



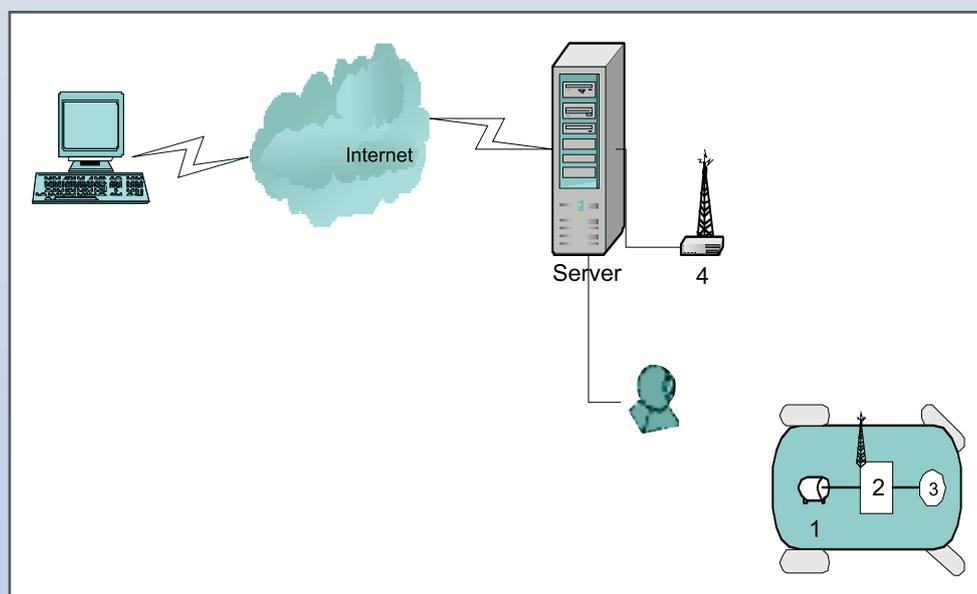
## INTRODUCCIÓN

La Tele-robótica como una rama aplicada de los conocimientos, es la llamada a sustituir, a las personas en lugares de trabajo peligrosos y de poca accesibilidad, permitiendo conseguir una importante economía de recursos físicos, económicos, y de tiempo [1,7].

El control de robot móviles se lo viene realizando desde diversas perspectivas y consideraciones, a continuación se plantea

un modelo que permite realizar el control del movimiento de un robot móvil de ruedas, a la distancia, utilizando como medio de comunicación la red de ordenadores Internet (Fig.1), así como también un posible modelo matemático que permita analizar la dinámica del movimiento de las ruedas del móvil en función de fuerzas y otras consideraciones.

En este modelo se presenta los elementos mínimos indispensables para poder controlar un móvil desde el



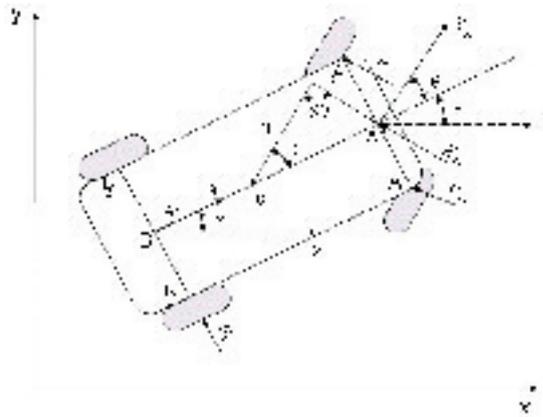
**Figura 1.** Modelo de control del robot móvil a través de la red Internet.

Internet, como son interfases entre el operador, el robot y el servidor y cámaras.

A continuación se presenta el esquema de un móvil, considerando como un sistema mecánico simplificado que esta compuesto por dos cuerpos (Lineikin), el primer cuerpo esta compuesto por el puente delantero  $A_1AA_2$ , y las ruedas  $A_1$  y  $A_2$ , el segundo cuerpo esta formado por la plataforma y el puente trasero  $B_1BB_2$ .

El movimiento se realiza mediante fuerzas externas que actúan sobre el punto B y por la fricción con la superficie de contacto.

Considerando el movimiento del móvil dentro de condiciones ideales, las ecuaciones cinemáticas de los enlaces del robot móvil de la Figura 2, esta representado mediante las siguientes ecuaciones (1).



**Figura 2.** Esquema del modelo del robot móvil.

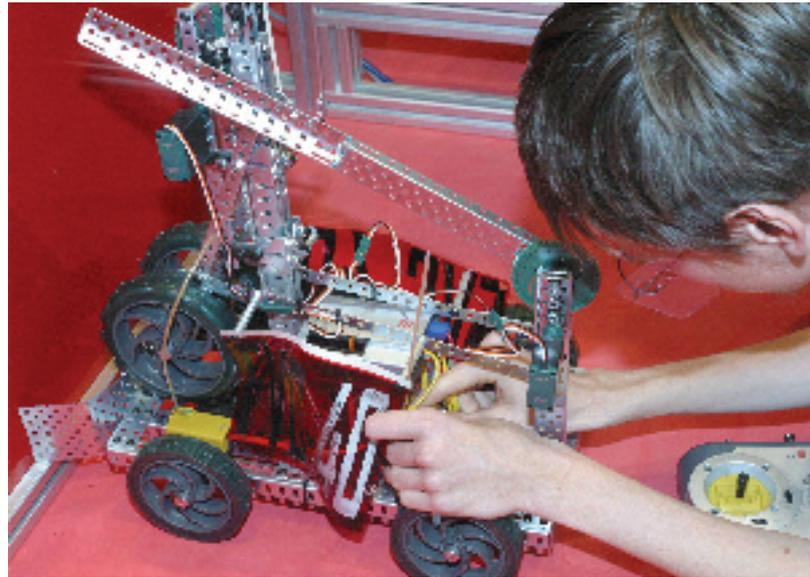
$$\left. \begin{aligned} \lambda_1 \sin \varphi - \dot{y} - a \omega \sigma + b \dot{\varphi} &= 0 \\ \lambda_2 \sin(\varphi + \theta) - \dot{x} - a \omega \dot{\varphi} + b(1 - a) \cos \theta \dot{\omega} &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Donde: AC=a, CB=b

En vista de las fuerzas que actúan sobre el robot, la ecuación (1) tiene el aspecto de las ecuaciones dinámicas de movimiento con multiplicadores indefinidos de Lagrangian ( $\lambda_1, \lambda_2$ ) para los sistemas mecánicos con enlaces lineales ideales no Holonomos. De esta manera obtenemos el sistema de las ecuaciones dinámicas diferenciales del movimiento del robot:

$$\left. \begin{aligned} M \ddot{x} - F \cos \varphi + \lambda_1 \sin \varphi + \lambda_2 \sin(\varphi + \theta) &= 0 \\ M \ddot{y} - F \sin \varphi - \lambda_1 \cos \varphi - \lambda_2 \cos(\varphi + \theta) &= 0 \\ J_C \ddot{\varphi} - \lambda b - \lambda_2 a \cos \theta &= 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Solucionando el sistema de las ecuaciones dinámicas diferenciales (2) y cinemáticas de los enlaces (1) en función de cinco incógnitas  $x, y, \lambda_1, \lambda_2, \varphi$ , determina-



mos la ecuación (3) que permite de forma compacta resolver el sistema (2):

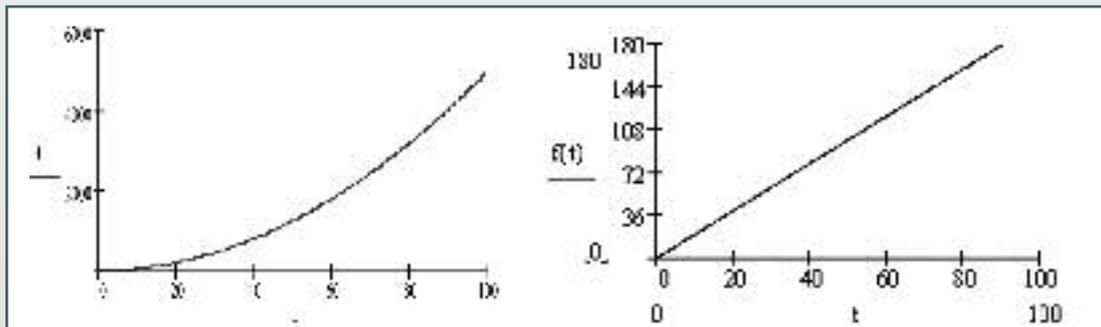
$$\ddot{\varphi} = \frac{l \operatorname{ctg} \theta \left[ \frac{M \dot{\varphi}}{\sin^2 \theta} + f \right]}{k^2 + l^2 \operatorname{ctg}^2 \theta} \quad (3)$$

Donde

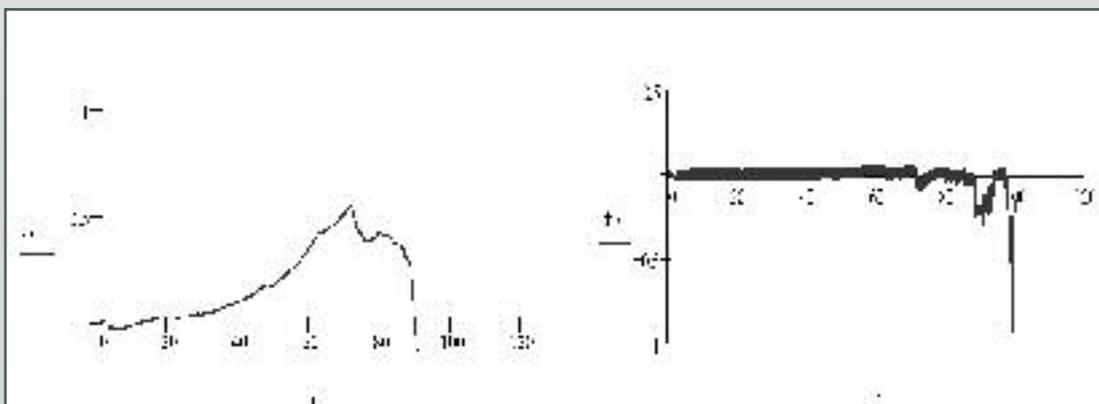
$$k^2 = \frac{J_C + M b^2}{M}, \quad f = a + b, \quad l = \frac{a}{\sin \theta}$$

La magnitud  $f$  representa la fuerza atribuida a la unidad de la masa, y el coeficiente  $k$  es el radio de la inercia del robot acerca del eje vertical que pasa a través del punto n, M - la masa de todo el sistema,  $J_C$  - momento de la inercia del sistema cerca del centro de la masas.

La solución gráfica de la ecuación (3) con la consideración  $k=1$  y  $l=1$  es la siguiente (Figura 3, 4).



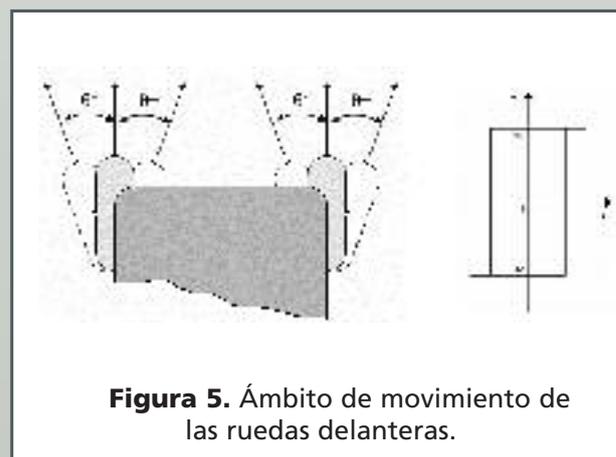
**Figura 3.** Gráficos de la dirección del movimiento de las ruedas delanteras y la fuerza que actúa sobre el robot.



**Figura 4.** Gráficos del ángulo de giro ( $\theta$ ) y la velocidad angular de giro del eje  $\omega$  del robot

Uno de los modos más simples para resolver el sistema de ecuaciones diferenciales (3) cuando se tiene coeficientes variables (dinámicos) es mediante el método de congelación de coeficientes. "Son congelados" en este caso el parámetro variable que conduce a la congelación de los coeficientes de la ecuación diferencial. En este caso el sistema con los coeficientes variables es reducido a un sistema con los parámetros constantes que permite aplicar para ello, los métodos conocidos de resolución de sistemas [2].

En este caso, las ruedas delanteras del robot móvil giran en un intervalo definido entre  $-20^\circ \leq \theta \leq 20^\circ$ , y fijamos el sistema en los puntos



**Figura 5.** Ámbito de movimiento de las ruedas delanteras.

$\theta = -20, \theta = -10, \theta = 0, \theta = 10, \theta = 20$ , de esta forma en vez de una ecuación con coeficientes variables tenemos cinco, con coeficientes fijos (Figura 5).

Consideramos que el control del volante del móvil hace conservar un valor constante del ángulo  $\theta$ , es decir  $\theta = 0^\circ$  y  $\dot{\theta} = 0$ , el valor de  $f$  puede ser cualquier función del tiempo, entonces la ecuación del objeto (3) tendrá el siguiente aspecto.

$$\ddot{\varphi} = \frac{1 \operatorname{ctg} \theta_0}{k' + l' \operatorname{ctg}^2 \theta_0} f(t) \quad (4)$$

Donde,  $\Phi(t)$  y  $\varphi$  son las variables de control de entrada y salida del sistema, de (4) obtenemos la velocidad angular de movimiento.

$$\dot{\varphi} = \frac{1 \operatorname{ctg} \theta_0}{k' + l' \operatorname{ctg}^2 \theta_0} \Phi(t) + c_1$$

$$\Phi(t) = \int_0^t f(\tau) d\tau \quad (5)$$

Es decir, la función, después de multiplicar con la masa  $M$ , determina el impul-

so completo de las fuerzas  $F$  durante el movimiento desde el inicio del movimiento hasta el momento  $t$ .

El sistema de control automático del robot móvil controlado desde el Internet con la utilización de controladores difusos y teniendo en consideración las restricciones impuestas antes, como también considerando  $\varphi$  y  $\varphi$  las variables de salida y entrada del sistema tenemos lo siguiente (Figura 6) [3, 4, 5, 6].

El control del robot móvil mediante la red Internet se reduce básicamente, a la resolución dos problemas principales. En este caso se utilizó el siguiente esquema

- El primer problema consiste en los mecanismos para la determinación de la posición del robot.
- El segundo problema consiste en la ejecución por parte del robot de los comandos generados por el operador.

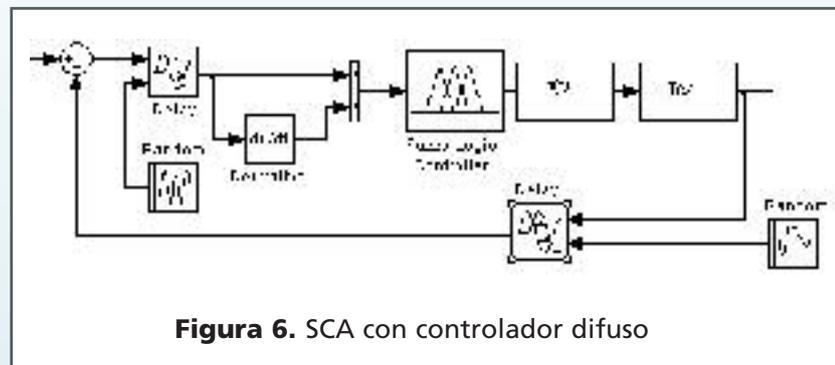


Figura 6. SCA con controlador difuso

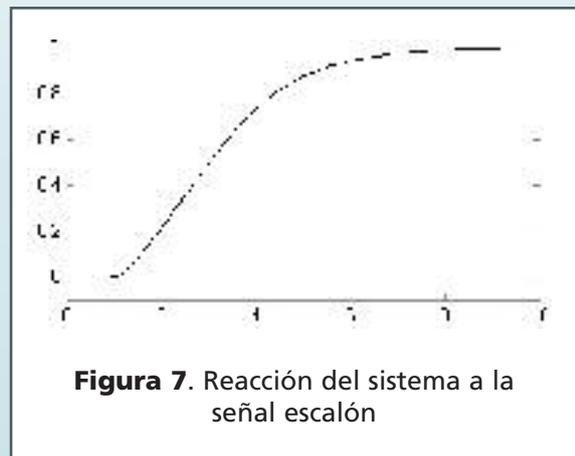
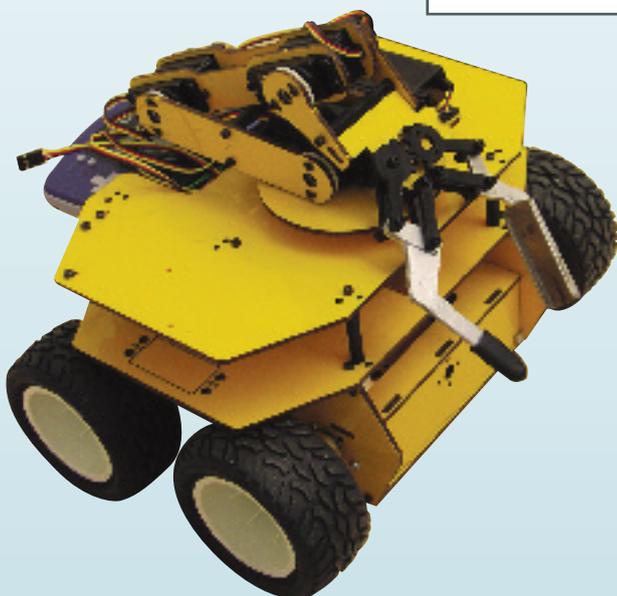


Figura 7. Reacción del sistema a la señal escalón



La acción de Internet sobre el sistema esta modelado mediante la generación de un valor randomico que es enviado a un bloque Delay encargado de retardar la señal en esta magnitud, tanto desde el operador hacia el robot como viceversa.

T(s) es la ecuación (5) en forma de los operadores de la Plaza, el sistema reacciona a un comando de giro de las ruedas delanteras de 200, se utiliza un controlador difuso tipo PD, que permite alcanzar niveles de reacción aceptables (Fig.7).

## REFERENCIAS

1. Jatsun S.F., Freire F. C., Dyshenko V.S., Shadrina O. A., Control de Robots móviles a través de las redes Internet, Telecomunicaciones ? 3, 2005.
2. Lure B.J., Eriat P. Dsh., Métodos clásicos del control automático, Sant. Peterburg 2004.-640 pag.
3. Modelación difusa en el ambiente de MATHLAB y fuzzyTECH. SAN PETERSBURGO, 2005.736 pag.
4. V.A.Smirnov, A.A.Hasanova, Metodología de realización de sistemas de control con lógica difusa, Noticias del centro científico De Chelyabinsk, numero 4 (21), 2003.
5. Bao-Gang Hu, George K. I. Mann, and Raymond G. Gosine, A Systematic Study of Fuzzy PID Controllers Function-Based Evaluation Approach, IEEE transactions on fuzzy systems, vol. 9, No. 5, october 2001
6. Jan Jantzen, Design Of Fuzzy Controllers, Technical University of Denmark, Department of Automation, Tech. report no 98-E 864 (design), 19 Aug 1998.
7. Jatsun S.F, Freire F. C., Sistema de control de robots mediante Internet, Noticias de KSTU, 2006 ?1 (16).