sistemas robóticos paralelos, es así que en la actualidad existe una gran cantidad de estructuras paralelas (Siciliano, 2008), las más comunes van de dos a seis grados de libertad originando un campo muy diverso de aplicaciones especialmente para posicionamiento, como en telescopios Vista del Observatorio Europeo Austral (ESO, 2010), simuladores de vuelo y de conducción; así mismo, se han desarrollado aplicaciones para los procesos de manufactura de alta velocidad, y en la industria de alimentos (en el área de empaçado) se cuenta con los robots tipo Delta y otras plataforma.

Los robots tipo delta fueron propuestos por Clavel (1986) y su publicación se realizó en 1989. La principal característica es que sus tres grados de libertad son lineales. El estudio de estos robots se ha concentrado en la solución de los problemas asociados con el cálculo de la cinemática, a través de la formulación algebraica y numérica

(Merlet, 2004), eliminación algebraica (Lee, 2002), el enfoque básico Groebner (Raghavan, 1991), (Merlet 2004), que buscan encontrar las raíces de los polinomios o solucionar las ecuaciones no lineales.

Los robots delta están siendo aplicados a nivel industrial como manipuladores en líneas de empaçado de alta velocidad por compañías como Bosch, ADEPT, ABB Robotics, entre otras.

## II. MARCO TEORICO

### A. ROBOT

Es un dispositivo multifuncional y reprogramable diseñado para mover y manipular materiales, partes o herramientas a través de movimientos programados variables para la realización de una variedad de tareas especificadas.

### Clasificación General de los Robots

Se pueden encontrar muchas clasificaciones de los robots dependiendo de su grado de control, inteligencia, arquitectura, grados de libertad, forma, fin para el que son desarrollados, etc.

Se clasifican generalmente como:

- Manipuladores
- Robots de Repetición
- Robots Controlados por Computador
- Robots Inteligentes
- Robots de Servicio
- Robots Paralelos

### B. ROBOTS PARALELOS

Un robot paralelo está compuesto por una cadena cinemática cerrada, la cual consta de cadenas seriales separadas que conectan al eslabón fijo (plataforma fija) con el efector final o eslabón móvil (plataforma móvil).

Estos simplifican cadenas de forma que cada una de ellas dispone, en general de un único actuador, reduciendo así su complejidad y permitiendo canalizar mejor la energía de los accionadores hacia mejorar las prestaciones del robot, bien sea en cuanto a velocidad de movimiento o a capacidad de carga de su efector.

**C. ROBOT DELTA LINEAL**

Un manipulador Delta que emplea actuadores lineales, sin embargo, la base móvil se desplaza en planos siempre paralelos a las guías del robot.

Componentes de un Robot Delta Lineal

Un manipulador Delta Lineal, consta de una plataforma fija, una plataforma móvil y de tres cadenas cinemáticas que unen a los mismos.

La Familia de los Robot Delta Lineal

Se han construidos diferentes estructuras pero principalmente se pueden distinguir el Fig. 1 ortogonal, Fig. 2 la familia horizontal, Fig. 3 vertical, Fig. 4 la inclinada más conocida como Keops y Fig. 6 la hibrida llamada Ibis.



Fig. 2: Horizontal

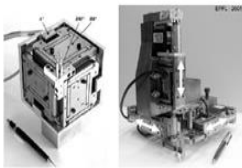


Fig. 1: Ortogonal

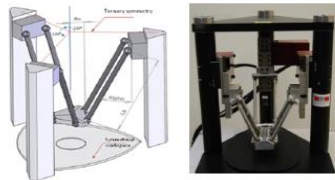


Fig. 3: Vertical

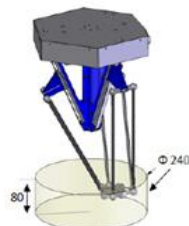


Fig. 4: Keops

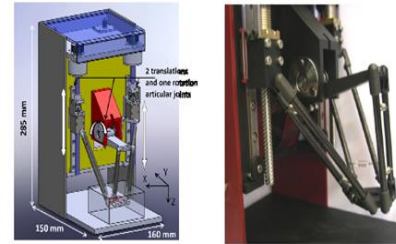


Fig. 5: Ibis

**D. GRADOS DE LIBERTAD**

Un cuerpo aislado puede desplazarse libremente en un movimiento que se puede descomponer en 3 rotaciones y 3 traslaciones geométricas independientes.

Para un cuerpo unido mecánicamente a otros cuerpos (mediante pares cinemáticos), algunos de estos movimientos elementales desaparecen.

Se conocen como grados de libertad los movimientos independientes que permanecen.

$$F = \lambda(n - j - 1) \sum f_i$$

$\lambda$  = Grados de Libertad  
 $n$  = Numero de Eslabones  
 $j$  = Numero de Juntas

$f_i$  = Grados de Movimiento Permitido por la Junta  
 $F$  = Grados de Libertad

Fig. 6 Ecuacion Grados de Libertad

**E. CINEMATICA INVERSA**

La cinemática se ocupa de la descripción del movimiento sin tener en cuenta sus causas.

El objetivo de la cinemática inversa consiste entonces en encontrar el gesto que deben adoptar las diferentes articulaciones para que el final del sistema articulado llegue a una posición concreta.

**III. DESARROLLO**

**A. Antecedentes**

Un robot paralelo puede ser definido como un robot en el cual el extremo final está unido a la base por más de una cadena cinemática independiente. Esta diferencia fundamental con los robots series le confiere propiedades cinemáticas muy distintas a las de los robots series. En efecto, la cinemática inversa de un robot paralelo se resuelve fácilmente por métodos geométricos, mientras que la cinemática directa es compleja y se resuelve por métodos numéricos para muchas arquitecturas paralelas. Los robots paralelos se basan en la denominada plataforma de Stewart, y han sido estudiados en la literatura especializada en las últimas décadas. Estos estudios se justifican por las limitaciones encontrados en el mundo industrial con las arquitecturas de robots series. Las

principales ventajas de los manipuladores paralelos son: precisión, altas velocidades y aceleraciones, y una buena relación carga admisible / peso propio. Su principal desventaja es la limitación del espacio de trabajo del efector final, es decir de los puntos del espacio que este puede alcanzar. Por eso, el análisis y la optimización del espacio de trabajo de un robot paralelo es representa un paso importante del estudio global. Existen diversas estructuras de robots paralelos con diferentes grados de libertad, que van desde la plataforma inicial de Stewart con 6 grados de libertad hasta el Robot Delta el más conocido con tres grados de libertad.

A partir de 1970 la necesidad de conseguir un entrenamiento más económico para los pilotos de aviación que la realización de vuelos reales, hizo que se desarrollasen gran cantidad de simuladores de vuelo. La mayoría de estos simuladores estaban basados en la estructura de Gough.

Teniendo en cuenta la recopilación de publicaciones más relevantes sobre robots paralelos realizada por J.P. Merlet. Hasta 1969 tiene recogidas 11 publicaciones. En la década de 1970 figuran 13 publicaciones. En la década de 1980 el número aumenta hasta 125. En la década de 1990 recoge 879 publicaciones. Y entre el año 2000 y la actualidad 1023 publicaciones.

Como se observa, el interés sobre los robots paralelos ha ido en aumento pudiéndose considerar el año 1985 como el año en el que se produce el inicio de un interés que ha ido creciendo de forma exponencial. Sin querer ser exhaustivo, se podían citar los siguientes tipos robots presentados o analizados en las publicaciones recogidas por J.P. Merlet:

- Manipuladores planos con tres grados de libertad accionados por medio de actuadores lineales o giratorios, Fig. 7

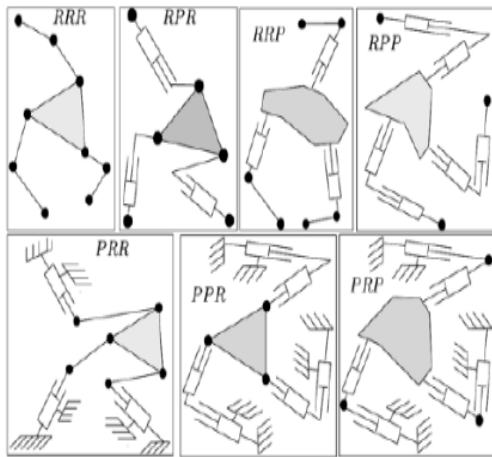


Fig. 7: Diferentes tipos de manipuladores planos con actuadores prismáticos y giratorios.

Manipuladores espaciales con tres grados de libertad accionados por medio de actuadores giratorios. Aquí se pueden citar: El robot Delta propuesto por R. Clavel, Fig. 8(a). El Ojo de Águila propuesto por C. Gosselin, Fig. 8(b). Y el Capaman propuesto por M. Ceccarelli Fig. 8(c).

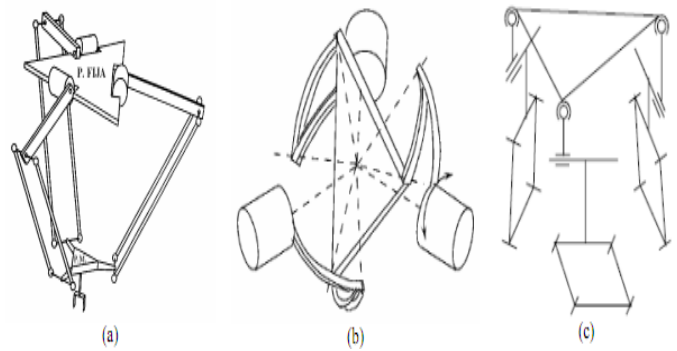


Fig. 8: Robots de tres grados de libertad con actuadores giratorios, (a) Delta, (b) Ojo de Águila, (c) Capaman

Manipuladores espaciales con tres grados de libertad accionados por medio de actuadores lineales. Aquí se pueden citar: El robot Linapod propuesto por P.B. Zobel y otros, similar al Delta pero con actuadores lineales. El Orthoglide propuesto por P. Wenger y D. Chablat, Fig. 9(a). El Tricept patentado por K.E. Neumann, Fig. 9(b). Y el 3-UPU propuesto por L.W. Tsai, Fig. 9(c).

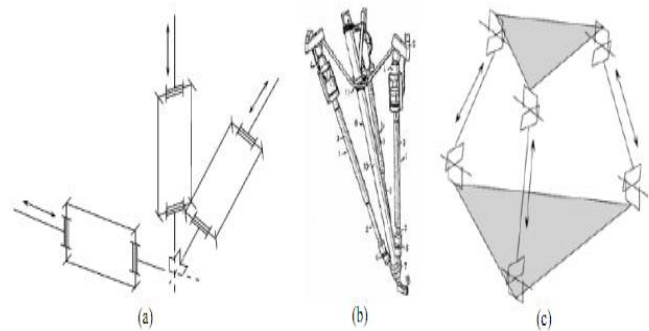


Fig. 9: Robots de tres grados de libertad con actuadores lineales, (a) Orthoglide, (b) Tricept, (c) 3-UPU

### B. Metodología

La metodología utilizada se ha estructurado en fases que se de describen a continuación.

I Fase: Recolección de la información: Se ha investigado el estado del arte, así como se ha determinado el Robot Delta a diseñar.

II Fase: Diseño del Robot Delta: Se realizó por medio de la herramienta Solid Works.

III Fase: Análisis Cinemático: El cual se ha determinado por Solid Works teniendo en cuenta que el estudio fue realizado por medio de la Cinemática Inversa encontrando resultados para los desplazamientos, las velocidades y las aceleraciones de cada uno de los actuadores.

C. *Diseño del Robot Por Medio de Solid Works*

Para la selección del tipo de Robot tuvimos en cuenta la velocidad, la geometría y la flexibilidad, encontrando así un Robot Delta Lineal tipo Keops Fig. 10.

El cual posee las siguientes características:

- Velocidad y flexibilidad para aplicaciones donde las cargas son livianas y las distancias de movimiento son cortas.
- Geometría la cual le permite moverse rápido dentro de un espacio tridimensional y orientar una carga alrededor de su eje vertical.
- Ahora, puesto que los motores están montados sobre una base y no se mueven, los cables del motor no necesitan ser flexibles, lo cual reduce el desgaste del cable y por lo mismo la frecuencia de reemplazo es más larga
- Ideal para aplicación Pick and Place a nivel industrial y de enseñanza.

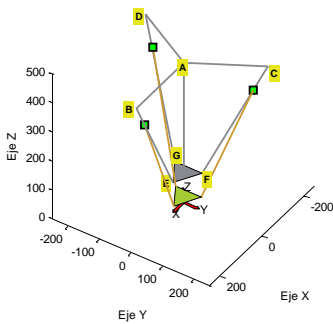


Fig. 10: Robot Delta Lineal tipo Keops

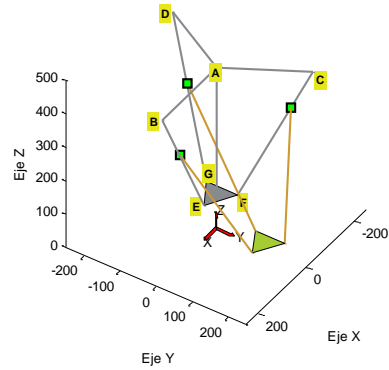
D. *Análisis Cinemático de un Robot Delta de 3 Grados de Libertad*

**Programa 1**

[0,0,0]



[-50,100,-50]



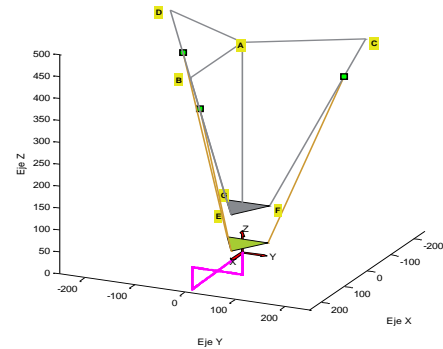
**Programa 2**

[0,0,-50]

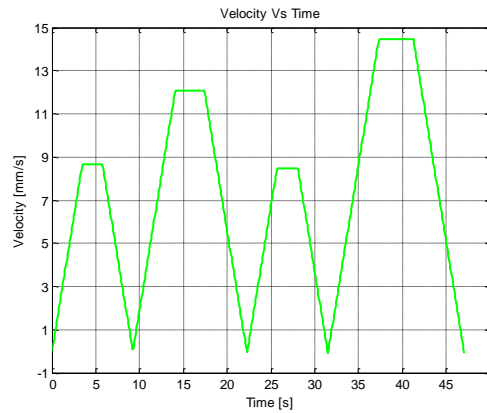
[0,-100,-50]

[0,-100,-100]

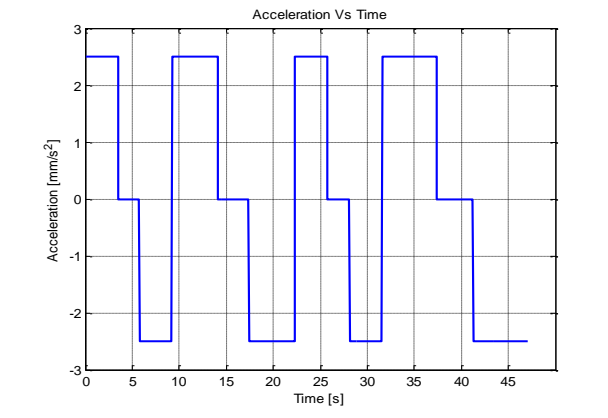
[0,0,0]



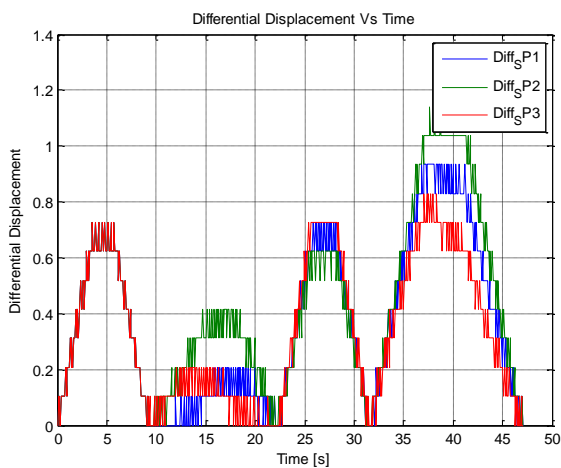
Velocidad



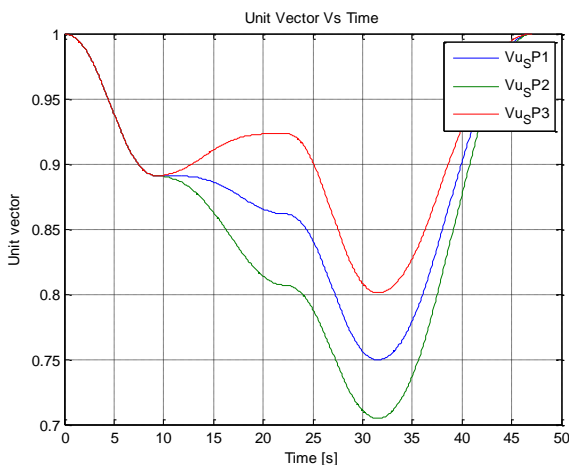
Aceleración



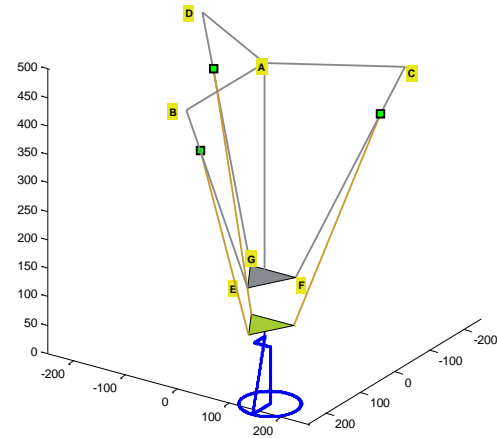
Desplazamiento Diferencial



Vector Unitario



**Programa 3**



Aceleración Angular

Desplazamientos, velocidades y aceleraciones angulares no se presentan debido a que el motor se mueve en un solo plano.

IV. CONCLUSIONES

- Para la selección del tipo de robot a diseñar se tuvo en cuenta en primera instancia la problemática del proyecto que consistía en un dispositivo de almacenamiento para blísteres y en la cual requeríamos velocidad, precisión y flexibilidad ya que las cargas son livianas y las distancias de movimiento cortas, encontrando al Robot Delta como la solución al problema planteado.
- Con la herramienta SolidWorks (Programa de diseño asistido por computadora para modelado mecánico) diseñamos un Robot Delta Tipo Keops.
- En cuanto al estudio cinemático del Robot Delta Tipo Keops decidimos utilizar la cinemática inversa la cual es capaz de determinar el movimiento de una cadena de articulaciones para llegar a un punto determinado.
- Para encontrar la ubicación de cada una de los tres deslizadores se utilizó el método de iteración que consiste en repetir una serie de instrucciones para encontrar el punto en donde se encuentra la herramienta sin que las barras E, F y G cambien de magnitud.
- Para la Cinemática Inversa se crearon 3 programas a los cuales se le ingresan las coordenadas deseadas, la aceleración y la orientación de la herramienta y estos a su vez nos muestran la trayectoria y nos dan todos

los datos de desplazamiento, velocidad y aceleración del sistema por medio de graficas.

- El vector unitario es una herramienta que se utilizo para calcular el punto de los deslizadores.
- Un vector unitario es una forma de representar un vector con una orientación especifica en el espacio, la cual al multiplicarlo por una constante hace que se desplace en el espacio desde un punto al otro hasta llegar a otro en el cual medido desde ahí a la herramienta cumpla con la distancia de la barra (140 mm).
- La grafica de desplazamiento diferencial es la resta de la posición final menos la anterior de los actuadores sobre el tiempo.
- Desplazamientos, velocidades y aceleraciones angulares no se presentan debido a que los motores se mueven en un solo plano.

#### REFERENCES

- [1] G. O. Young, "Synthetic structure of industrial plastics (Book style with paper title and editor)," in *Plastics*, 2nd ed. vol. 3, J. Peters, Ed. New York: McGraw-Hill, 1964, pp. 15–64.
- [2] W.-K. Chen, *Linear Networks and Systems* (Book style). Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [3] H. Poor, *An Introduction to Signal Detection and Estimation*. New York: Springer-Verlag, 1985, ch. 4.
- [4] B. Smith, "An approach to graphs of linear forms (Unpublished work style)," unpublished.
- [5] E. H. Miller, "A note on reflector arrays (Periodical style—Accepted for publication)," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, to be published.
- [6] J. Wang, "Fundamentals of erbium-doped fiber amplifiers arrays (Periodical style—Submitted for publication)," *IEEE J. Quantum Electron.*, submitted for publication.
- [7] C. J. Kaufman, Rocky Mountain Research Lab., Boulder, CO, private communication, May 1995.
- [8] W. D. Doyle, "Magnetization reversal in films with biaxial anisotropy," in *1987 Proc. INTERMAG Conf.*, pp. 2.2-1–2.2-6.
- [9] G. W. Juette and L. E. Zeffanella, "Radio noise currents in short sections on bundle conductors (Presented Conference Paper style)," presented at the IEEE Summer power Meeting, Dallas, TX, Jun. 22–27, 1990, Paper 90 SM 690-0 PWRs.
- [10] Clavel, R. Delta, a fast robot with parallel geometry. In Proceedings of the 18th International Symposium on Industrial Robots, Lausanne, France, 26– 28 April 1988, 91– 100.
- [11] Bonev, I. Delta parallel robot – the story of success, 2001, available from <http://www.parallemic.org/Reviews/Review002.html>.
- [12] Callegari, M. and Tarantini, M. Kinematic analysis of a novel translational platform. *Trans. ASME*, 2003, 125, 308– 315.
- [13] Di Gregorio, R. Kinematics of the translational 3-URC mechanism. In Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, Como, Italy, 8–11 July 2001, Vol. 1, pp.147–152.
- [14] Joshi, S. A. and Tsai, L. W. Jacobian analysis of limitedDOF parallel manipulators. *ASME J. Mech. Des.*, 2002, 124(2), 254– 258.
- [15] Romdhane, L., Affi, Z., and Fayet, M. Design and singularity analysis of a 3-translational-DOF in-parallel manipulator. *J. Mech. Des.*, 2002, 124, 419– 426.
- [16] Tsai, L. W. and Joshi, S. A. Kinematics and optimization of a spatial 3-UPU parallel manipulator. *ASME J. Mech. Des.*, 2000, 122, 439– 446.
- [17] Tsai, L. W. and Stamper, R. A parallel manipulator with only translational degrees of freedom. In Proceedings of the ASME Design Engineering Technical Conference, Irvine, CA, USA, 96-DETC-MECH-1152, 1996.
- [18] Acosta, L., Rodrigo, J.J., Mendez, J.A., Marichal, G.N. and Sigut, M. (2003).
- [19] "Ping-Pong Player Prototype," *IEEE Robotics and Automation Magazine*, vol. 10, Issue 4, pp. 44–52.
- [20] Ángel, L., Sebastian, J.M., Saltaren, R., and Aracil, R. (2004). "RoboTennis: Parallel robot with Visual Control," WAC 2004, Seville-Spain.
- [21] Ángel, L., Sebastián, J.M., Saltaren, R., Aracil, R., Gutierrez, R. (2005a). "RoboTennis: Design, Dynamic Modeling and Preliminary Control", In
- [22] Proc. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM'05), Monterrey, California, USA, July 2005.
- [23] Ángel, L., Sebastián, J.M., Saltaren, R., Aracil, R., Sanpedro, J. (2005b). "RoboTennis: Optimal Design of a Parallel Robot with High Performance",
- [24] In Proc. IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS'05), Edmonton, Canada, August 2005.
- [25] Barrientos, A., Peñín, L.F., Balaguer, C., Aracil, R. (2000). *Fundamentos de Robótica*. Mc-Graw Hill, España.
- [26] Baumgarte, J., (1972). "Stabilization of Constrains and Integrals of Motion",
- [27] Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering, Vol. 1 pp. 1-16.
- [28] Bhattacharya, S., Hatwal, H. and Ghosh, A. (1995). "On the Optimum Design of Stewart Platform Type Parallel Manipulators," *Robótica*, vol. 13, pp. 133-140.
- [29] Bhattacharya, S., Hatwal, H., and Ghosh, A. (1998). "Comparison of an exact and an approximate method of singularity avoidance in platform type parallel manipulators". *Mechanism and Machine Theory*, 33(7):965–974.
- [30] Basaravaj, U. and Duffy, J. (1993). "End-effector motion capabilities of serial manipulators," *International Journal of Robotics Research*, vol. 12, No. 2, pp.132–145.
- [31] Bonev, I.A., Ryu, J. (1999). "A simple new closed-form solution of the direct kinematics using three linear extra sensors. In IEEE/ASME Int. Conf. on Advanced Intelligent Mechatronics, pages 526-530, Atlanta, 19-23.
- [32] Bobrow, J. E., Dubowsky, S. and Gibson J. S. (1985). Time-optimal control of robotic manipulators along specified paths. *Int. J. Robot. Res.*, vol. 4, pp. 3–17.
- [33] Cao, B., Dodds, G. I. and Irwin, G. W. (1994). Time-optimal and smooth constrained path planning for robot manipulators. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Automation*, pp. 1853–1858.
- [34] Cadenat, V., Swain, R., Soueres, O., Devy, M. A. (1999) Controller to perform a visually guide tracking task in a cluttered enviroment. *Proc. IEEE Int. Conf. Robotics and Systems*, pp. 775-780
- [35] Carricato, M. and Parenti-Castelli, V. (2002). "Singularity-free fully-isotropic traslational parallel mechanisms," *International Journal of Robotics Research*, vol. 21, No. 2, pp. 161–174.