

III. MODELO DINÁMICO



Figura 2. Robot articular de 3 GDL.

Para el obtener el modelo dinámico se utilizan la formulación Lagrangiana [5]. La estructura dinámica del sistema será:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + g(q) \quad (1)$$

Donde $q \in R^n$ representa la posición articular, $\dot{q} \in R^n$ representa la velocidad articular, $\ddot{q} \in R^n$ representa la aceleración articular, $\tau \in R^n$ es el vector de pares aplicados, $M(q) \in R^{3 \times 3}$ es una matriz simétrica definida positiva denominada matriz de inercia, $C(q, \dot{q}) \in R^{3 \times 3}$ matriz de Coriolis y $g(q) \in R^n$ vector de par gravitacional.

Se obtiene la energía cinética y potencial total del manipulador.

$$\begin{aligned} K_T(q, \dot{q}) = & \frac{1}{2} [m_1 r_1^2 + I_{zz1} + m_2 r_2^2 + m_2 l_{c2}^2 \sin^2(q_2) \\ & + I_{yy2} \sin^2(q_2) + I_{zz2} \cos^2(q_2) \\ & + 2I_{yz2} \sin(q_2) \cos(q_2) + I_{yy3} \sin^2(q_2 + q_3) \\ & + I_{zz3} \cos^2(q_2 + q_3) \\ & + m_3 [r_3^2 + l_{c3}^2 \sin^2(q_2 + q_3) + l_2^2 \sin^2(q_2) \\ & + 2l_{c3} l_2 \sin(q_2) \sin(q_2 + q_3)] \\ & + 2I_{yz3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3)] \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} [m_2 l_{c2}^2 \\ & + I_{xx2} + I_{xx3} + m_3 [l_2^2 + l_{c3}^2 + 2l_2 l_{c3} \cos(q_3)]] \dot{q}_2^2 \\ & + \frac{1}{2} [2m_2 r_2 l_{c2} \cos(q_2) \\ & + 2I_{xy2} \sin(q_2) + 2I_{xz2} \cos(q_2) \\ & + 2m_3 [r_3 l_{c3} \cos(q_2 + q_3) + r_3 l_2 \cos(q_2)] \\ & + 2I_{xy3} \sin(q_2 + q_3) + 2I_{xz3} \cos(q_2 + q_3)] \dot{q}_1 \dot{q}_2 \\ & + \frac{1}{2} [m_3 l_{c3}^2 + I_{xx3}] \dot{q}_3^2 \\ & + \frac{1}{2} [2m_3 [l_{c3}^2 + l_2 l_{c3} \cos(q_3)] + 2I_{xx3}] \dot{q}_2 \dot{q}_3 \\ & + \frac{1}{2} [2m_3 r_3 l_{c3} \cos(q_2 + q_3) + 2I_{xy3} \sin(q_2 + q_3) \\ & + 2I_{xz3} \cos(q_2 + q_3)] \dot{q}_1 \dot{q}_3 \end{aligned} \quad (2)$$

Donde I es el tensor de inercias, m_i es la masa del eslabón i , l_{ci} es la distancia al centro de masa del eslabón i , l_i es el largo del eslabón i y r_i es una distancia debido al motor i . Donde $i=1, 2, 3$.

$$U_T(q) = m_1 g l_1 + m_2 g [l_1 - l_{c2} \cos(q_2)] + m_3 g [l_1 - l_2 \cos(q_2) - l_{c3} \cos(q_2 + q_3)] \quad (3)$$

Desarrollamos la siguiente ecuación:

$$K(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix}^T \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{pmatrix} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} K(q, \dot{q}) = & \frac{1}{2} m_{11} \dot{q}_1^2 + \frac{1}{2} m_{21} \dot{q}_2 \dot{q}_1 + \frac{1}{2} m_{31} \dot{q}_3 \dot{q}_1 + \frac{1}{2} m_{12} \dot{q}_1 \dot{q}_2 \\ & + \frac{1}{2} m_{22} \dot{q}_2^2 + \frac{1}{2} m_{32} \dot{q}_3 \dot{q}_2 + \frac{1}{2} m_{13} \dot{q}_1 \dot{q}_3 \\ & + \frac{1}{2} m_{23} \dot{q}_2 \dot{q}_3 + \frac{1}{2} m_{33} \dot{q}_3^2 \end{aligned}$$

Sustituyendo la ecuación 2 en la ecuación 4 y recordando que la matriz $M(q)$ debe ser simétrica, se obtiene la matriz de inercias:

$$M(q) = \begin{pmatrix} m_{11} & m_{12} & m_{13} \\ m_{21} & m_{22} & m_{23} \\ m_{31} & m_{32} & m_{33} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} m_{11} = & m_1 r_1^2 + I_{zz1} + m_2 r_2^2 + m_2 l_{c2}^2 \sin^2(q_2) \\ & + I_{yy2} \sin^2(q_2) + I_{zz2} \cos^2(q_2) \\ & + 2I_{yz2} \sin(q_2) \cos(q_2) + I_{yy3} \sin^2(q_2 + q_3) \\ & + I_{zz3} \cos^2(q_2 + q_3) \\ & + m_3 [r_3^2 + l_{c3}^2 \sin^2(q_2 + q_3) + l_2^2 \sin^2(q_2) \\ & + 2l_{c3} l_2 \sin(q_2) \sin(q_2 + q_3)] \\ & + 2I_{yz3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{12} = m_{21} = & m_2 r_2 l_{c2} \cos(q_2) + I_{xy3} \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{xz3} \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{xy2} \sin(q_2) + I_{xz2} \cos(q_2) \\ & + m_3 [r_3 l_{c3} \cos(q_2 + q_3) + r_3 l_2 \cos(q_2)] \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m_{13} = m_{31} = & m_3 r_3 l_{c3} \cos(q_2 + q_3) + I_{xy3} \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{xz3} \cos(q_2 + q_3) \end{aligned}$$

$$m_{22} = m_2 l_{c2}^2 + I_{xx2} + I_{xx3} + m_3 [l_2^2 + l_{c3}^2 + 2l_2 l_{c3} \cos(q_3)]$$

$$m_{23} = m_{32} = m_3 [l_{c3}^2 + l_2 l_{c3} \cos(q_3)] + I_{xx3}$$

$$m_{33} = m_3 l_{c3}^2 + I_{xx3}.$$

Una manera de obtener $C(q, \dot{q})$ es a través de los coeficientes o símbolos de Christoffel $c_{ij}(q)$ definidos como:

$$c_{ij}(q) = \frac{1}{2} \sum_{k=1}^n \left[\frac{\partial M_{ij}(q)}{\partial q_k} + \frac{\partial M_{ik}(q)}{\partial q_j} - \frac{\partial M_{kj}(q)}{\partial q_i} \right] \dot{q}_k. \quad (5)$$

Donde $M_{ij}(q)$ denota el ij -ésimo elemento de la matriz de inercia $M(q)$.

$$c(q, \dot{q}) \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} & c_{13} \\ c_{21} & c_{22} & c_{23} \\ c_{31} & c_{32} & c_{33} \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} c_{11} = & [m_2 l_{c2}^2 \sin(q_2) \cos(q_2) + I_{yy2} \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & - I_{zz2} \cos(q_2) \sin(q_2) + I_{yz2} \cos^2(q_2) \\ & - I_{yz2} \sin^2(q_2) \\ & + m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_2^2 \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \cos(q_2) \sin(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) - I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_2 \\ & + [m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) - I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{12} = & [m_2 l_{c2}^2 \sin(q_2) \cos(q_2) + I_{yy2} \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & - I_{zz2} \cos(q_2) \sin(q_2) + I_{yz2} \cos^2(q_2) \\ & - I_{yz2} \sin^2(q_2) \\ & + m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_2^2 \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \cos(q_2) \sin(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) - I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_1 \\ & + [-m_2 r_2 l_{c2} \sin(q_2) - m_3 r_3 l_{c3} \sin(q_2 + q_3) \\ & - m_3 r_3 l_2 \sin(q_2) + I_{xy2} \cos(q_2) \\ & - I_{xz2} \sin(q_2) + I_{xy3} \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{xz3} \sin(q_2 + q_3)] \dot{q}_2 + [I_{xy3} \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{xz3} \sin(q_2 + q_3) \\ & - m_3 r_3 l_{c3} \sin(q_2 + q_3)] \dot{q}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{13} = & [m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & + I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) - I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_1 \\ & + [I_{xy3} \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{xz3} \sin(q_2 + q_3) \\ & - m_3 r_3 l_{c3} \sin(q_2 + q_3)] \dot{q}_2 \\ & + I_{xy3} \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{xz3} \sin(q_2 + q_3) \\ & - m_3 r_3 l_{c3} \sin(q_2 + q_3)] \dot{q}_3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} c_{21} = & [-m_2 l_{c2}^2 \sin(q_2) \cos(q_2) - I_{yy2} \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & + I_{zz2} \cos(q_2) \sin(q_2) - I_{yz2} \cos^2(q_2) \\ & + I_{yz2} \sin^2(q_2) \\ & - m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - m_3 l_2^2 \sin(q_2) \cos(q_2) \\ & - m_3 l_{c3} l_2 \cos(q_2) \sin(q_2 + q_3) \\ & - m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & - I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) + I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_1 \end{aligned}$$

$$c_{22} = -m_3 l_2 l_{c3} \sin(q_3) \dot{q}_3$$

$$c_{23} = -m_3 l_2 l_{c3} \sin(q_3) \dot{q}_2 - m_3 l_2 l_{c3} \sin(q_3) \dot{q}_3$$

$$\begin{aligned} c_{31} = & [-m_3 l_{c3}^2 \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & - m_3 l_{c3} l_2 \sin(q_2) \cos(q_2 + q_3) \\ & - I_{yy3} \sin(q_2 + q_3) \cos(q_2 + q_3) \\ & + I_{zz3} \cos(q_2 + q_3) \sin(q_2 + q_3) \\ & - I_{yz3} \cos^2(q_2 + q_3) + I_{yz3} \sin^2(q_2 + q_3)] \dot{q}_3 \end{aligned}$$

$$c_{32} = m_3 l_2 l_{c3} \sin(q_3) \dot{q}_2$$

$$c_{33} = 0$$

Por último se obtiene el vector de pares gravitacionales:

$$g(q) = \frac{\partial U(q)}{\partial q}$$

$$g(q) = \begin{pmatrix} 0 \\ m_2 g l_{c2} \sin(q_2) + m_3 g [l_2 \sin(q_2) + l_{c3} \sin(q_2 + q_3)] \\ m_3 g l_{c3} \sin(q_2 + q_3) \end{pmatrix}$$

El modelo dinámico (1) de un robot manipulador se puede expresar en términos del vector de estados $[q^T \dot{q}^T]$ de la siguiente forma:

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \ddot{q} \\ \dot{q} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} -\dot{q} \\ M(q)^{-1} [\tau + C(q, \dot{q}) \dot{q} + g(q)] \end{bmatrix} \quad (6)$$

IV. ALGORITMO DE CONTROL

Aquí se presenta el controlador propuesto:

$$\tau = K_p \left[\frac{\sinh(\tilde{q}) \cosh(\tilde{q})}{1 + \sinh^2(\tilde{q})} \right] - K_v \left[\frac{\sinh(\dot{\tilde{q}}) \cosh(\dot{\tilde{q}})}{1 + \sinh^2(\dot{\tilde{q}})} \right] + g(q) \quad (7)$$

Debido a que este algoritmo de control es una nueva propuesta se pretende estudiar su comportamiento en esta aplicación.

Basados en este algoritmo de control de posición, se puede establecer como hipótesis que mediante la correcta selección de las matrices de ganancia del controlador éste llevará al robot de su posición inicial a la deseada, esto es, el error de

posición articular del sistema tendera asintóticamente a cero conforme el tiempo evoluciona al infinito.

Con el propósito de validar la hipótesis anterior, presentamos como prueba el análisis de estabilidad mediante el segundo método de Lyapunov [6]:

Considere el sistema en lazo cerrado controlador – robot, representado en variables de estado, el cual se obtiene después de sustituir la ley de control (7) en la ecuación (6):

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \tilde{q} \\ \dot{\tilde{q}} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} M(q)^{-1} \left[K_p \left[\frac{\sinh(\tilde{q}) \cosh(\tilde{q})}{1 + \sinh^2(\tilde{q})} \right] - K_v \left[\frac{\sinh(\dot{\tilde{q}}) \cosh(\dot{\tilde{q}})}{1 + \sinh^2(\dot{\tilde{q}})} \right] + C(q, \dot{q}) \tilde{q} \right] \end{bmatrix}$$

Mediante una breve inspección, se deduce que el único punto de equilibrio del sistema es el origen [0,0]. Para la siguiente etapa del análisis, se propone la siguiente función candidata definida positiva, basada en el método de moldeo de energía.

$$V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}) = \frac{1}{2} \dot{\tilde{q}}^T M(q) \dot{\tilde{q}} + \frac{1}{2} \sqrt{\ln(1 - \sinh^2(\tilde{q}))}^T K_p \sqrt{\ln(1 - \sinh^2(\tilde{q}))}$$

Derivando con respecto al tiempo la función candidata, siguiente punto en el análisis de estabilidad. Derivando, evaluando las trayectorias de sistema y después de una serie de operaciones matemáticas tenemos que la derivada es:

$$\dot{V}(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}) = -\dot{\tilde{q}}^T K_v \left[\frac{\sinh(\dot{\tilde{q}}) \cosh(\dot{\tilde{q}})}{1 + \sinh^2(\dot{\tilde{q}})} \right] \quad (8)$$

De este resultado podemos asegurar que la derivada con respecto al tiempo de la candidata es una función semidefinida negativa, por lo que solo podemos asegurar estabilidad. Para garantizar que el punto de equilibrio sea global y asintóticamente estable, se recurre al principio de invarianza de LaSalle.

$$\Omega = \{ \tilde{q} = \dot{\tilde{q}} = 0: V(\tilde{q}, \dot{\tilde{q}}) = 0 \} \quad (9)$$

Con esto garantizamos la estabilidad global y asintótica del punto de equilibrio del sistema en lazo cerrado.

V. PLATAFORMA EXPERIMENTAL

El sistema desarrollado actúa sobre un robot articular de tres grados de libertad de transmisión directa, figura 3 el cual se encuentra en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla siendo en este mismo lugar donde fue construido.



Figura 3. Robot articular de 3 GDL.

Se utiliza para el control del robot manipulador una computadora con Labview y la tarjeta de adquisición de datos y control (TAC1) [7] desarrollada por el grupo de robótica de la BUAP.



Figura 4. TAC1.

VI. SISTEMA ELECTRÓNICO PARA LA INTERFAZ HUMANA

El sistema desarrollado en este trabajo, utiliza tecnología de sensores de flexión resistivos, montados en la parte superior de los dedos. El guante está construido en dos secciones superior e inferior. La superior está hecha de poliéster elástico con receptáculos para contener y mantener fijos a los sensores en el lugar óptimo para sensar la flexión de las articulaciones. La parte inferior está hecha de tela licra para que tome la forma anatómica de la mano y permitir al guante seguir fielmente los movimientos de la mano [8].

Para detectar la variación de su resistencia debida a la flexión los sensores se conectan como parte activa en un divisor de voltaje, las variaciones de voltaje representan a las variaciones de la resistencia por consiguiente, la cantidad de voltaje es la cantidad de flexión que experimento el sensor.

Las señales de los sensores entraran a los convertidores analógicos digitales del PIC, en el PIC además de que se convierten las señales en datos digitales, se implementó el protocolo de comunicación SPI del Módulo nRF24L01 [9]

para configurarlo como transmisor para enviar las palabras digitales.

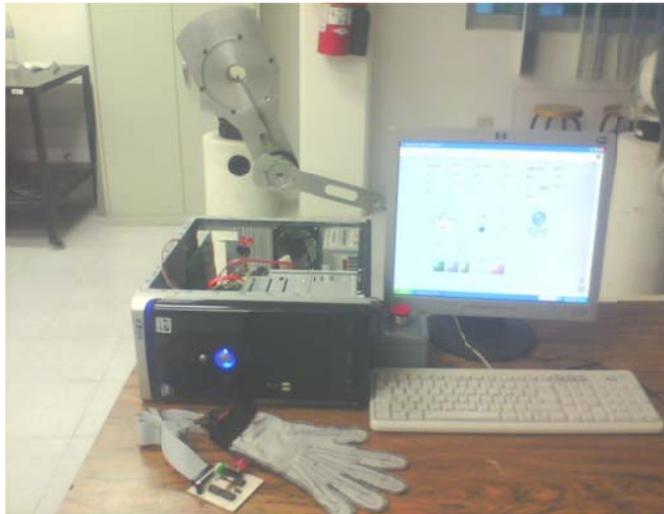


Figura 5. Interfaz humana.

De la misma forma se implementó el protocolo de comunicación SPI del Módulo nRF24L01 para configurarlo como receptor para recibir los datos digitales, estos datos digitales serán enviados a través del bus de comunicaciones PCI para que dependiendo de los valores de los datos el robot realice una tarea.

Cabe mencionar que tanto el guante sensor, así como la electrónica necesaria para realizar la adquisición de datos fueron diseñados y desarrollados en la Benemérita Universidad Autónoma de Puebla.

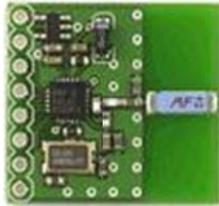


Figura 6 Módulo nRF24L01.

VII. SISTEMA DE CONTROL DEL ROBOT A TRAVÉS DE LA INTERFAZ HUMANA

La relación entre los componentes se da de la siguiente forma, el robot cuenta con tres articulaciones, las cuales tienen tres servomotores de transmisión directa con un encoder y su manejador; cada manejador produce el par aplicado a su respectivo motor en función de una señal analógica de entrada, además de proporcionar a la tarjeta de adquisición y control las señales generadas por el encoder.

El número de pulsos que se desplaza cada articulación del robot es determinada en la tarjeta por medio de un circuito que acopla las señales del encoder, para posteriormente ser decodificadas en el FPGA, en un programa se lee el número de pulso a través del bus de comunicación PCI, con este número de pulsos se calcula en la PC el desplazamiento

angular de cada grado de libertad, se calcula el error entre las posiciones actuales y las posiciones deseadas, en función de estos errores la ley de control calcula el par que debe ser aplicado a cada motor; después, el programa deduce los valores digitales correspondientes al par y los escribe en la tarjeta, la cual proporciona estos valores a un circuito de acoplamiento digital-analógico para producir las tres señales que son aplicadas a los manejadores.

Paralelamente se estarán mandando los valores de los sensores del guante a través del transmisor, para ser recibidos mediante el receptor inalámbrico estos valores serán enviados a la PC mediante el bus de comunicación PCI, mediante los cuales se asignará una tarea al robot.

En esta aplicación existen dos modos de funcionamiento, el primer modo mediante los siguientes comandos:

Dedos del guante				
Meñique	Anular	Medio	Índice	Tarea
<70°	>70°	<70°	<70°	Mover base en dirección contraria a las manecillas del reloj
<70°	<70°	>70°	<70°	Mover base en dirección de las manecillas del reloj
>70°	>70°	<70°	<70°	Mover hombro en dirección contraria a las manecillas del reloj
>70°	<70°	>70°	<70°	Mover hombro en dirección de las manecillas del reloj
<70°	>70°	<70°	>70°	Mover codo en dirección contraria a las manecillas del reloj
<70°	<70°	>70°	>70°	Mover codo en dirección de las manecillas del reloj

Y el segundo modo asignándole la posición deseada al robot mediante el guante.

El software que es el encargado principal de obtener y guardar los datos, ejecutar el algoritmo de control y enviar las señales de control se implementó en Labview 8.6 bajo la plataforma de Windows.

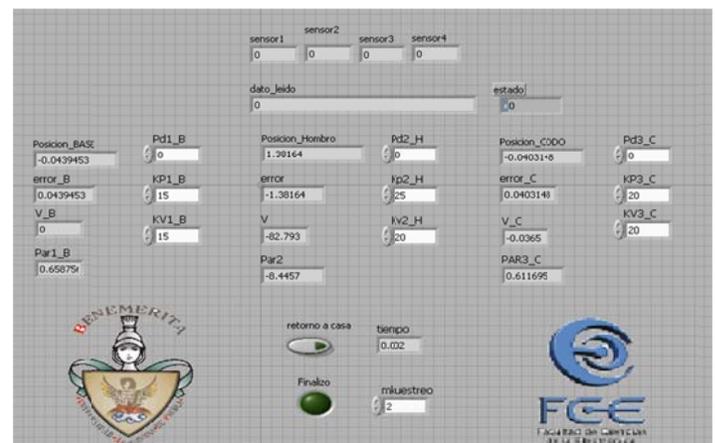


Figura 7. Software

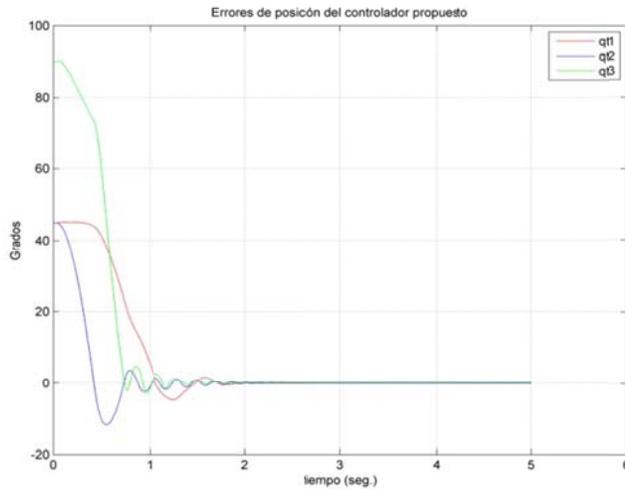


Figura 7. Errores de posición obtenidos con el regulador propuesto.

En la figura 7 se observa el error de posición de la base (qt1), el hombro (qt2) y el codo (qt3) del robot. Mediante el dedo índice se le asigna la posición deseada a la base la cual fue de 45 grados, mediante el dedo medio se le asigna la posición deseada al hombro la cual fue de 45 grados y por último mediante el dedo anular se le asigna la posición deseada al codo la cual fue de 90 grados. Se puede observar un tiempo de 2 segundos para llevar a los tres eslabones a la posición deseada.

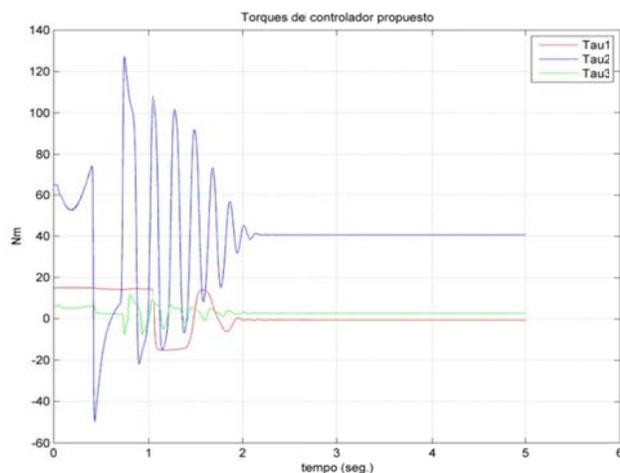


Figura 8. Torques obtenidos con el regulador propuesto.

En la figura 8 se muestra los pares suministrados a los motores. Tau1 corresponde al par que se le suministra al motor de la base del robot, Tau2 corresponde al par que se le suministra al motor del hombro del robot y por último Tau3 corresponde al par que se le suministra al motor del codo del robot.

IX. CONCLUSIONES

Una de las ventajas que ofrece esta interfaz, es la comunicación inalámbrica con el sistema a controlar, lo que permite realizar tareas de forma remota. Por ejemplo en la industria nuclear, allí un operario, desde un lugar seguro podría llevar a cabo operaciones de manipulación de sustancias peligrosas sin riesgo para él.

Con el desarrollo de este trabajo se sientan las bases para que en un futuro se pueda implementar un sistema para el tratamiento de rehabilitación y otro tipo de prácticas médicas encaminadas a mejorar el desempeño de pacientes con problemas de movilidad de las extremidades superiores.

Cabe mencionar que todo el sistema fue desarrollado en la Benemérita Universidad Autónoma De Puebla el robot, el guante, la tarjeta de adquisición de datos y la electrónica necesaria para su funcionamiento.

En lo que se refiere al controlador utilizado se obtiene un desempeño aceptable para esta aplicación.

Se observa que nuestro sistema de transmisión de datos transmite 4 bytes en 400 microsegundos tiempo suficiente para enviar la información de 16 sensores ya que el muestreo de las señales se realiza cada 2 milisegundos.

REFERENCIAS

- [1] Dipietro L, Sabatini A. "Evaluation of a fan instrumented glove for hand movement acquisition". *Journal of Rehabilitation Research and Development*. Vol. 40, No 2, March/April, pp. 179-190. 2003.
- [2] Leybón J, Ramirez R, Taboada P. *Sensor fotoeléctrico aplicado al movimiento de los dedos de las manos*. Computación y Sistemas Vol. 10 No 1, 2006, pp 57-68
- [3] Kramer J, Leifer L. The talking glove: an expressive and receptive "verbal" communication aid for the deaf, deaf-blind and non-vocal. Tech. report. Stanford University. Dept. of Electrical Engineering. Stanford, Calif. 1989.
- [4] Hernandez J, Kiriakopoulos N, Lindeman R. The AcceleGlove: A whole-hand input device for virtual reality, (Technical sketch). Conference Abstracts and Applications, ACM SIGGRAPH 2002. P.
- [5] Murray Richard, Li Zexiang; *A Mathematical Introduction to Robotic Manipulation*; CRC Press; 1994.
- [6] Rafael Kelly, V. Santibáñez; *Control de Movimiento de Robots Manipuladores*; Prentice Hall; 2003.
- [7] León-Bonilla A., Vergara Limón S., Vargas Treviño M., Reyes F., "Tarjeta PCI para control de un robot con tres grados de libertad", CINDET, IEEE sección Morelos y la Asociación Mexicana de Ingenieros y Electricistas A. C., 2006.
- [8] Lagunes Limón A.J., (2009) *Diseño y construcción de un guante sensor de posiciones*, Tesis de Maestría. Benemérita Universidad Autónoma de Puebla, México.
- [9] Robodacta, Modulo RF [consulta 13 de enero 2010]. Disponible: <http://www.robodacta.com.mx/activacioncartproducto.asp?ProductoID=423&CategoriaID=38&SubCategoriaID=85>.