

**DISEÑO CONCEPTUAL Y ESTUDIO CINEMATICO DE UN ROBOT DELTA
TIPO KEOPS DE 3 GRADOS DE LIBERTAD**

**DANIEL SANTOS MARIN
FABIAN FLOREZ SOLANO**

**Director:
Prof. Ph.D. Omar Lengerke**

**UNIVERSIDAD AUTONOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERIAS FISICO MECANICAS
INGENIERIA MECATRONICA**

2011

OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL

Diseño conceptual, y estudio cinemático de un Robot Delta.

OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el tipo de Robot Delta a diseñar.
- Diseñar un Robot Delta con la herramienta SolidWorks.
- Estudiar el movimiento del Robot Delta seleccionado con ayuda de la Cinemática.

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel industrial el empaquetado es el proceso mediante el cual se guardan, protegen y preservan los productos durante su distribución, almacenaje y manipulación, se necesita seleccionar el número de ítems y seguido se procede al debido empaquetamiento.

Se ha propuesto el diseño conceptual, y el estudio cinemático de un Robot Delta para el encajado de productos unitarios en empresas que requieran empaquetamiento en estuches o blísteres.

Los sistemas PICK AND PLACE permiten trabajar a altas velocidades con una elevada precisión, sin deformar el producto ni dañar su superficie además son sistemas altamente flexibles en los que un cambio de formato o aplicación a menudo tan solo requiere un cambio de herramienta.

El proyecto fue planteado con el fin de reducir los tiempos de ciclo, disminuyendo los costes de fabricación e incrementando tanto la calidad como el nivel de producción.

El hecho de incrementar el nivel de producción indica utilizar al máximo el espacio físico y equipo llegando así a un potencial máximo, y variar el nivel de producción es ajustarse a las condiciones del mercado, entonces mayor producción significaría competir.

MARCO TEORICO

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

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.

ROBOTS DELTA

Los robots Delta, conocidos también como robots araña, son un tipo de robot paralelo que consta de tres brazos conectados a articulaciones universales en una base ubicada encima del material que se mueve.

Los orígenes del manipulador delta se remontan a la patente 4.976.582 del gobierno estadounidense. La misma se encuentra adscrita al nombre de Raymond Clavel a quien se le reconoce como su creador.

“Es un dispositivo para el movimiento y posicionamiento de un elemento en el espacio.”

Raymond Clavel

Ventajas de un Robot Delta

- La velocidad y flexibilidad de los robots Delta los hace ideales para aplicaciones donde las cargas son livianas y las distancias de movimiento son cortas.
- La geometría del robot le permite moverse rápidamente dentro de un espacio tridimensional y orientar una carga alrededor de su eje vertical.
- La capacidad de cambiar fácilmente a diferentes productos es una ventaja clave de la tecnología Delta.
- Además 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 la frecuencia de reemplazo. Estas ventajas hacen que los robots Delta sean ideales para aplicaciones de recoger y colocar en la industria.

Aplicaciones de un Robot Delta

Usados comúnmente en:

- Aplicaciones de pick & place.
- Robots empacadores.
- Robots de operación y ensamble de componentes electrónicos.
- Aplicaciones donde se puede aprovechar la alta velocidad de estos robots.

Algunas Aplicaciones del Robot Delta en la Industria

En el ámbito industrial, el manipulador Delta ha sido principalmente empleado para lo que fue conceptualizado por su diseñador: para el traslado de objetos en el espacio ("pick-and-place"). En este sentido, **Demaurex(a)** ofrece soluciones completas de automatización, no limitándose a la venta solamente de robots, sino de celdas completas para el traslado y empaquetamiento.

Adicionalmente, **ABB(b)** incursionó en los sectores alimenticios, farmacéuticos y electrónicos con el desarrollo del manipulador Delta conocido como "FlexPicker".

Demaurex (a)



ABB (b)



Tipos de Robot Delta

Este tipo de manipuladores tiene principalmente tres configuraciones:

- Delta con actuadores rotacionales
- Delta con actuadores lineales
- Delta lineal.

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.

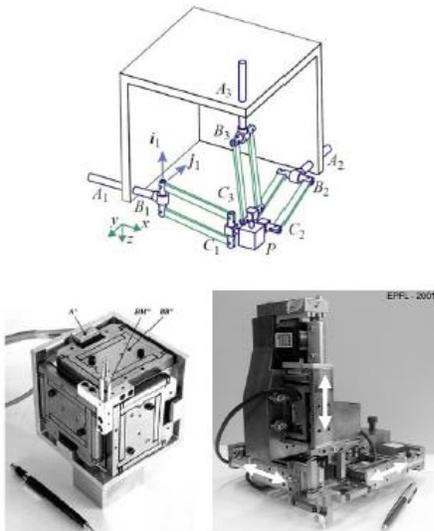
Componentes de un Robot Delta Lineal

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 ortogonal (a), la familia horizontal (b), vertical (c), la inclinada más conocida como Keops (d) y la híbrida llamada Ibis (e).

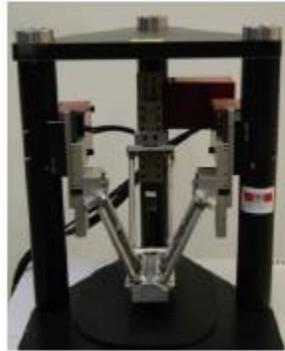
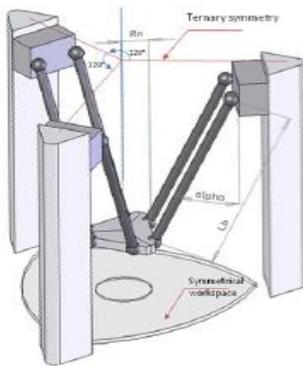
Ortogonal (a)



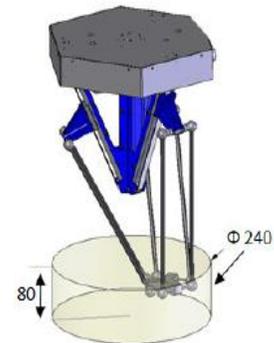
Horizontal (b)



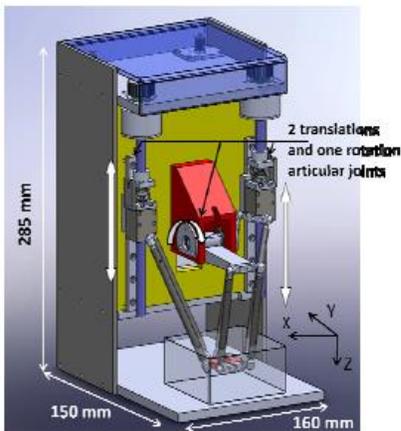
Vertical (c)



Keops (d)



Ibis (e)



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.

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

λ = Grados de Libertad
 n = Numero de Eslabones
 j = Numero de Juntas
 f_i = Grados de Movimiento Permitido por la Junta
 F = Grados de Libertad

CINEMATICA

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.

DINAMICA ROBOTICA

La dinámica se ocupa de la relación entre las fuerzas que actúan sobre un cuerpo y el movimiento que en él se origina. Por lo tanto, el modelo dinámico de un robot tiene por objeto conocer la relación entre el movimiento del robot y las fuerzas implicadas en el mismo.

Esta relación se obtiene mediante el denominado modelo dinámico, que relaciona matemáticamente:

- La localización del robot definida por sus variables articulares o por las coordenadas de localización de su extremo, y sus derivadas: velocidad y aceleración.
- Las fuerzas pares aplicados en las articulaciones (o en el extremo del robot).
- Los parámetros dimensionales del robot, como longitud, masa e inercias de sus elementos.

La obtención de este modelo para mecanismos de uno o dos grados de libertad no es excesivamente compleja, pero a medida que el número de grados de libertad aumenta, el planteamiento y obtención del modelo se complica enormemente. Por este motivo no siempre es posible obtener un modelo dinámico expresado de una forma cerrada, esto es, mediante una serie de ecuaciones, normalmente del tipo diferencial de segundo orden, cuya integración permita conocer que el movimiento surge al aplicar unas fuerzas o que fuerzas hay que aplicar para obtener un movimiento determinado.

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. 1

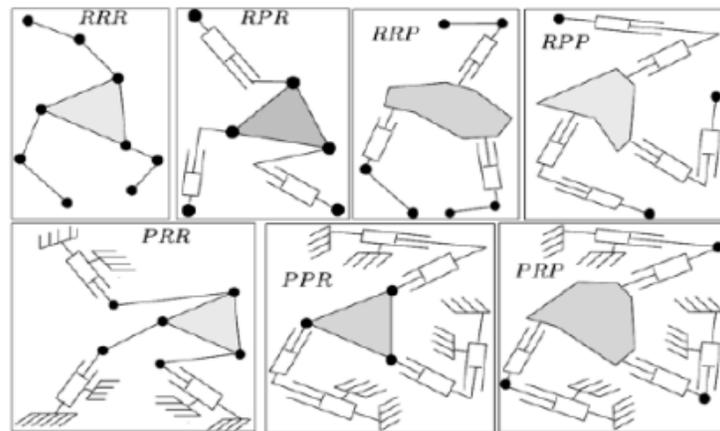


Fig. 1: Diferentes tipos de manipuladores planos con actuadores prismáticos y giratorios.

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. 2(a). El Ojo de Águila propuesto por C. Gosselin, Fig. 2(b). Y el Capaman propuesto por M. Ceccarelli Fig. 2(c).

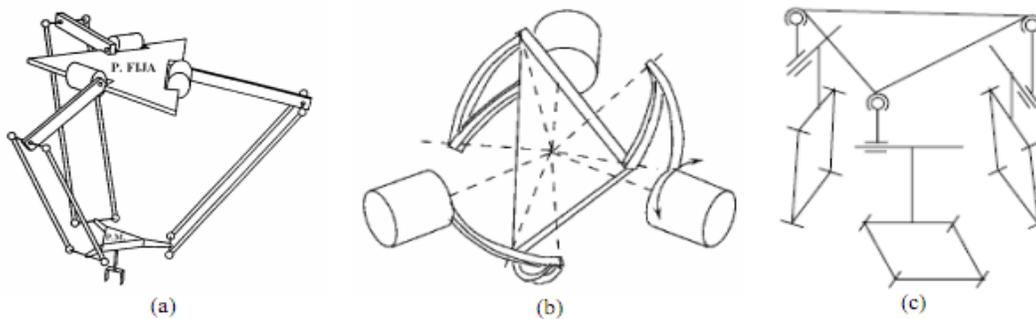


Fig. 2: Robots de tres grados de libertad con actuadores giratorios, (a) Delta, (b) Ojo de Águila, (c) Capaman

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. 3(a). El Tricept patentado por K.E. Neumann, Fig. 3(b). Y el 3-UPU propuesto por L.W. Tsai, Fig. 3(c).

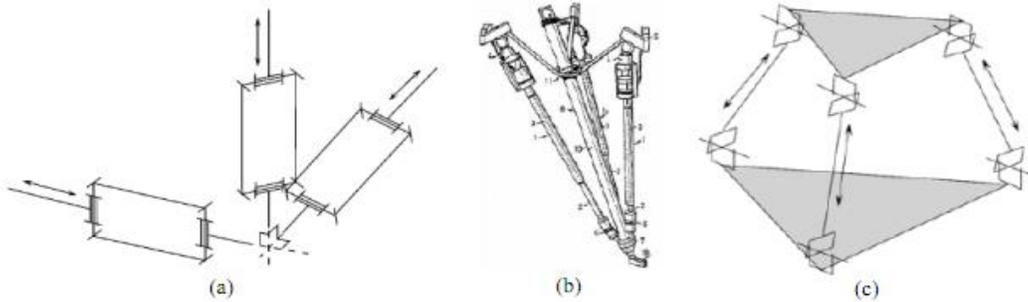


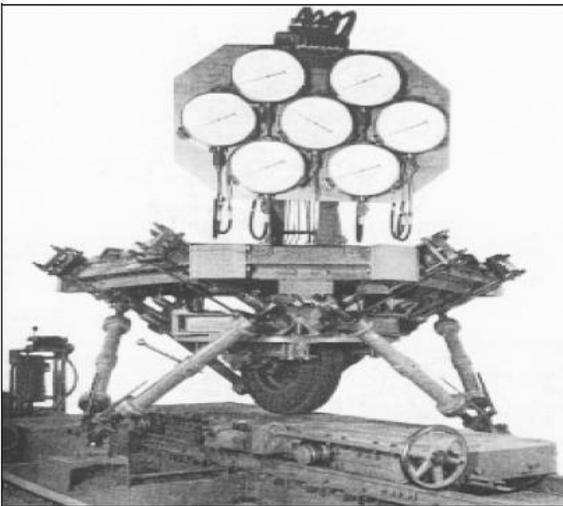
Fig. 3: Robots de tres grados de libertad con actuadores lineales, (a) Orthoglide, (b) Tricept, (c) 3-UPU

ESTADO DEL ARTE

Se define un robot paralelo como:

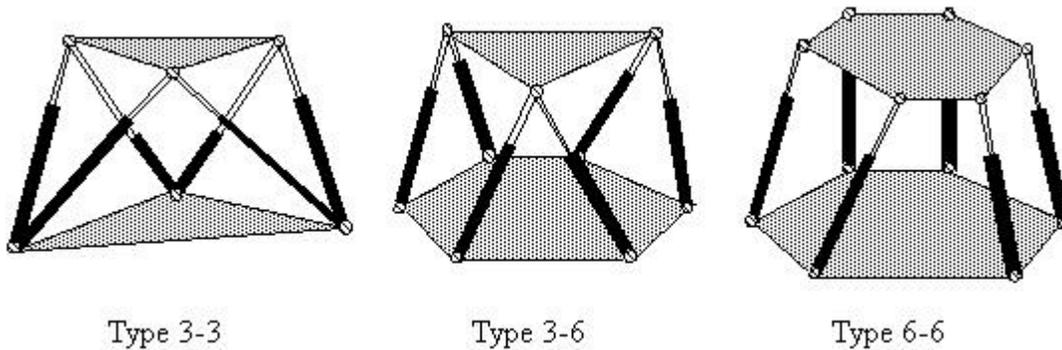
“Aquellos robots en los que el extremo final está unido a la base por más de Una cadena cinemática independiente”.

La arquitectura de los robots paralelos es muy diferente a la de los robots serie, lo que conduce a que la mayoría de los problemas teóricos se deban reconsiderar. De hecho existe una extraña dualidad entre ambos tipos de mecanismos, ya que un problema de difícil solución para un tipo de estructura, es fácilmente resoluble por el otro tipo de estructura, y viceversa (Zamanov, 1991), (Waldron, 1991). La estructura cinemática de los robots paralelos se conoce desde hace mucho tiempo. Ya en 1813, Cauchy estudió la rigidez de un octaedro articulado. Sin embargo, fue mucho más tarde cuando Gough y Whitehall (1962) propusieron un mecanismo similar para el ensayo de neumáticos.



Hasta mediados de la década de los 80, la mayoría de los diseños se centraron en dos configuraciones. Una con la base y el efector final con forma triangular y los actuadores de dos en dos coincidiendo en los vértices de cada triángulo; y otra,

con la plataforma móvil de forma triangular y los actuadores coincidiendo dos a dos en un los vértices el triángulo y con seis puntos distintos contenidos en el plano de la base con forma hexagonal. Estas configuraciones se denotan como 3-3 plataforma de Stewart (Figura 2.2a) y 6-3 plataforma de Stewart (Figura 2.2b), respectivamente. Muy pronto se observó que la coincidencia de las articulaciones esféricas restringía de forma severa la movilidad del manipulador, sin embargo la configuración 6-3 todavía se mantuvo popular por algún tiempo. Otra configuración que empezó a ser muy popular es la que tenía hexágonos semirregulares como puntos de conexión tanto en la base como en el efector final (6-6 plataforma de Stewart) (Figura 2.2c).



Según la estructura cinemática, los manipulantes paralelos de tres grados de libertad, se clasifican en cuatro tipos: planar, esférico, espacial y mixto.

Robots paralelos con dos grados de libertad rotacionales y uno translacional han sido propuestos por (Agrawal 1991), (Fang and Huang, 1997), (Lee and Shah, 1987), (Lee and Arjuman, 1991), (Pfreundschuh et al., 1991), (Song and Zhang, 1995), (Waldron et al., 1989). Manipuladores paralelos planares y esféricos han sido estudiados por (Asada and Cro Granito 1985), (Cox and Tesar, 1989), (Gosselin et al., 1992), (Gosselin and Lavoie, 1993), (Gosselin et al., 1996), (Carretero et al., 2000), (Vischer and Clavel, 2000). Las estructuras mixtas son empleadas como simuladores de movimiento, muñecas en robots híbridos serie-paralelo y en sistemas de mixtos de posicionamiento y orientación (Lee and Shah, 1988), (Waldron et al., 1989), (Carretero et al., 2000), (Di Gregorio and Parenti-Castelli, 2001).

DISEÑO METODOLOGICO

La metodología utilizada se ha estructurado en fases que se 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 Y Dinámico: 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.

SELECCIÓN Y 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.



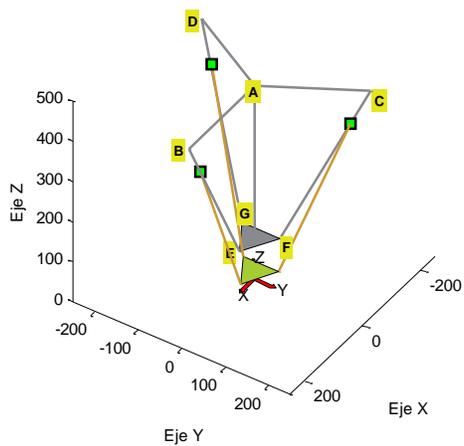
Fig. 10: Robot Delta Lineal tipo Keeps

ANALISIS CINEMATICO DE UN ROBOT DELTA DE 3 GRADOS DE LIBERTAD

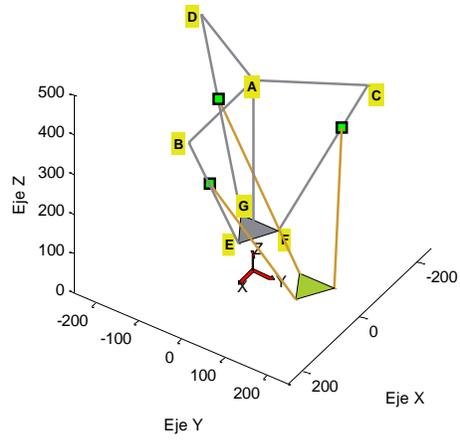
En Robótica, la Cinemática inversa es la técnica que permite determinar el movimiento de una cadena de articulaciones para lograr que un actuador final se ubique en una posición concreta.

Programa 1

[0,0,0]



[-50,100,-50]



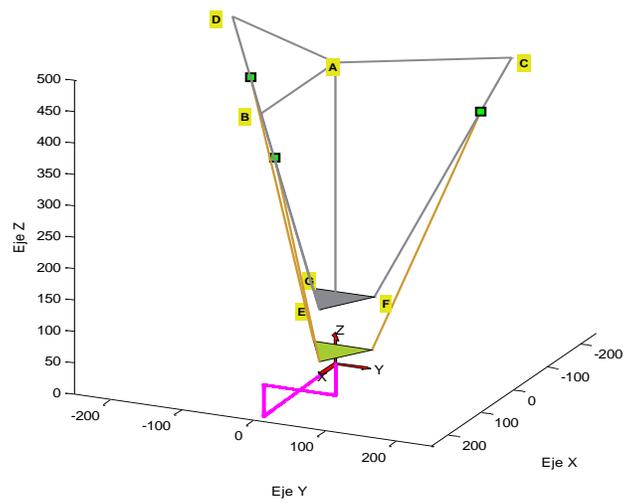
Programa 2

[0,0,-50]

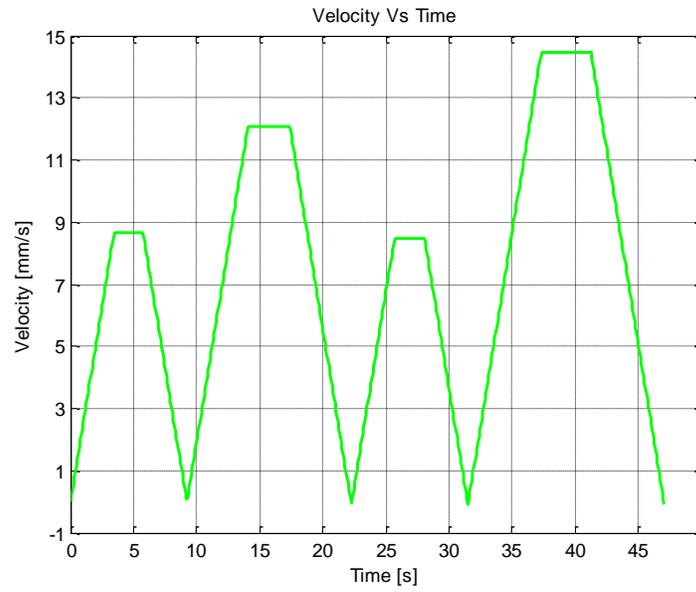
[0,-100,-50]

[0,-100,-100]

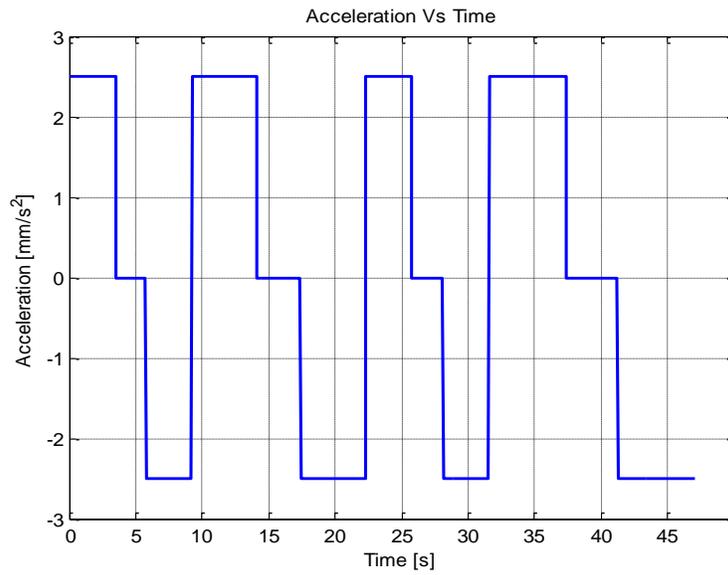
[0,0,0]



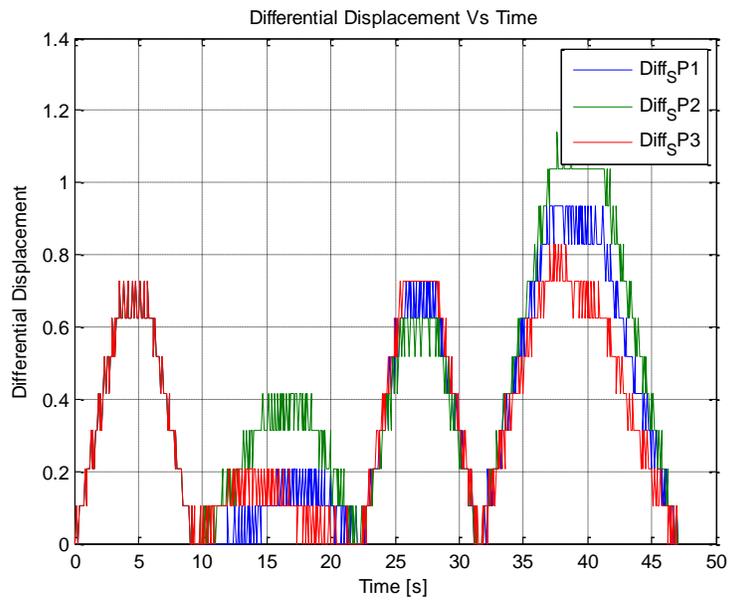
Velocidad



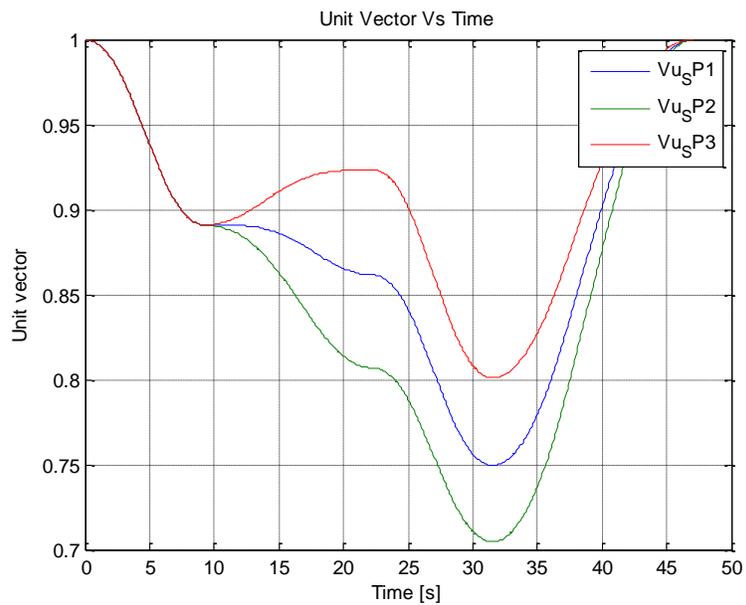
Aceleración



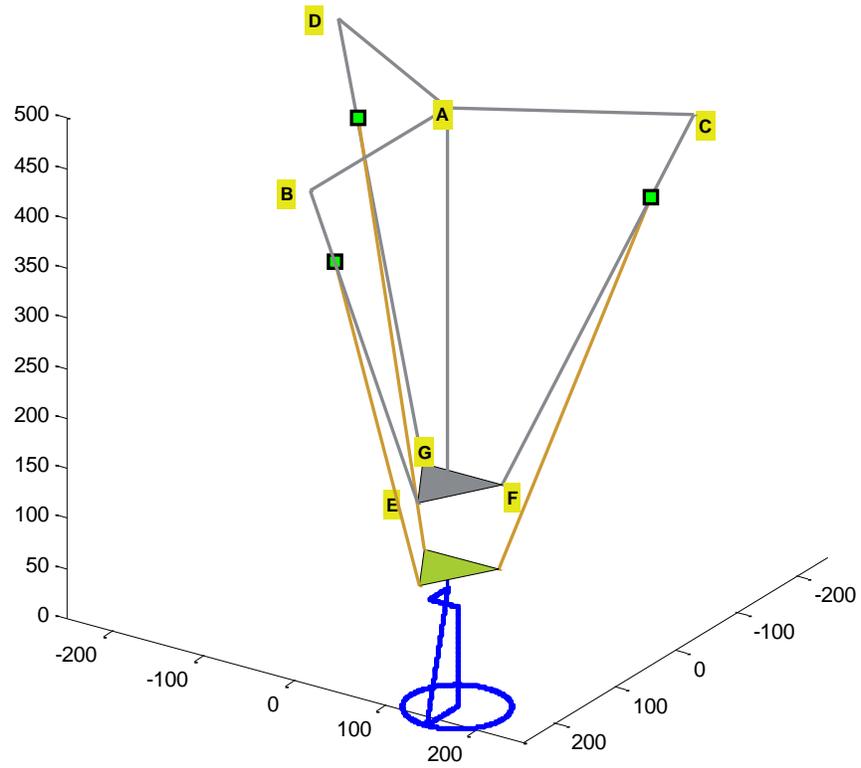
Desplazamiento Diferencial



Vector Unitario

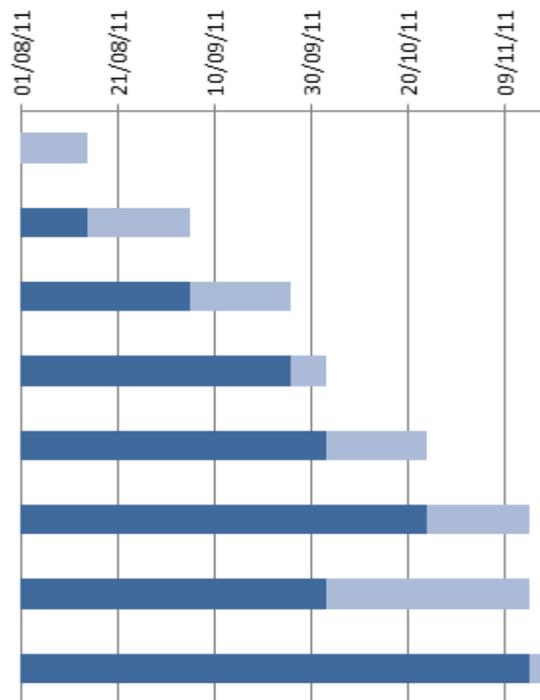


Programa 3



CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Actividad	Fecha de Inicio	Duración (días)	Duración (semanas)	Fecha Final
DEFINICION	01/08/2011	14	2	12/08/2011
ESTADO DEL ARTE	15/08/2011	21	3	02/09/2011
DISEÑO SOLID WORKS	05/09/2011	21	3	23/09/2011
PRIMERA ENTREGA	26/09/2011	7	1	30/09/2011
ESTUDIO CINEMATICO	03/10/2011	21	3	21/10/2011
ESTUDIO DINAMICO	24/10/2011	21	1	11/11/2011
SIMULACION	03/10/2011	42	6	11/11/2011
ULTIMA ENTREGA	14/11/2011	7	1	18/11/2011



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 utilizó para calcular el punto de los deslizadores.
- Un vector unitario es una forma de representar un vector con una orientación específica 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.

BIBLIOGRAFIA

- [1] D. Stewart. "A platform with six degrees of freedom". UK Institution of Mechanical Engineers Proceedings. Vol. 180 N° 15, pp. 71-379. 1965-66.
- [2] K.H. Hunt and E.J.F. Primrose. "Assembly Configurations of some In-Parallel-Actuated Manipulators". Mechanism and Machine Theory. Vol. 28 N° 1, pp. 31-42. 1993.
- [3] L.W. Tsai. "Kinematics of three d.o.f. platform with tree extensible limbs". Recent advances in robot kinematics, pp. 401-410. 1996.
- [4] D. Kim and W. K. Chung. "Kinematics condition analysis of three d.o.f. pure translational parallel manipulators". Journal of mechanical design. Vol. 125, pp. 323-331. 2003.
- [5] H. S. Kim and L.W. Tsai. "Kinematics synthesis of spatial 3- RPS parallel manipulator". Vol. 125, pp. 92- 97. 2003.
- [6] M. Carricato and V.P. Castelli. "A family of 3 - Dof translational parallel manipulators". Transactions of the ASME. Vol. 125, pp. 302-306. 2003.
- [7] M. Carricato and V.P. Castelli. "Position analysis of a new family of 3 d.o.f. translational parallel manipulators". Transactions of the ASME. Vol. 125, pp. 316-322.2003.
- [8] A. Cherfia, A. Zaatri and M. Giordano . "Kinematics analysis of a parallel robot with 3 DOF and 4 segments in pure translation". MansouraEngineeringjournal (MEJ). Vol. 31 N° 2. 2006.
- [9] X.J. Liu. "Mechanical and kinematics design of parallel robotic mechanisms with less than six degrees of freedom". Postdoctoral Research Report Tsinghua University .Beijing , China . 2001.
- [10] X.J. Liu, J.I. Jeong and J. Kim. "A three translational DoFs parallel cube-manipulateur". Robotica. Vol. 21, pp. 645-653. Cambridge University Press. 2003.