



**II CAIM 2010**  
**Segundo Congreso Argentino**  
**de Ingeniería Mecánica**  
**San Juan - Noviembre 2010**

## **Parámetros para Control de Orientación de un Manipulador 3RPS en la Aplicación de un Corner Reflector**

**Penisi O., Aguilar H., Rojos E., Galdeano H., Manzano ., Olivera M.**

*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: [openisi@unsj.edu.ar](mailto:openisi@unsj.edu.ar)

### **RESUMEN**

El corner reflector se coloca en posiciones determinadas por pasadas de un satélite de apertura sintética en distintas oportunidades y se estudia el escaneo de la superficie terrestre de la zona, realizado, comparándose estas y determinando las variaciones producidas. Para ello es necesario tener un sistema que pueda posicionar en forma automática y precisa el corner reflector en cualquier dirección que se produzca la pasada del satélite pudiendo ser comandado a distancia desde la estación terrena en la cual se encuentre la antena de recepción de la pasada satelital. En este trabajo, como continuación de otros anteriores, se presenta la estrategia de control a implementar en un manipulador 3RPS para satisfacer esta necesidad. El sistema se encuentra diseñado especialmente, teniendo en cuenta que el manipulador no debe hacer seguimiento sino solamente orientación en una determinada dirección.

**Palabras Claves:** manipulación paralela, control, corner reflector,

## 1. INTRODUCCIÓN

Los corner reflector son utilizados en aplicaciones espaciales y tienen específicamente la misión de reflejar la señal que reciben de un radar de apertura satelital [1], [2], [3]. Desde el punto de vista mecánico son aparatos de posición fija y no de seguimiento. 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 trabajos anteriores se ha demostrado, a través de la geometría directa, que la superficie móvil del manipulador 3RPS se puede orientar en cualquier dirección del espacio independientemente de su posición y la combinación de los movimientos de las piernas para lograrlo.

Habiéndose demostrado que la plataforma móvil del manipulador 3RPS se puede orientar en cualquier dirección del espacio, el análisis a través de la geometría inversa a permitido encontrar la relación que deben existir entre los parámetros con los cuales se orienta un objeto en el espacio y los del manipulador o sea las variaciones de las longitudes que debe alcanzar el manipulador para cumplir el objetivo [4].

Los desarrollos matemáticos de la geometría directa e inversa han sido validados, en el modelo del manipulador, a través de mediciones correspondientes que permiten verificar lo obtenido en forma teórica. El análisis de la orientación de la plataforma móvil del manipulador se hace a través de la normal a la misma, y mediante un sistema de medición de transductores de distancia por cable se puede comprobar la posición alcanzada. Los transductores, a través de variaciones de tensión determinan las variaciones de longitudes lo cual permite encontrar la ubicación de los extremos de la normal a la plataforma móvil [5].

En este trabajo, como continuación de otros anteriores, se presenta la estrategia de control a implementar en un manipulador 3RPS para satisfacer el control del manipulador. El sistema se encuentra diseñado especialmente, teniendo en cuenta que el manipulador no debe hacer seguimiento sino solamente orientación en una determinada dirección, para ello se utilizaron sensores de longitud, con software implementado en MATLAB y Lab-VIEW con salida de este a PLC para el manejo de los actuadores.

Los ensayos experimentales realizados con el sistema propuesto utilizando el prototipo del manipulador 3RPS, muestran que se puede orientar la plataforma móvil del manipulador en cualquier dirección del espacio con la precisión requerida para aplicaciones espaciales.

## II. DESARROLLO DE LA POSICIÓN DEL CORNER REFLECTOR

En la (Fig.1) se indican los elementos utilizados para el análisis de posición del manipulador 3RPS, en la cual, la plataforma móvil es un triángulo equilátero en cuyo centro geométrico se ubica el origen P de la terna coordenada cartesiana móvil  $(u, v, w)$ , y en los vértices  $(B_1, B_2, B_3)$  se encuentran las juntas esféricas; el eje  $u$  coincide con la dirección  $PB_1$ . El bastidor es también un triángulo equilátero en cuyo centro geométrico está el origen O de la terna coordenada cartesiana fija  $(X, Y, Z)$  y en los vértices  $(A_1, A_2, A_3)$  se encuentran las juntas de revolución cuyos ejes están en el plano  $X, Y$ . El eje  $X$  coincide con la dirección  $OA_1$ . Las juntas prismáticas se encuentran en las piernas  $A_1B_1, A_2B_2$  y  $A_3B_3$ . Estas piernas tienen

posibilidad de moverse solamente en cada uno de los planos definidos por las rectas que conforman el eje Z y las direcciones de  $a_1$ ,  $a_2$  y  $a_3$  respectivamente debido a las articulaciones de rotación  $A_1$ ,  $A_2$  y  $A_3$ .

Dado que las pasadas de satélites por un determinado lugar están dadas por dos ángulos, acimut ( $\theta$ ) y elevación ( $\phi$ ) (ver Fig.2), éstos deben estar relacionados con la orientación del corner reflector y esta está dada por las longitudes que deben tomar las piernas del manipulador que lo maneja, de forma tal que la normal a la plataforma móvil de éste adquiera el valor de éstos ángulos, por lo tanto se debe resolver la geometría inversa [6] del manipulador.

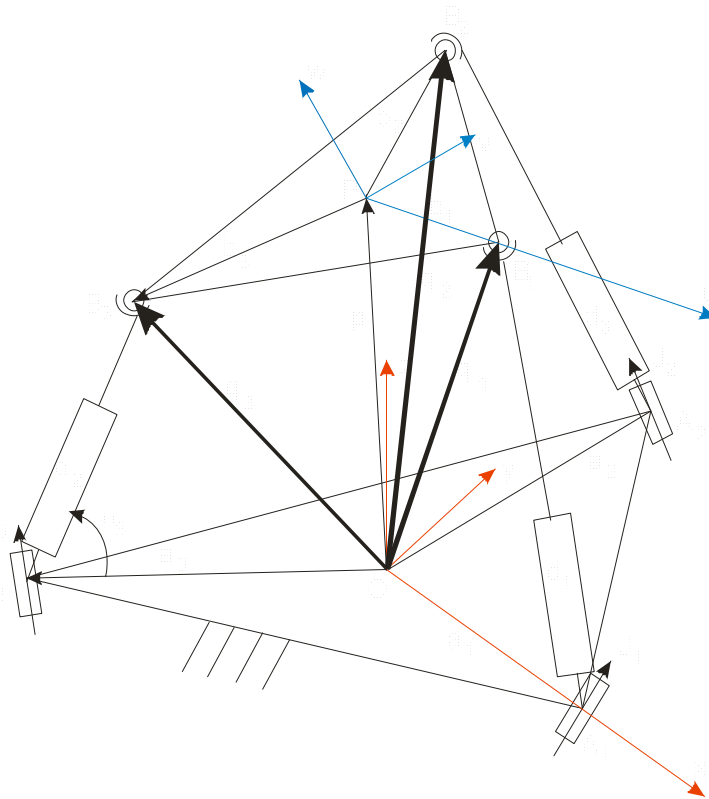


Fig. 1 Sistemas de referencias ubicados en la plataforma fija ( $X$ ,  $Y$ ,  $Z$ ) y móvil ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ )

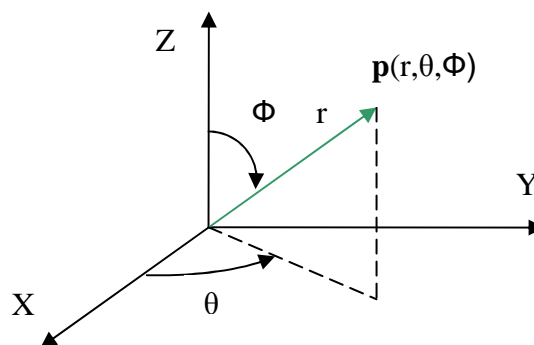


Fig. 2 Sistema de coordenadas esféricas, ángulos de acimut y elevación

En [7] se ha demostrado que la posición y orientación de la plataforma móvil del manipulador 3RPS puede ser obtenida por una secuencia de movimiento de los actuadores de cada pierna que conforman el mismo, llegando a determinarse tres casos factibles los cuales son a) movimiento de una sola pierna, b) movimiento de dos piernas a igual distancia instantánea y final y c) movimiento de dos piernas a distintas distancias instantáneas y final. Al moverse los actuadores del manipulador, la plataforma móvil se ubica en diferentes posiciones y como consecuencia, la normal a ésta. No obstante para el caso del corner reflector no es necesario analizar el movimiento de las distintas piernas pues solo se debe posicionar en una dada orientación y esto se logra con solo mover los actuadores para que logren una dada longitud de piernas que garantizarán la orientación deseada, dado que no es necesario seguir una trayectoria específica con el extremo de la normal.

Esto simplifica el sistema de control pues solo se debe actuar cada motor para lograr una dada longitud de pierna sin tener en cuenta la secuencia, que para este caso puede ser cualquiera, en forma individual en cualquier orden o simultáneamente los tres, parando cada uno cuando se alcance el valor calculado de longitud de pierna.

Para encontrar la relación entre el ángulo de acimut ( $\theta$ ) deseado y las longitudes de las piernas del manipulador es necesario que se muevan dos piernas como en el caso c).

Para ubicar el corner reflector en relación a una determinada elevación bastará con mover una ó dos piernas en forma simultánea como se puede ver en la Figura 3 y Figura 4. El ángulo  $\Theta$  que forma la plataforma móvil con la horizontal es el complemento del ángulo de altura solar del corner reflector.

$$\theta = g_1(\Delta D) \quad (1)$$

$$\gamma = g_2(\Delta D) \quad \theta = 180 - 90 - \gamma \quad (2)$$

$$h = 90 - \theta \quad (3)$$

La Ec. (1) se la utiliza cuando se mueve una sola de las piernas y la Ec. (2) cuando se mueven dos piernas en forma simultánea.

Para encontrar la relación entre la longitud de las piernas del manipulador y el ángulo de acimut es necesario que se muevan dos piernas del mismo en forma no simultánea. Suponiendo que una de las piernas se encuentra totalmente extendida ( $A_1B_1$ ) y la otra ( $A_3B_3$ ) se ha extendido una distancia  $\Delta D$ , como se puede ver en la Figura 5, la cual es una vista del manipulador en la dirección de la línea que une los puntos  $A_1$  y  $A_2$  de la plataforma fija, se determinan los valores de los ángulos  $\psi$ ,  $\omega$ ,  $\pi$ ,  $\rho$ ,  $\tau$ ,  $\epsilon$ ,  $u$  a través de relaciones trigonométricas los cuales quedan como función de  $\Delta D$ .

Considerando la normal a la plataforma móvil que pasa por el origen de la terna móvil, cuando la pierna  $A_1B_1$  está totalmente extendida y las otras dos en su mínima longitud, su proyección sobre el plano que contiene la plataforma fija es normal a la dirección que une los puntos  $A_2A_3$  de esta plataforma, cuando la pierna  $A_3B_3$  se extiende hasta alcanzar su máxima longitud, estando la pierna  $A_1B_1$  totalmente extendida, esta proyección se ubica en la dirección que une el punto  $A_2$  con el baricentro de la base fija, por lo tanto ha recorrido  $60^\circ$ , entonces la normal a la plataforma móvil también ha recorrido el mismo ángulo. La normal a la

plataforma móvil, la proyección de esta sobre el plano que contiene la plataforma fija y la proyección de la normal en el plano que es perpendicular a la recta que une los puntos  $A_1A_2$  están relacionados en forma lineal, por lo cual se establece una relación entre el ángulo recorrido por la proyección de la normal en el plano de la plataforma fija que coincide con el ángulo de acimut y el ángulo que forma la proyección de la normal respecto a la vertical en el plano de dibujo de la (Fig. 4).

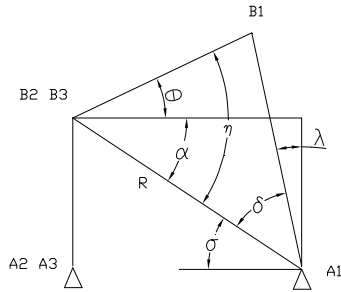


Fig. 3: Movimiento de una pierna.

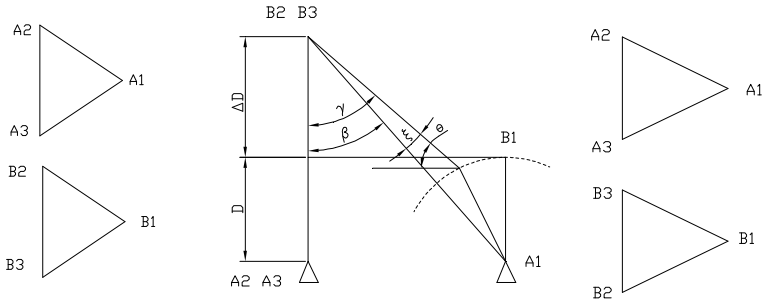


Fig. 4: Movimiento dos piernas simultáneamente.

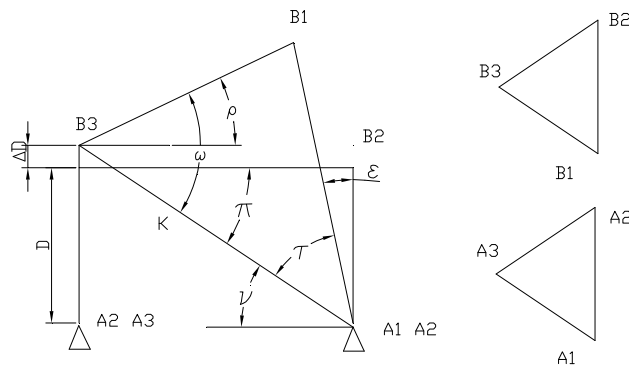


Fig. 5: Movimiento de dos piernas en forma alternada.

$$\rho = \frac{\rho_{\Delta D_i} * \alpha}{60^\circ} \quad \rho = \tau \quad (4)$$

En la (Fig. 5) se ve que el ángulo que forma la plataforma móvil ( $\rho$ ) respecto de la horizontal, cuando la pierna  $A_3B_3$  está en su mínima longitud depende del valor que la pierna  $A_1B_1$ . Cuando se empieza a mover la pierna  $A_3B_3$  éste ángulo empieza a variar, y como es el mismo ángulo que la proyección de la normal a la plataforma móvil en el plano del dibujo forma con la vertical  $\tau$ , la normal a la plataforma móvil empieza a recorrer el ángulo de acimut.

Finalmente teniendo en cuenta nuevamente la (Fig. 5) de donde se obtienen las proyecciones sobre la vertical de las piernas que intervienen en el posicionamiento de plataforma móvil y la proyección de esta en función de  $\rho$  se tiene

$$D_i + \Delta D_i + \left[ g + g * \sin\left(\frac{\mu}{2}\right) \right] * \sin \rho = (D_{i+1} + \Delta D_{i+1}) * \cos \epsilon \quad (5)$$

Teniendo en cuenta las Ec. (4) y (5) se determina el valor de la extensión que debe tomar la pierna que se mueve, en función del valor de extensión que toma pierna que se mantiene fija, para lograr posicionar la plataforma móvil en la dirección de acimut deseado.

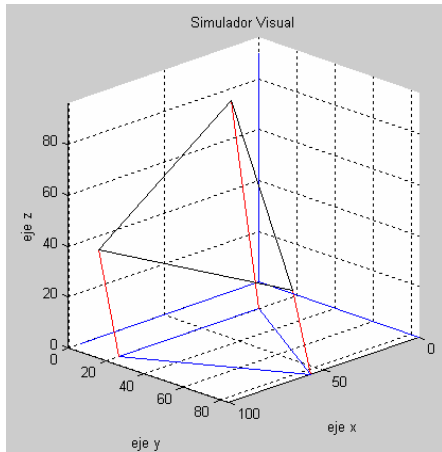
De la (Ec.5) se determina el valor de la extensión que debe tomar la pierna que se mueve  $\Delta D_{i+1}$ , en función del valor de extensión  $\Delta D_i$  que toma la pierna que se mantiene fija, para lograr posicionar la plataforma móvil en la dirección de acimut deseado. Una vez obtenido el acimut se puede posicionar la plataforma móvil en relación a la elevación, moviendo en forma simultánea las piernas que intervinieron en la obtención del acimut un valor  $\Delta D$ , con lo cual se ha logrado posicionar la plataforma móvil en acimut y elevación a través del movimiento de dos piernas del manipulador. Se ha preparado una programación en MATLAB que permite ingresando los valores deseados de acimut y elevación determinar la longitud de cada una de las piernas.

En la (Tabla1) se dan a modo de ejemplo los valores de longitudes que deben alcanzar cada una de las piernas para que se obtenga una orientación del manipulador en valores de acimut ( $A_d$ ) y elevación ( $E_d$ ) deseados. Los parámetros geométricos utilizados del manipulador corresponden a un prototipo construido en el Instituto de Mecánica Aplicada de la Universidad Nacional de San Juan. El valor  $Z_{ref.}$  corresponde a la altura del sistema móvil respecto del fijo.

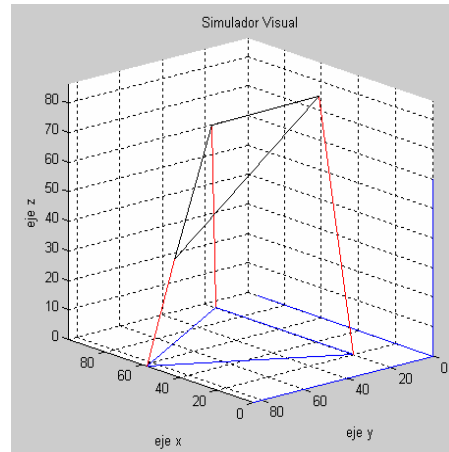
Tabla 1 Una simulación de los valores deseados

	$E_d$	$A_d$	L1 [mm]	L2 [mm]	L3 [mm]	$Z_{ref.}$ [mm]
a	20°	40°	1042.5	434.64	320.72	900
b	45°	60°	870.60	603.26	360.66	600
c	60°	90°	723.30	723.30	411.88	600
d	80°	110°	613.17	657.14	530.61	600
e	120°	35°	412.08	706.31	738.57	600
f	30°	240°	351.93	609.44	944.96	600

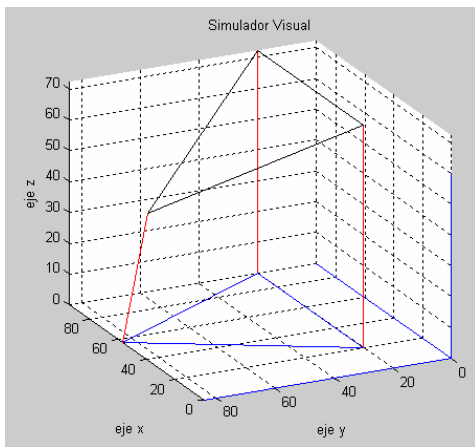
En la (Fig. 6) se puede observar una grafica obtenida de las simulaciones correspondientes a los datos deseados que estan tabulados en la (Tabla 1)



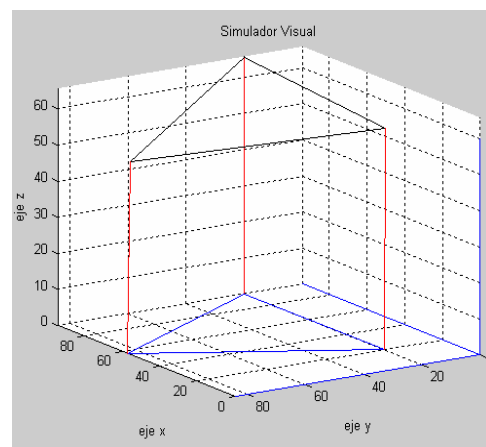
(a)



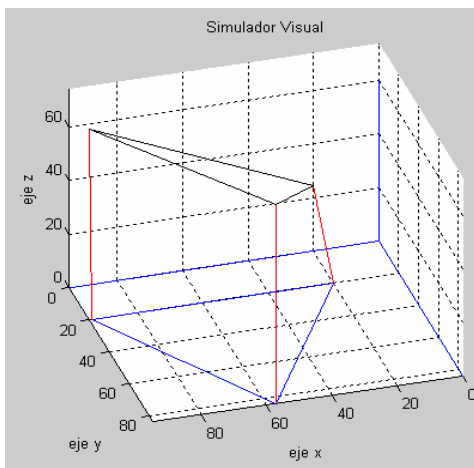
(b)



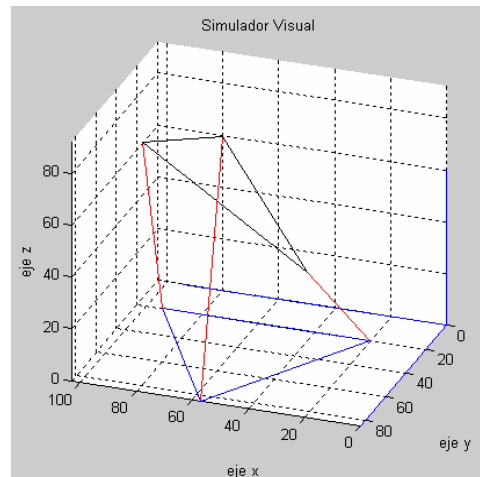
(c)



(d)



(e)



(f)

Fig. 6 Simulaciones en MATLAB de los ejemplos de Tabla 1

### III DISPOSITIVO DE MEDICIÓN DE LA POSICIÓN Y ORIENTACIÓN

A los efectos de poder determinar y validar la posición y orientación del corner reflector de acuerdo a los datos de coordenadas de elevación y acimut requeridos para una dada pasada de satélite, se diseñó un sistema de medición de posición.

Este sistema se ideó haciendo uso de varios transductores de distancia por cable [5 y 8].

La teoría indica que un punto en el espacio puede ser ubicado respecto de una terna fija mediante tres coordenadas, y una recta, mediante la posición de dos puntos conocidos de ellas.

A los efectos de lograr la medición de la posición de un punto se tomó una disposición triangular de tres transductores sobre un plano de referencia y se llevaron al punto deseado los tres cables formando de esta manera un tetraedro que varía la longitud de sus aristas cuando cambia de posición el vértice, manteniéndose la base fija. Conocidas las longitudes de las aristas por consideraciones geométricas y trigonométricas se puede determinar la posición del punto respecto del sistema fijo o de referencia

Considerando que la disposición triangular está formada por los puntos T1, T2 y T3 y sus distancias A, B, C se mantienen fijas, las longitudes de las aristas L1, L2 y L3 varían con la posición de P (punto a determinar su posición) (ver Fig. 7 a)).

Conocidas las longitudes de las aristas por consideraciones geométricas y trigonométricas, (Ec. 6) se puede determinar la posición del punto respecto del sistema fijo o de referencia.

$$(P_x, P_y, P_z) = f(A, B, C, L_1, L_2, L_3) \quad (6)$$

Estas ecuaciones han sido interpretadas en un instrumento virtual en ambiente Lab-VIEW para obtener las componentes de la posición del punto P.

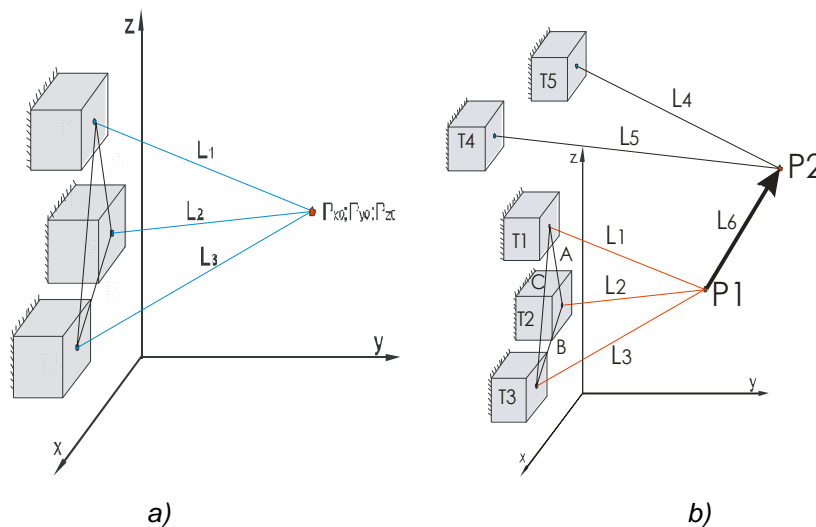


Fig. 7: disposición para medir puntos P; a) un solo punto, b) dos puntos que determinan la recta

Realizando el mismo procedimiento para el otro extremo del vector posición se determina la posición del otro punto (Fig. 7 b)). Luego proyectando sobre distintos planos y aplicando trigonometría se determina la orientación del vector posición correspondiente al corner reflector, por ejemplo en acimut y elevación.

Cada transductor de distancia por cable está compuesto por un tambor donde se enrolla el cable que se conectará al punto de medición. Este tambor va montado sobre un eje que tiene dos apoyos a bastidor y en uno de sus extremos es colocado un transductor eléctrico resistivo de varias vueltas para transformar la variación de longitud en una variación de tensión. Sobre el eje se encuentra un elemento elástico para proveer la cupla antagónica necesaria que permite rebobinar y mantener tenso el cable cuando este está realizando una medición estática o dinámica (Fig.8). Si se utiliza un solo transductor de distancia por cable

colocado en forma paralela a una pierna y conectando el extremo libre en el centro de la articulación esférica se puede medir la longitud de la pierna. Luego utilizando uno en cada pierna se puede tener en forma instantánea la longitud que asume cada pierna cuando el actuador esta variando su longitud, (ver Fig. 9).

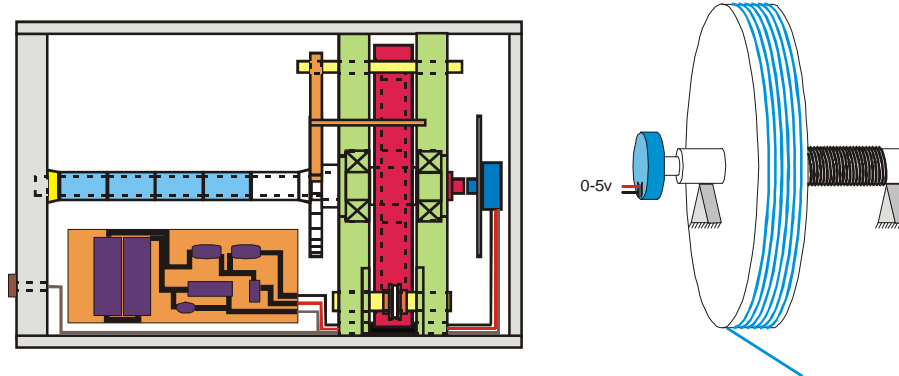


Fig. 8: Transductor de longitud por cable, esquemas interiores



Fig. 9 Esquema de manipulador 3RPS con sistema de medición de longitud de piernas

#### IV PROPUESTA DE ESTRATEGIAS DE CONTROL

Basado en las variables que se pueden medir como las indicadas en el apartado anterior, se puede implementar distintas estrategias para lograr el control, una es colocando 5 o 6 sensores de distancia por cable que permitan determinar la posición espacial de dos puntos de una normal a la superficie de la plataforma móvil para determinar mediante ecuaciones los valores de acimut y elevación deseados. Para ello el sistema estaría compuesto de 5 sensores de longitud conectados a una placa de adquisición de datos, una programación en Lab-VIEW para generar un instrumento virtual que lea los valores de los cinco sensores y que permita interpretar las ecuaciones de cinemática inversa y transformación de la posición de dos puntos de la normal en ángulos de acimut y elevación para que una vez alcanzados los valores deseados de estos se emita una señal de salida en la placa de adquisición de datos que interpretada por un PLC indique la parada de los motores actuadores de cada una de las piernas del manipulador 3RPS, un esquema del sistema se puede observar en (Fig. 10).

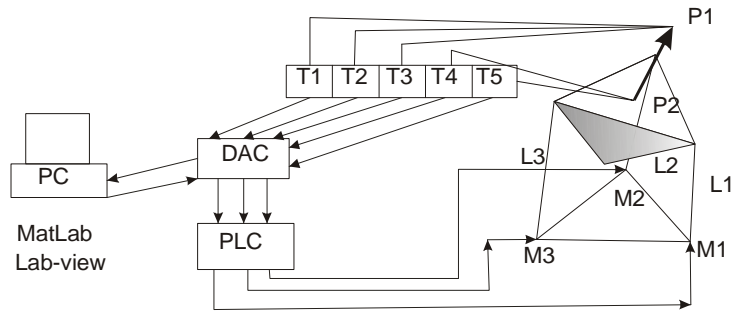


Fig. 10 Esquema de control 1

La segunda posibilidad está pensada en la utilización de solo tres sensores de longitud por cable que estarían sensando la longitud alcanzada por cada pierna (Fig.8), la cual es calculada por una programación en MATLAB y transferida al instrumento virtual en Lab-VIEW de modo que mediante una comparación cuando se alcance este valor en el entorno de un error preestablecido se emita por un canal de la placa de adquisición de datos una señal, la cual interpretada por un PLC determine la parada del motor correspondiente, un esquema del sistema se puede observar en (Fig. 11).

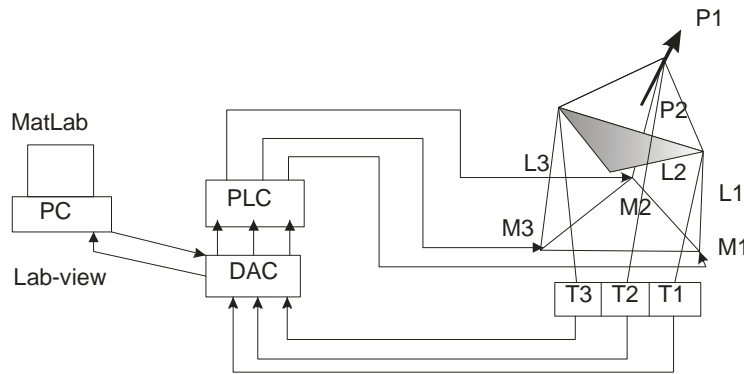


Fig.11 Esquema de control 2

Esta última opción está apoyada en la validación realizada en el trabajo [5].

En la (Fig. 9) se puede observar una disposición esquemática de los transductores de longitud para esta última opción de control, colocados en la base fija y el cable se dispone paralelo a la pierna y engancha en el eje que pasa por el centro de la articulación esférica, en este caso los actuadores son motores de corriente continua con reductor de velocidad que transforman el movimiento de rotación en lineal mediante un sistema de tornillo y tuerca.

Una variante de esta última opción de control más simplificada es lograda mediante la utilización de un PLC con entrada analógica, este permite medir la tensión generada en el transductor de longitud y cuando alcanza el valor deseado equivalente a la longitud de pierna emite un cambio de estado en la salida que controla la detención del motor correspondiente.

## V DISCUSIÓN

Teniendo en cuenta que la posición deseada puede ser lograda mediante tres formas distintas, dependiendo que variable se mida es que se puede suponer que se dispone de tres formas de control.

Una de las mediciones es la de indicar directamente los ángulos de acimut y elevación que se van logrando al realizar el movimiento de las piernas. Esta medición no es directa pues se propone realizarla a

través de la medición de la posición de dos puntos del vector normal a la superficie de la plataforma móvil y convertir esta a través de funciones trigonométricas en los valores de ángulos de acimut y elevación. De esta manera se pueden introducir varios errores de cálculo por redondeos.

Otra es realizar la transformación de ángulos deseados de acimut y elevación en longitudes necesarias de las piernas a través de la geometría inversa y medir directamente estas longitudes. Esta opción tiene menos errores introducidos por cálculos,

La última opción es muy simple de implementar y de bajo costo pues solo se debe programar el PLC para que se detenga el accionamiento del motor cuando se alcance la longitud deseada, la precisión estará dada por la correspondiente a la entrada analógica del PLC.

## VI CONCLUSIONES

En este trabajo se muestra como un corner reflector puede ser orientado mediante un sistema de control compuesto por simples elementos comerciales ya sean tanto en hardware como en software.

Esto permite alcanzar la precisión deseada en el posicionamiento utilizando un manipulador 3RPS, sin tener que recurrir a variado instrumental para comprobar la orientación que se realiza a mano como con dispositivos existentes.

Los resultados de validación alcanzados en trabajos anteriores han sido utilizados para definir la estrategia de control de los valores deseados de orientación.

## REFERENCIAS

- [1] Alexander Golitschek, Alexander Golitschek's; Intern Report, May 13th to August 16<sup>th</sup> at the Alaska SAR Facility (ASF) Geophysical Institute University of Alaska Fairbanks Fairbanks, AK99775-7320 USA, 1996.
- [2] Curlander, McDonough , Synthetic Aperture Radar, Wiley-Interscience 1991.
- [3] Jason Williams, Official Calibration Plan V1.0, ASF 1995.
- [4] Rojas E., Penisi O., Aguilar H., Alba F. "Aplicación de un Manipulador 3R-P-S para el Posicionamiento de un Corner Reflector en Aplicaciones Espaciales", VII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, México D.F, México, 2005, en soporte magnético.
- [5] Rojas E., Penisi O., Aguilar H., Galdeano H., Bocca C.; Validación de la Orientación Alcanzada por un Manipulador 3RPS en una Aplicación espacial; V Jornadas Argentinas de Robótica. Bahía Blanca noviembre 2008.
- [6] Rojas E., Penisi, O., Bocca, J., Aguilar, H., Galdeano, H.; Geometría Inversa de un Manipulador Paralelo 3RPS Utilizado para Orientar Objetos en el Espacio; 1º Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, Bahía Blanca, 1 a 3 de Octubre 2008, pp B99.
- [7] Rojas E., Penisi O., Aguilar H., Alba F. "Aplicación de un Manipulador 3R-P-S para el Posicionamiento de un Corner Reflector en Aplicaciones Espaciales", VII Congreso Iberoamericano de Ingeniería Mecánica, México D.F, México, 2005, en soporte magnético.
- [8] Palmucci F., Ottaviano E., Ceccarelli M.; An Application of CaTraSys: A Cable-Based Parallel Measuring System for a Kinetostatic Analysis of Human Walking; Proceedings of MUSME 2008, the International Symposium on Multibody Systems and Mechatronics, San Juan, 8-12 April 2008 Paper n.22.