

APLICACIÓN DE MANIPULADOR 3R-P-S EN POSICIONADO DE UN CORNER REFLECTOR

Rojos Esteban, Penisi Osvaldo, Aguilar Horacio, Alba Juez F.

*Instituto de Mecánica Aplicada
Facultad de Ingeniería
Universidad Nacional de San Juan
Av. Libertador Gral. San Martín 1109 oeste San Juan – Argentina
Tel/Fax: +54-2644210277
E-mail: erojos@unsj.edu.ar, openisi@unsj.edu.ar, haguilar@unsj.edu.ar,
falba@unsj.edu.ar*

Resumen: Los Corner Reflector son utilizados en aplicaciones espaciales en la información satelital con propósitos diversos. Reciben señal de un radar satelital de apertura sintética, reflejándola paralelamente a si mismo, convirtiéndose en un punto brillante en la imagen. Para recibir una señal óptima, debe ser posicionado con precisión. Los desarrollos existentes los posicionan manualmente. Este trabajo muestra una aplicación de manipuladores paralelos 3R-P-S para el posicionado del Corner Reflector, permitiendo su instalación en el lugar de medición, soportando las diversas condiciones atmosféricas y de tal manera que su comando de posición esté ubicado en cualquier centro terreno de operación, no necesitando un operador en su lugar de instalación.

MANIPULATOR'S APPLICATION 3R-P-S IN A CORNER REFLECTOR POSITION

Abstract -The Corner Reflectors are used for various purposes in space applications in satellite information. They receive a signal from a radar of satellite synthetic opening, reflecting it in parallel, transforming it into a shining point in the image. They must be positioned accurately in order to receive an optimum signal. Present day developments are positioned manually. This paper shows an application of 3R-P-S parallel manipulators to be used in their positioning. They can be installed in the measurement location, being capable of enduring the various atmospheric conditions and their Position Control Command can be found in any earth operation centre, without needing an operator in the installation site.

Palabras Claves: Componentes robóticos, manipuladores paralelos, aplicación a medición espacial, sistemas mecatrónicos, región de trabajo.

1. INTRODUCCION

Los corner reflector son utilizados en aplicaciones espaciales y tienen específicamente la misión de reflejar la señal que reciben de un radar satelital de apertura sintética [Golitschek A. 1996], [Curlander, McDonough (1991)], [Jason Williams (1995)]. Desde el punto de vista mecánico son aparatos de posición fija y no de seguimiento. Para lograr el objetivo de estos aparatos es necesario posicionarlos con precisión. La mayoría de estos son posicionados en forma manual, lo cual ocasiona

esfuerzos y pérdidas de tiempo del operario en trasladarse al lugar donde se encuentra instalado el corner reflector, el cual puede ser lejano de la estación terrestre satelital. Estos aparatos son colocados en el medio ambiente sin protección de ninguna naturaleza, debiendo soportar todas las inclemencias climáticas de la zona donde estén instalados.

De la observación de diversos diseños de estos aparatos, se desprende que no hay una uniformidad de mecanismos para su posicionamiento, siendo en todos los casos de accionamiento manual.

En este trabajo se propone la utilización de un manipulador paralelo para lograr el posicionamiento, dado que estos mecanismos tienen la característica de resistir grandes esfuerzos, y sus movimientos son rápidos, precisos y pueden ser comandados a distancia con un sistema apropiado de control [Ottaviano E., Carbone G., Ceccarelli M., (2002)]. Estos manipuladores están compuestos por varios elementos de los cuales uno de ellos es el bastidor y otro es la plataforma móvil, la cual puede ser ubicada en una posición determinada en el espacio. Teniendo en cuenta lo mencionado en [Lung-Wuen Tsai, (1999)], se determinará si este manipulador es esférico o no, ya que siendo esférico se tendría la certeza que el sistema es capaz de tener acceso a toda la semiesfera del espacio ubicada por encima del plano del horizonte, de lo contrario habría que determinar las regiones que alcanza el manipulador. Si la plataforma móvil se hace coincidir con un plano de apertura del corner reflector perpendicular a su eje, para el posicionamiento de éste es necesario conocer la posición y la orientación de la plataforma móvil del manipulador. Para la solución de esto se proponen varios métodos los cuales son mencionados en [Barrientos A., Peñín L., Balaguer C., Aracil R., (1997)] y darán origen a ecuaciones vectoriales de posición.

En este trabajo, para la solución de las ecuaciones que resulten del análisis del sistema, se utilizarán las coordenadas homogéneas y el álgebra de matrices. Ambos temas matemáticos son desarrollados con suficiente extensión en [Barrientos A., Peñín L., Balaguer C., Aracil R., (1997)].

Una vez conocida las diferentes posiciones del sistema se podrá tener certeza de cuáles son las regiones del espacio que son alcanzadas por la plataforma móvil del manipulador y por lo tanto del corner reflector.

2. CORNER REFLECTOR Y SISTEMA MANIPULADOR

El corner reflector es una estructura piramidal de superficies laterales iguales cuyo interior es utilizado para reflejar las ondas radiantes que le llegan. La abertura del corner reflector es la figura que resulta de la intersección de la estructura piramidal con un plano que es perpendicular al eje de la misma. Esta figura es un triángulo equilátero, la cual se puede hacer coincidir con la plataforma móvil de un manipulador paralelo.

El sistema manipulador debe ser simple desde el punto de vista del accionamiento, por lo tanto, tiene que ser capaz de realizar su función con la menor cantidad de actuadores posibles, lo cual implica que su control no será complicado, y que su costo y mantenimiento resultarán ser bajos [Márquez-Santoyo P, Castillo-Castañeda E, Velázquez-Camacho R., (2002)]. Un manipulador que cumple con estas condiciones es el 3R-P-S. En la Fig. 1 se muestra el manipulador, en ella se puede ver que está compuesto por tres piernas idénticas que vinculan la plataforma móvil con la fija.

Cada pierna está compuesta de una barra superior y otra inferior conectadas a través de una junta prismática. La barra superior está conectada a la plataforma móvil a través de una junta esférica y la inferior a la plataforma fija a través de una junta de revolución. Por lo tanto, se puede decir que el sistema tiene ocho barras, de las cuales una es el bastidor y otra forma parte del corner reflector, y tres piernas compuesta por dos barras cada una, tres articulaciones de revolución, tres articulaciones prismáticas y tres articulaciones esféricas. Las uniones a las plataformas fija y móvil se hacen en puntos que determinan en el plano una figura triangular equilátera, por lo tanto, se puede hacer coincidir la plataforma móvil del manipulador con la apertura del corner reflector o con cualquier plano paralelo a este.

En la Fig. 2 se muestra el manipulador con el corner reflector.

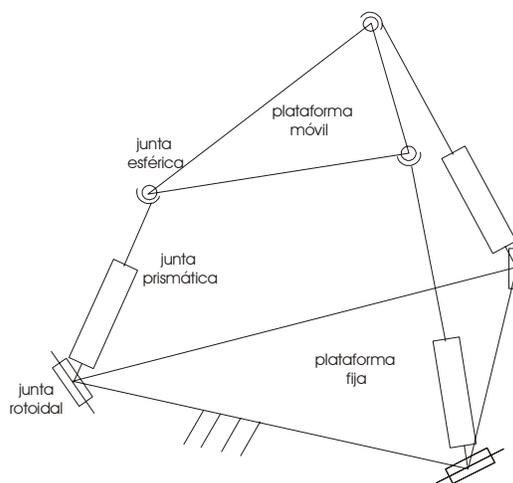


Fig. 1 Manipulador paralelo 3R-P-S

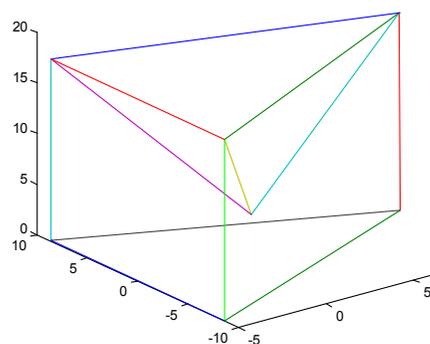


Fig. 2 Manipulador 3RPS con el corner reflector.

Los grados de libertad de este mecanismo, pueden ser calculados por la expresión:

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

Se determina que los grados de libertad del mecanismo son tres, con lo cual se puede usar las juntas prismáticas como entradas al manipulador.

3. POSICIÓN Y ORIENTACIÓN

Para determinar la posición y la orientación de los puntos de la plataforma móvil, se fija una terna móvil solidaria a ésta. Cuando la posición y la orientación de la terna móvil con respecto a una terna fija quedan definidas, también queda definida la posición y orientación de la plataforma móvil.

En la Fig. 3 se indican los elementos utilizados para el análisis del manipulador, en la cual, la plataforma móvil es un triángulo equilátero en cuyo centroide se ubica el origen P de la terna coordenada cartesiana móvil (u, v, w), y en los vértices (B₁, B₂, B₃) se encuentran las juntas esféricas; el eje u coincide con la dirección PB₁. El bastidor es también un triángulo equilátero en cuyo centroide está el origen O de la terna coordenada cartesiana fija (X, Y, Z) y en los vértices (A₁, A₂, A₃) se encuentran las juntas de revolución cuyos ejes están en plano X, Y. El eje X coincide con la dirección OA₁.

La ubicación (posición y orientación) de un punto cualquiera de la plataforma móvil respecto de la terna fija queda determinada a través de

$$\bar{q}_i = \bar{p} + R * \bar{b}_i \quad (2)$$

3.1 Solución y gráfica de posiciones

La solución de la ec. (2) se resolverá a través del álgebra matricial en coordenadas homogéneas.

La matriz de transformación homogénea está compuesta por el producto de las matrices de desplazamiento del origen de coordenadas del sistema móvil, y las matrices de giro de los ejes del mismo sistema.

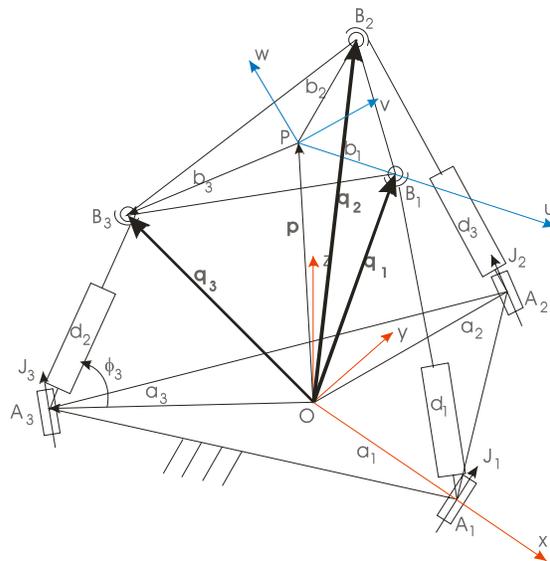


Fig. 3 Sistemas de referencias ubicados en la plataforma fija (X, Y, Z) y móvil (u, v, w).

$$T = Sf(p_x, p_y, p_z) * S_1f(\theta) * S_2f(\alpha) \quad (3)$$

Por lo tanto la ec. (2) queda expresada como:

$$\bar{q}_i = T * \bar{b}_i \quad (4)$$

Los valores de las componentes del vector que une el origen del sistema fijo con el origen del sistema móvil, y que son las componentes de la matriz de desplazamiento, se pueden determinar teniendo en cuenta la Fig. 4, donde en (a) se considera que la plataforma gira respecto de v y en (b) se considera que ésta gira respecto de u.

$$p_x = 0.5 * g * (1 - \cos\theta) \quad (5)$$

$$p_y = 0.866 * g * (1 - \cos\alpha) \quad (6)$$

$$p_z = 0.5 * g * \sin\theta + D \quad (7)$$

De la Fig. 4 se pueden determinar los valores de los ángulos θ y α , de las matrices de rotación.

$$a = 0.5 * g \quad (8)$$

$$k = \sqrt{a^2 + D^2} \quad (9)$$

$$d^2 = a^2 + k^2 - 2 * a * k * \cos\eta$$

$$\Rightarrow \eta = \arccos\left(\frac{a^2 + k^2 - d^2}{2 * a * k}\right) \quad (10)$$

$$\varepsilon = \arctan\left(\frac{D}{0.5 * g}\right) \quad (11)$$

$$\theta = \eta - \varepsilon \quad (12)$$

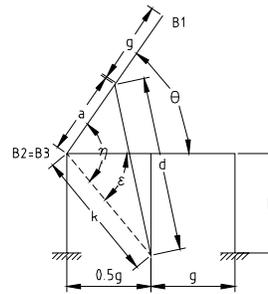


Fig. 4 Giro de la plataforma; a) giro respecto de v

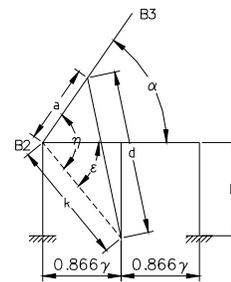


Fig. 4 Giro de la plataforma; b) giro respecto de u

Las mismas ecuaciones anteriores se pueden utilizar para determinar los valores de α , en este caso teniendo en cuenta la Fig. 4 b) donde ahora se considera que la plataforma gira respecto del eje u.

Los vectores en coordenadas homogéneas que representan la posición de los vértices del cono en relación con la terna móvil, se pueden determinar de la Fig. 5 y están dados por:

$$\vec{b}_1 = [g, 0, 0, 1] \quad (13)$$

$$\vec{b}_2 = [-0.5*g, 0.866*g, 0, 1] \quad (14)$$

$$\vec{b}_3 = [-0.5*g, -0.866*g, 0, 1] \quad (15)$$

$$\vec{b}_4 = [0, 0, -15, 1] \quad (16)$$

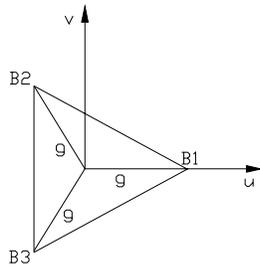


Fig 5 Ubicación del sistema móvil en la plataforma móvil.

Finalmente para resolver la ec. (3) se ha implementado un programa en ambiente MATLAB, determinando y graficándose las diferentes posiciones de la plataforma móvil al variar las longitudes de las piernas, ya sea de una por vez ó de a pares.

3.2 Máxima longitud de las piernas

Del análisis de las Figs. 6 a 11, donde se muestran diferentes posiciones que puede alcanzar el manipulador robótico, y teniendo en cuenta que la ec. (3) ha quedado en función de la geometría del manipulador, se puede definir la máxima longitud que debe alcanzar la pierna para que la plataforma se ubique en una posición deseada y permitida por la configuración del manipulador.

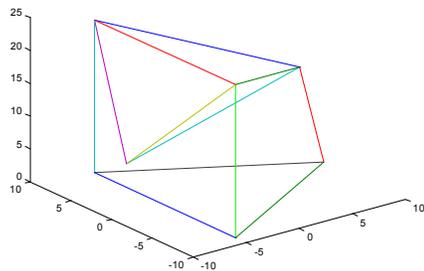


Fig. 6 Longitud variable de las piernas A_2B_2 y A_3B_3 .

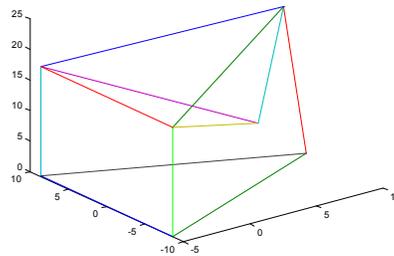


Fig. 7 Longitud variable de la pierna A_1B_1 .

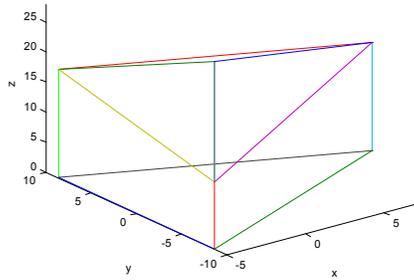


Fig. 8 Longitud variable de la pierna A_3B_3 .

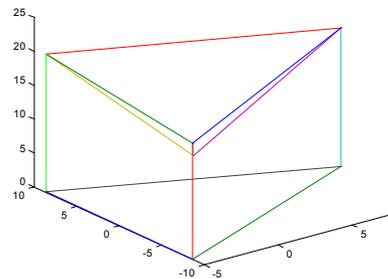


Fig. 9 Longitud variable de las piernas A_1B_1 y A_2B_2 .

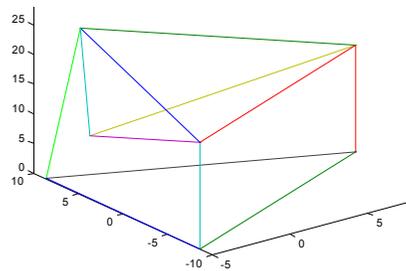


Fig. 10 Longitud variable de la pierna A_2B_2 .

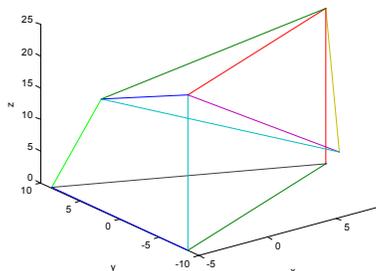


Fig. 11 Longitud variable de las piernas A_1B_1 y A_3B_3 .

Teniendo en cuenta la Fig. 12 se puede determinar la máxima longitud de la pierna:

$$J = \sqrt{(1.5 * g)^2 + D^2} \quad (17)$$

$$\tau = \arctan\left(\frac{D}{1.5 * g}\right) \quad (18)$$

$$\eta = \theta + \tau \quad (19)$$

$$L^2 = (a + g)^2 + J^2 - 2 * (a + g) * J * \cos \eta \quad (20)$$

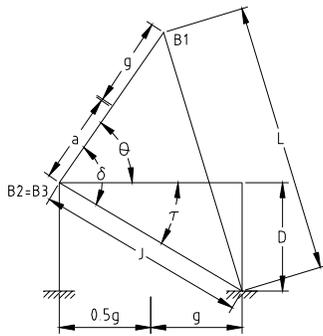


Fig 12 Variables que permiten determinar la máxima longitud de la pierna.

El valor de η puede ser determinado de las ecs. (12) y (19), teniendo en cuenta que θ nos dará la posición deseada de la plataforma dentro de las direcciones de giro permitidas por el mecanismo. Es importante destacar que esta longitud máxima es función de la geometría de todo el sistema.

3.3 Regiones del espacio que son vistas por la plataforma

El ángulo de elevación como el ángulo azimutal son ángulos que corresponden a un sistema coordenado de referencia local utilizado en astronomía (Fig.13).

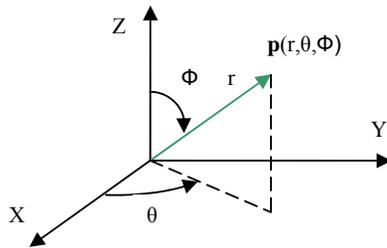


Fig.13 Ángulos en astronomía

Si la plataforma móvil se mueve como consecuencia del movimiento de una de las piernas ó dos en forma simultánea se produce su movimiento en relación al ángulo de altura solar ϕ . El máximo valor de este ángulo es de 90° , el sistema permite alcanzarlo, pero para ello debe haber una cierta

combinación en los valores de sus parámetros geométricos que está dada por la ec. (20). Si el movimiento de la misma se produce cuando dos piernas no se mueven en forma simultánea, la plataforma se posiciona en relación al ángulo azimutal θ . El máximo recorrido alcanzado en el ángulo azimutal es de 120° , para el movimiento no simultáneo de un par de piernas. Entonces cuando se producen 3 combinaciones de pares de piernas consecutivas con movimiento no simultáneo la plataforma puede posicionarse en los 360° . Cuando un par de piernas han alcanzado su máxima longitud, todo el sistema debe volver a su posición original para recorrer otros 120° con la combinación de movimiento de otro par de piernas diferentes.

El movimiento en elevación se puede ver en la Fig. 14, y el movimiento en el ángulo azimutal se observa siguiendo la secuencia de movimiento en las Figs. 15 y 16.

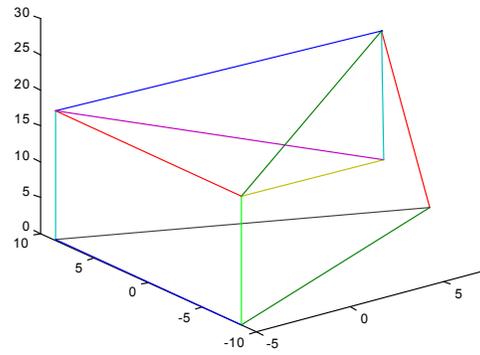


Fig 14 La pierna A_1B_1 está totalmente estirada.

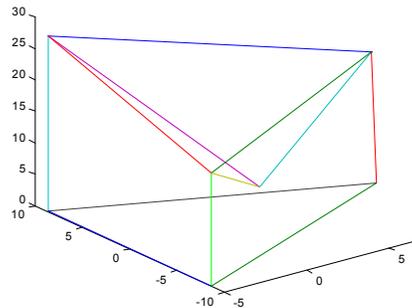


Fig 15 La pierna A_2B_2 comienza a estirarse

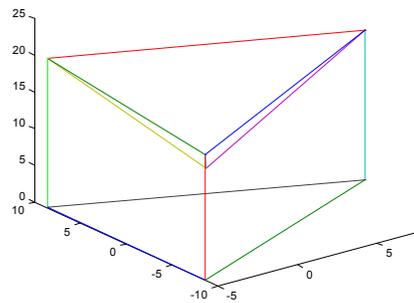


Fig. 16 La pierna A_2B_2 está totalmente estirada.

Por lo tanto, el movimiento de posicionamiento que le permite el mecanismo 3RPS al Corner Reflector es de 360° en relación al ángulo azimutal y de 90° en relación al ángulo de elevación. Es importante destacar que este mecanismo no permite el seguimiento de un objeto en toda la semiesfera celeste ya que cada 120° recorridos en el ángulo azimutal, el sistema en forma completa debe volver a su posición original para poder recorrer otros 120° nuevamente. Solamente puede posicionarse en cualquier punto de la esfera celeste que está por encima del plano del horizonte.

Dado que la información de pasada de satélites es dada por las coordenadas de elevación y azimut, es necesario poder convertir a estas en la secuencia de movimiento de las distintas piernas y en las longitudes que ellas deben alcanzar para poder ejercer el control sobre los actuadores del manipulador.

La relación matemática que vincula un plano cualquiera con su normal está dada por la expresión:

$$Ax + By + Cz - (Ax_1 + By_1 + Cz_1) = 0 \quad (21)$$

Considerando que la recta que da la dirección en el espacio pasa por el origen de coordenadas del sistema fijo, se puede expresar como:

$$\begin{aligned} A &= \cos(90 - \phi) \cos \theta \\ B &= \cos(90 - \phi) \sin \theta \\ C &= \sin(90 - \phi) \end{aligned} \quad (22)$$

Un plano que pasa por un punto (x_1, y_1, z_1) de la plataforma móvil y que resulte perpendicular a la orientación (θ, ϕ) deseada, está dado por:

$$\begin{aligned} \cos(90 - \phi) \cos \theta x_1 + \cos(90 - \phi) \sin \theta y_1 + \sin(90 - \phi) z_1 - \\ [\cos(90 - \phi) \cos \theta x_1 + \cos(90 - \phi) \sin \theta y_1 + \sin(90 - \phi) z_1] = 0 \end{aligned} \quad (23)$$

Conocido el valor de (θ, ϕ) y un punto de la plataforma móvil, estas ecuaciones permiten determinar las coordenadas de los otros dos puntos que satisfacen a la región de acceso del manipulador. Conocidos estos valores, finalmente se determinan las longitudes de las piernas A_1B_1 , A_2B_2 , A_3B_3 , necesarias para ubicar al corner reflector en la orientación deseada a través de la ec. (20). El sistema de control deberá partir de una posición inicial (ambas plataformas paralelas y mínima longitud de las piernas), para llevar a cada una de las piernas a las longitudes calculadas en la secuencia correcta de cada actuador.

4. CONCLUSIONES

El sistema 3RPS es un sistema robusto que permite soportar grandes esfuerzos que aparecen como consecuencia de los vientos a los que puede estar sometido el corner reflector.

Para lograr el movimiento en el ángulo azimutal se deben mover dos piernas consecutivas en forma no simultánea.

La posición en relación a la elevación se logra con el movimiento de una de las piernas, ó dos de ellas en forma simultánea.

Los 360° del ángulo azimutal se pueden alcanzar combinando movimientos no simultáneos de pares diferentes de piernas.

Este sistema de manipulador permite el posicionamiento del corner reflector en cualquier orientación de la semiesfera celeste que está por encima del plano del horizonte.

El sistema no permite hacer el seguimiento de un objeto en el espacio, solamente puede lograr el posicionamiento del Corner Reflector en cualquier orientación del espacio.

REFERENCIAS

- Golitschek Alexander (1996),
Intern Report Alexander Golitschek's, May 13th to August 16th at the Alaska SAR Facility (ASF)
Geophysical Institute University of Alaska
Fairbanks Fairbanks, AK 99775-7320 USA,
- Lung-Wuen Tsai, (1999)
Robot analysis,
John Wiley and Sons, Inc.
- Barrientos A., Peñín L., Balaguer C., Aracil R., (1997)
Fundamentos de Robótica
McGraw-Hill.
- Ottaviano E., Carbone G., Ceccarelli M, (2002).
Workspace Analysis and performances of a Binary Actuated Parallel Manipulator with Flexural Joints,
Proceedings of MUSME 2002, the International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics, Mexico City, paper n. M10,
- Márquez-Santoyo P, Castillo-Castañeda E, Velázquez-Camacho R., (2002)
Motion Control Study of a 3RSS Parallel Mechanism,
Proceedings of MUSME 2002, the International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics Mexico City, paper No. M22.
- Curlander, McDonough (1991),
Synthetic Aperture Radar,
Wiley-Interscience.
- Jason Williams (1995),
Official Calibration Plan VI.0
ASF