

CARACTERIZACIÓN DE UN BRAZO MECÁNICO TIPO SCARA CON SISTEMA DE CONTROL MULTIFRECUENCIAL Y POSICIONAMIENTO BRESENHAM

Franklin Pineda Torres

Ingeniero Electrónico, Especialista en Automática e Informática Industrial, Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Universidad Autónoma de Colombia. franklin.pineda@fuac.edu.co

Alonso de Jesús Chica Leal

Ingeniero Electrónico, Especialista en Automática e Informática Industrial, Magister en Ingeniería Electrónica y de Computadores, Universidad Autónoma de Colombia. alonso.chica@fuac.edu.co

Alex Camacho Carvajal

Ingeniero Electrónico, Universidad Autónoma de Colombia.
aocamacho@gmail.com

Recibido: 15-05-2014, aceptado: 03-07-2014, versión final: 15-05-2014¹

RESUMEN

Los sistemas de codificación a doble tono multifrecuencial DTMF utilizados en gran parte sobre la comunicación celular móvil, nos permite en el proyecto, controlar remotamente un brazo mecánico tipo Scara de dos grados de libertad. Al constituir los parámetros relevantes del brazo tal y como: el estudio de la geometría del brazo, sensores, actuadores, área de trabajo, energía requerida y en general su cinemática directa e inversa, se obtiene la posibilidad de implementar el algoritmo de Bresenham sobre un microcontrolador PIC 18F458; encargado de decodificar las señales DTMF provenientes de las variables x,y dadas por un usuario remoto. Código funcional dentro del robotic toolbox de Matlab® y HEMERO nos permite visualizar y simular el comportamiento del brazo en función del tipo de articulaciones, grados de libertad, dimensiones y parámetros dinámicos conocidos de las trayectorias a realizar.

Palabras clave: Articulación, brazo mecánico, algoritmo de Bresenham, cinemática, grado de libertad, microcontrolador.

¹ El artículo es un resultado del semillero de investigación en control S&C dentro de la línea TeleControl.

ABSTRACT

The codification systems DTMF dual tone multifrequency largely used on mobile cellular communication, it allows us in the project to control remotely a mechanism type Scara which has two degrees of freedom. The relevant parameters of the mechanism such as: the study of the geometry, sensors, actuators, work area, delivery energy; in general its direct and indirect cinematic, it gives the possibility of implementing the Bresenham algorithm on a 18F458 PIC microcontroller; this is responsible for decoding the DTMF signals from the variables x,y given by a remote user. Functional code in the robotic toolbox of Matlab® and HEMERO lets us to visualize and simulate the behavior of the mechanic arm depending on the type of joints, degrees of freedom, dimensions and dynamic parameters of the trajectories to perform.

Keywords: Joint, mechanism, Bresenham's algorithm, cinematic, degree of freedom, microcontroller.

1. INTRODUCCIÓN

Los seres humanos asignamos el significado de cualidad a los atributos que generalmente nos distinguen y que de una u otra forma, cuando los demás dan cuenta de ello, nos enriquecen. La carta de presentación para los robots industriales se basa también en la distinción de sus cualidades que simplemente se encuentran centradas en aspectos técnicos e ingenieriles tales como: la velocidad, el peso, consumo de potencia, elementos motrices, actuadores, sensores, efector final, grados de libertad, precisión, tipo de control entre otros. Cada uno de ellos caracteriza aspectos relevantes que constituyen la integridad de funcionamiento dentro del mecanismo autónomo. Tal mecanismo, dentro del proyecto, construido y clasificado como de tipo SCARA, éste posee dos articulaciones rotatorias paralelas para proporcionar elasticidad en un plano (Webacademia, 2013). El robot Scara es utilizado principalmente para tareas "pick and place" (tomar y colocar), soldadura y operaciones de ensamblado (Instituto Politecnico Nacional, 2010).

Los primeros controles remotos datan de 1950 con la empresa Zenith Electronics Corporation (Pedra, 2008), cuya evolución general ha sido sensible al paso de los años comenzando con celdas fotosensibles, tecnología infrarroja y actualmente con protocolos inalámbricos; busca no solo la reducción de cables y equipos sino

también aumento de velocidad y efectividad en las comunicaciones. El auge de esta tecnología ha hecho que en muchos campos de la ingeniería se implemente, siendo esta la tecnología de control usada sobre la aplicación y que se refiere a controlar a distancia el mecanismo, con un sistema de comunicaciones DTMF (doble tono multifrecuencial) utilizando la marcación por tonos desde celulares y teléfonos fijos que permite identificar cada tecla marcada con su tono característico; con ello el usuario ingresa desde un celular los valores de las variables (x,y) , para que se mueva el manipulador mecánico dentro del primer cuadrante en el plano cartesiano, y calcula los grados que deberá mover cada articulación del manipulador hasta llegar al valor ingresado.

Tono dual a Multifrecuencias ó DTMF son dos tonos diferentes en los dos extremos de un espectro que se utilizan para enviar información en medios de comunicación telefónica. Los tonos DTMF sirven para representar los números del 0 al 9 y los símbolos * y #. Una serie de estos números y símbolos pueden ser asignados a las personas como puntos de contacto, como en un número de teléfono, o los números pueden ser usados para transmitir otro tipo de información. La generación de tonos es simple, basta guiarse del siguiente cuadro, ver figura 1, para saber que frecuencias son las que corresponden a cada dígito.

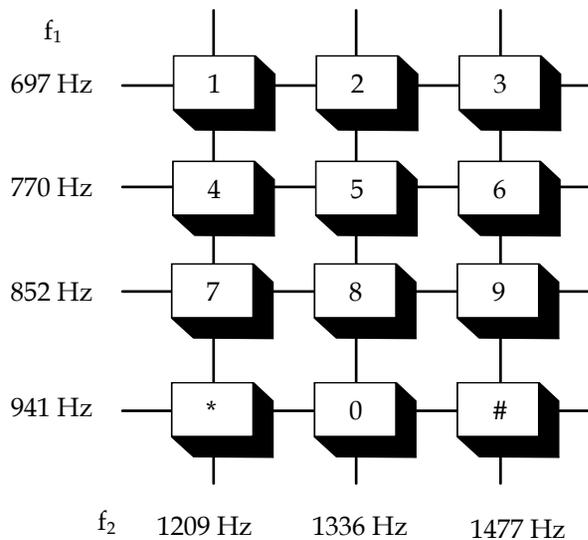


Figura 1.

Combinaciones de frecuencias por tecla en tonos DTMF (Joao, 2013).

Por ejemplo, si la central recibe primero un tono a una frecuencia de 770Hz seguido de otro tono a una frecuencia de 1336Hz significa que el usuario ha digitado el valor de 5. Actualmente esta tecnología es utilizada sobre la mayoría de teléfonos celulares, cuya evolución al mercado por pulso se espera sea el reconocimiento de voz, lo que eliminaría la necesidad de enviar señales por teclado.

Aunque la tecnología de control DTMF aplicada sobre robots no es muy reciente, por ejemplo ver (Cho, Hbeonlabs - 2008), empresas extranjeras² han consolidado su uso en diversas aplicaciones de manipulación. En Colombia no existen aplicaciones sobre mecanismos robóticos industriales, razón por lo cual nuestro empeño en acercarnos a su uso y aplicación.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL

En la figura 2, se observa una descripción general del funcionamiento del proyecto, donde se ingresan, desde cualquier celular, las coordena-

nadas (x,y) , se decodifican los tonos DTMF a digitales; éstos son recibidos por un microcontrolador PIC 18F458 quien se encarga de solucionar la cinemática inversa e implementar el algoritmo de Bresenham para que el mecanismo Scara se posicione efectivamente en las coordenadas establecidas.

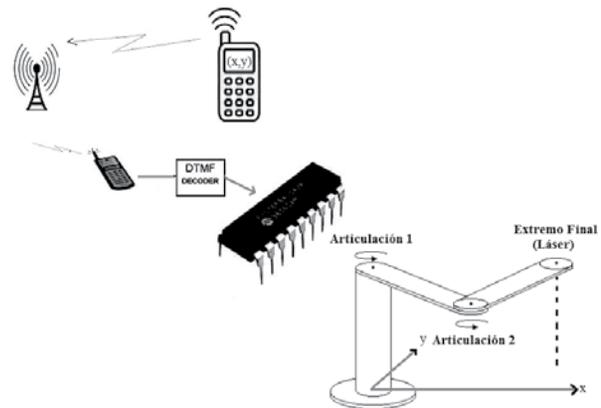


Figura 2.

Descripción General.

3. CARACTERIZACIÓN DEL MECANISMO

El mecanismo tipo Scara desarrollado aporta dos grados de libertad debido a sus dos articulaciones de tipo rotacional. Sus movimientos se encuentran ligados a dos motores: un motor paso a paso bipolar y un servomotor, es decir sus elementos motrices son de tipo eléctrico. De tal forma que el torque desarrollado depende de la potencia máxima que cada uno de ellos pueda desarrollar en cada articulación. Esta especificación técnica se da cuando el robot se encuentra en su posición más débil, es decir cuando el efector final se encuentra más alejado de su base. "Lo mismo sucede en el caso del ser humano donde es más difícil elevar una carga pesada con los brazos completamente extendidos que cuando los brazos se encuentran cercanos al cuerpo" (Goover, 1990).

3.1. Resolución Espacial

Se define resolución espacial como el más pequeño incremento de movimiento en que el

² <http://www.motron.com/index.php/cPath/41>, <http://www.pochcorp.com>
<http://www.indiamart.com/hbeonlabs/robotics-projects.html>

robot puede dividir su volumen de trabajo. La resolución espacial depende de dos factores: la resolución del sistema de control y las inexactitudes mecánicas del Robot (Goover, 1990).

La resolución de control principalmente viene determinada por su sistema de medida de realimentación (constituido por el sensor y el controlador). El sistema de medida de realimentación es qué tantos incrementos individuales puedo realizar para una articulación en particular, esto es:

$$\text{Número de incrementos} = 2^n - 1 \quad (1)$$

Donde n = número de bits en la memoria de control; si tengo una articulación que se mueve de 0° a 90° , y utilizo 8 bits en mi memoria de control, que en muchos casos es simplemente la capacidad del convertor A/D (Análogo Digital) incluido y configurable dentro del microcontrolador generalmente de 8, 10, 12 o 16 bits, entonces la resolución se encontrará dada por:

$$\text{resolución} = \frac{90^\circ}{2^8 - 1} = 0.47^\circ \quad (2)$$

Es decir, mi articulación podrá moverse con incrementos de 0.47° , no menos. Teóricamente si quiero aumentar la resolución, simplemente aumento la capacidad de bits; pero esto en muchos casos no contribuye en nada porque los elementos motrices no dejan mover al robot con una menor resolución, además que las inexactitudes mecánicas llegan a ser el componente dominante. Estas inexactitudes proceden de la desviación elástica de los miembros estructurales; holgura en los engranajes, tensión en los cordones de las poleas, fugas de fluido hidráulico y otras imperfecciones del sistema mecánico. Estas inexactitudes tienden a ser peores en los robots más grandes, simplemente porque los errores se hacen mucho mayores con los componentes más grandes. Las inexactitudes se verían influidas también por factores tales como

la carga que se manipula, la velocidad con que se desplaza el brazo, las condiciones de mantenimiento del robot y otros elementos similares. Para calcular una resolución práctica simplemente, en pruebas sobre la articulación en cuestión se calcula la distancia de un punto (x,y) a un punto con mínimo incremento identificable -ver Figura 3 para el ejemplo con 3 bits.

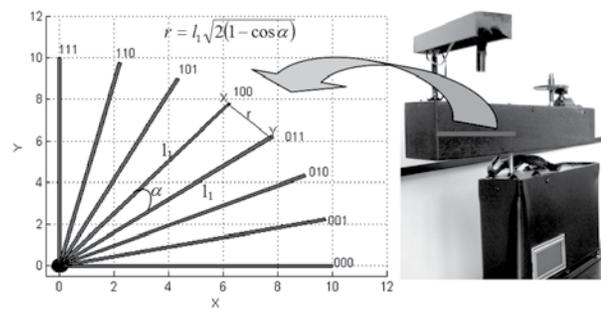


Figura 3.
Resolución Espacial.

La resolución espacial depende directamente del grado de detalle que los sensores puedan proporcionar a los convertidores A/D. Los sensores, que en principio proponen una imitación de los sentidos del hombre, tratan de incorporar como indispensables la vista y el tacto, otros dos resultan poco interesantes para las aplicaciones a que se dedicaron los robots: el gusto y el olfato. Un quinto sentido tiene un valor relativo: el oído, pues sus adelantos no son tan claros, pero si se llegase a perfeccionar sería una gran herramienta. Entre los sensores más importantes tenemos: sensores de proximidad, capacitivos, inductivos, magnéticos, infrarrojos, de ultrasonido y sistemas de visión artificial (K.S.F.U. 1987).

3.2. Exactitud

La exactitud se refiere a la capacidad de un robot para situar el extremo de su efector final en un punto destino deseado dentro del volumen de trabajo. La exactitud de un Robot puede definirse en términos de resolución espacial porque la capacidad para alcanzar un punto destino

determinado depende de cuan próximo puede el Robot definir los incrementos de control para cada uno de sus movimientos de las articulaciones (K.S.F.U. 1987).

De las figuras 4,5, donde se simboliza un robot tipo SCARA de tres articulaciones, se le ha ordenado que se posicione en el punto del plano xy (15,-5), pero finalmente llegó al punto (20,-5), es decir que existe una inexactitud, ¿Cómo podemos calcular su exactitud? Simplemente midiendo la distancia E (representa el error de exactitud), que para el ejemplo es muy grande de 5 cm.

Existe una relación inversa entre la exactitud y la distancia E , en la medida que E aumente la exactitud disminuye y tiene mayor exactitud el robot si E es muy pequeño. De hecho la exactitud resulta afectada por varios factores. En primer lugar, la exactitud varía dentro del volumen de trabajo tendiendo a ser peor cuando el brazo esté en el rango exterior de su volumen de trabajo y mejor cuando el brazo este más próximo a su base al igual que con la carga. Los errores mecánicos tenderán a reducirse cuando el robot esté sometido a un rango restringido de movimientos, es más fácil que el robot manipule una pieza entre dos puntos, que la manipule entre 10 o más puntos

3.3. Repetibilidad

En la figura 6, se ha representado un punto programado P , donde queremos que realmente llegue el efector final, pero en el primer intento se ubico en el punto T o punto destino, como vimos anteriormente, la distancia del punto P al punto T es el error de exactitud. Ahora bien, si en el segundo intento le programamos el mismo punto P , pero se ubicó ahora en el punto R . Existe un error de repetibilidad. Si hacemos el experimento n veces obtendremos que la repetibilidad sigue una distribución de tipo Gausiano. El error de repetibilidad se debe principalmente a inexactitudes mecánicas.

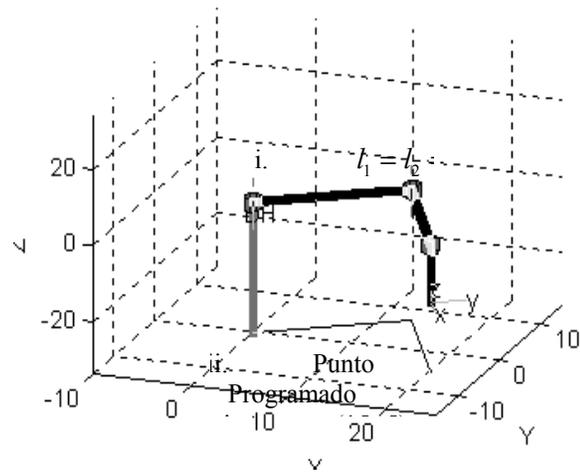


Figura 4.
Punto Programado -Exactitud.

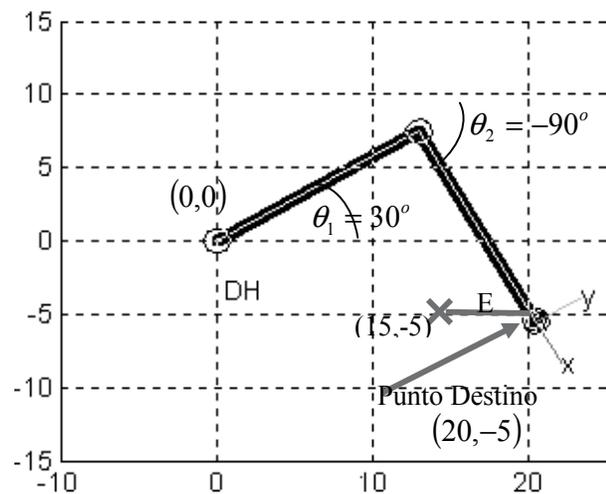


Figura 5.
Punto Destino -Exactitud.

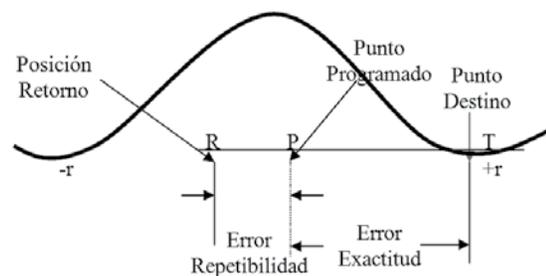


Figura 6.
Repetibilidad (K.S.F.U. 1987).

Mientras que el sistema mecánico y dentro de él los elementos motrices y las transmisiones que establecen la capacidad de carga y en primer impacto afectan la repetitividad, el conjunto de controladores y sensores fijan la resolución y la exactitud del robot.

3.4. Área de Trabajo

Los dos elementos de enlace o *frames* conforman un sector circular en los que el manipulador puede moverse (ver figura 7). La longitud de los elementos propone distancias máximas y mínimas de acuerdo a la ecuación 3.

$$\begin{aligned} d_{\max} &= l_1 + l_2 \\ d_{\min} &= l_1 - l_2 \end{aligned} \quad (3)$$

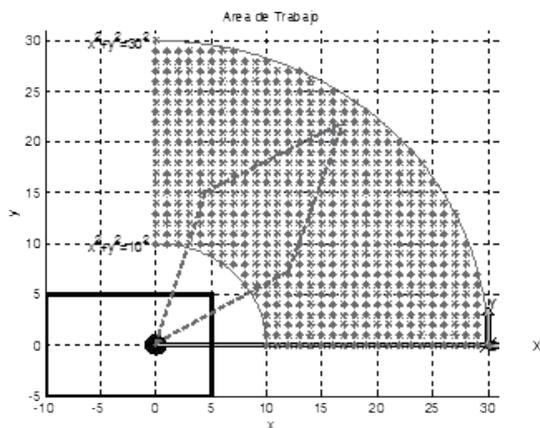


Figura 7.
Área de Trabajo efectiva.

En la práctica el área de trabajo se reduce considerablemente debido a los elementos mecánicos y finales de carrera que posee el mecanismo. A estas posiciones en adición a las posiciones inestables que pueda tener el manipulador se les denomina configuraciones singulares (Universidad Militar Nueva Granada, 2008).

3.5. Cinemática

En la descripción del movimiento del mecanismo, éste siempre debe estar asociado a una descripción espacial de sus articulaciones. La simplicidad

para el caso de dos *frames*, hace que la cinemática directa e inversa se halla trabajado en diferentes ocasiones, ver (K.S.F.U. 1987), (Universidad Militar Nueva Granada, 2008), (Pineda,2004), (Camacho, 2012). Debido a que el usuario proporciona el punto final (x,y) , nos interesa conocer qué ángulos (θ_1, θ_2) son indispensables para llegar al punto; esto es, solucionar su cinemática inversa.

3.5.1. Cinemática Inversa

Para el caso Scara, éste puede llegar a cada punto del área de trabajo por medio de dos configuraciones distintas, líneas punteadas en la figura 7. Aunque es indistinto escoger cuál es la mejor, siempre se manejó la sección derecha dentro del algoritmo. Aunque las funciones *fkine* e *ikine* del *Toolbox Hemero* solucionan a manera de simulación la cinemática del mecanismo, dentro del microcontrolador se implementa el algoritmo de solución geométrica para la cinemática inversa.

3.6. Tipo de Movimiento

El objetivo del control en el manipulador es que siga lo mejor posible una trayectoria prefijada, o se dirija a un punto deseado como consecuencia de un ángulo en su articulación o ubicación de un punto dentro de su volumen de trabajo alcanzable. Es así que su forma de movimiento será o de punto a punto (PTP), o de trayectoria continua (CP). Las mayores aplicaciones con trayectoria PTP son la soldadura por puntos y las operaciones pick and place (Tomar y colocar), y para aplicaciones de tipo CP son la soldadura por arco y la pintura por rociado (Universidad Militar Nueva Granada, 2008) en robots de tipo industrial. El algoritmo Bresenham trabaja sobre movimientos programados PTP.

3.6.1. Algoritmo de Bresenham

Un algoritmo preciso y efectivo para la generación de líneas de rastreo, desarrollado por Bresenham (1965), convierte mediante rastreo las líneas, utilizando solo cálculos incrementales

con enteros que se pueden adaptar para desplegar también curvas; tales razones hacen apta su incorporación en máquinas CNC y plotters.

El algoritmo busca cual de dos puntos es el que está más cerca según la trayectoria de la línea (Weitzenfeld, 2004). Si se inicia desde un extremo (x_0, y_0) de una línea determinada, se pasa a cada columna sucesiva y se va trazando el punto que aproxima más al punto destino. Los cambios de coordenadas a lo largo de la línea ocurren en pasos unitarios ya sea en la dirección de x o en la de y .

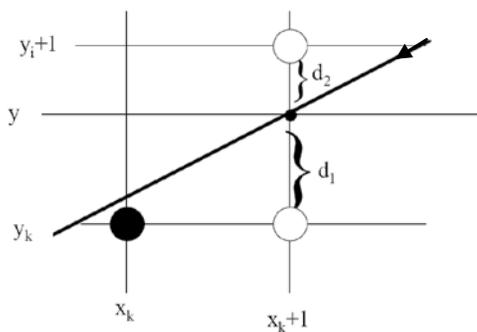


Figura 8.
Representación del Algoritmo

Si suponemos que se debe desplegar el pixel en (x_k, y_k) , a continuación se necesita decidir que pixel se debe desplegar en la columna x_{k+1} . Las alternativas son los pixeles (x_{k+1}, y_k) , y (x_{k+1}, y_{k+1}) ver figura 8. El parámetro de decisión p_k en (4), indicará el siguiente punto a tomar; si $p_k < 0$, el siguiente punto a trazar es (x_{k+1}, y_k) y $p_{k+1} = p_k + 2\Delta y$, de otra forma (x_{k+1}, y_{k+1}) y $p_{k+1} = p_k + 2\Delta y - 2\Delta x$. Este mismo procedimiento requerirá Δx veces.

$$p_k = \Delta x(d_1 - d_2) \quad (4)$$

4. FUNCIONAMIENTO DEL HARDWARE

Dentro del hardware utilizado, se identifican las partes: el celular, la red de telefonía, el decodificador de tonos, el microcontrolador y el mecanismo, éste último incluye a su vez dos motores, uno por articulación.

4.1 Actuadores

El primero es un motor paso a paso unipolar que tiene la capacidad de cambiar pulsos eléctricos en movimientos rotacionales discretos (Chapman, s.f.), permitiendo girar en la posición deseada y con un ángulo preciso de 1.8° ; para el control de este tipo de motores es común el uso del driver LM297.

El segundo actuador es un servomotor que permite multiplicar el torque por medio de un sistema de engranajes incorporado, su sistema de control por ancho de pulso PWM, permite posicionar el servomotor en cualquier ángulo utilizando una amplitud de voltaje de 5 voltios.

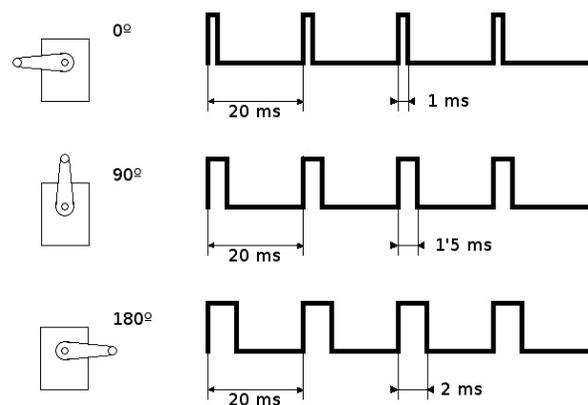


Figura 9.

Orientación y Tiempos de Pulso (Riazollah, 2010).

La figura 9 muestra algunos ángulos referidos a la señal de control necesaria que se le debe aplicar la servo motor. En general, el tiempo del ancho de pulso t , en milisegundos, necesario para ubicar al servomotor en un ángulo en grados φ , se encuentra dado por la expresión (5).

$$t = 1 + \frac{\varphi}{180^\circ} [mseg] \quad (5)$$

4.2 Decodificador y Microcontrolador

Para decodificar la señal se utilizó un decodificador MT8870 que recibe los tonos generados al presionar una tecla del celular. A la salida del

decodificador se obtiene los 4 bits de salida y uno de proceso mientras decodifica, para comprobar su adecuado funcionamiento se le agrego en el circuito un led para identificar las teclas pulsadas.

La cadena de bits generada por el decodificador es tomada por un microcontrolador PIC18F458, cuyos puertos y funcionalidad lo podemos apreciar en la tabla 1 y la disposición de pines en la figura 10.

Tabla 1.

Uso de puertos en el microcontrolador.

Funcionalidad	Pines	Puerto
Servomotor	17	C
Motor de Paso	37-40	B
Teclado	2-6	A
LCD	24-30	D
Decodificador	8-10	E

4.3 Panel de Potencia y Calibración

En el panel de potencia (ver figura 11) del manipulador se encuentran cuatro interruptores, un potenciómetro regulador de voltaje, entradas de voltaje y de prueba de calibración, el interruptor "on/off laser" se utiliza para prender y apagar el laser, este se encuentra en la punta del antebrazo como indicador de la posición en el plano cartesiano en X y Y.

El interruptor "on/off 5V" se usa para toda la parte de los circuitos lógicos del manipulador, y el interruptor "on/off 12V" para la parte de potencia del motor paso a paso.

La perilla de color gris en la figura 11 es el "regulador de voltaje servomotor", este permite regular el voltaje del servomotor para calibrar el correcto giro, con el uso del borne de color rojo de nombre "servo", se conecta un multímetro para verificar el cambio de voltaje que más se ajuste sin aumentar en más de 6V para no dañar el servomotor. Este valor tiende a tener variaciones por movimiento del mecanismo, por lo cual desde el celular se le puede enviar la orden de calibración con la tecla "#" (ver figura 12).



Figura 11.

Panel de calibración y potencia.

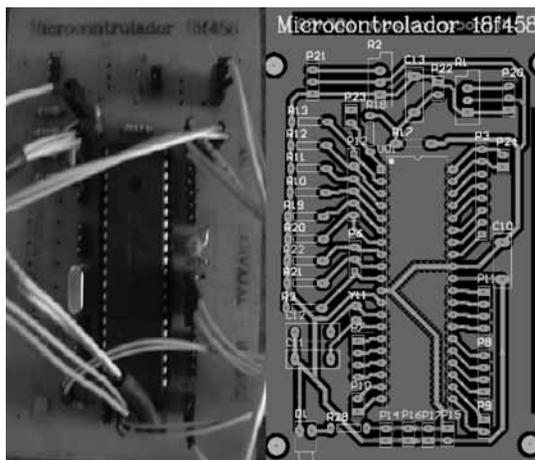


Figura 10.

Diseño e Impreso del microcontrolador PIC 18F458.



Figura 12.

Display LCD.

El driver de requiere por defecto 100mv para entregarle al motor máximo 1 amperio, el cálculo del voltaje se realiza con la siguiente relación: $V_{ref} = 0.1 \times$ Corriente del motor, el borne de color rojo con nombre "driver", se usa para conectar un multímetro y verificar el voltaje de referencia.

5. RESULTADOS

En la tabla 2, se dispone de las características finales del mecanismo Scara diseñado. Dentro de la característica principal; el consumo de potencia es bajo debido a la piñonería dispuesta y que la existencia del efector final no es relevante.

Tabla 2.
Valores técnicos característicos

Especificación	
Potencia Consumida	6.24w
Velocidad PTP	34mm/sec
Repetitividad	+/- 7 mm
Resolución	1.1°
Peso Máximo	1.6Kg
Dimensiones (mm) (WxDxH):	100 x 250 x 570

6. CONCLUSIONES

En este artículo se ha presentado las características generales de un sistema de control multifrecuencial punto a punto, utilizando un mecanismo tipo Scara de dos articulaciones.

La implementación del algoritmo de Bresenham sobre el microcontrolador PIC 18F458 facilita el envío de las señales de control a los actuadores. Sin embargo, depende en gran medida de la resolución del mecanismo; en principio la resolución teórica es buena de 0.5 grados aproximadamente, pero en la práctica se incrementa un poco más del doble. Esto se debe a la inercia de los demás elementos, juego de piñonería y algo de retrasos en el desarrollo de los algoritmos dentro del microcontrolador. Por tal razón se hace necesaria una calibración; por movimiento del mecanismo.

El bajo costo de la implementación del sistema multifrecuencial hace que se siga utilizando para aplicaciones donde el traspaso de información sea simplex y de unos cuantos bytes solamente.

REFERENCIAS

- WebAcademia. *Robot industrial, Robot tipos, características, Historia de la robótica industrial, Descripción técnica, La evolución reciente y futura, La estructura del mercado*. Alumnos Mecatrónica 6 Instituto Politécnico Nacional. (2010). Reporte final de la construcción de un Robot tipo Scara. Recuperado de: http://centrodeartigos.com/articulos-noticias-consejos/article_133917.html
- Pedra M. (2013) *Historia y evolución del Control Remoto*. Recuperado de: <http://www.marcelopedra.com.ar/blog/2008/03/24/historia-y-evolucion-del-control-remoto/>
- Joao R. (2013) *DTMF Tons Multifrequenciais*. Recuperado de: <http://www.cram.org.br/wordpress/?p=1581>
- Yun Chan Cho. (2008) *Remote robot control system based on DTMF of mobile phone*. IEEE Xplore. ISSN 1935-4576. Pág. 1441-1446.

- Hbeonlabs Technologies Pvt. Ltd. *Robotics*.India. recuperado de: <http://www.indiamart.com/hbeonlabs/robotics-projects.html>
- Engineers Garage. Gourav M, Rohtak, Haryana. (2013) *DTMF based Robot Car*. Recuperado de: <http://www.engineersgarage.com/contribution/dtmf-based-robo-car?page=5>
- Goover M, Weiss M. (1990) *Robótica Industrial*. McGraw Hill - Interamericana España.
- K.S.FU, (1987) *Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence*. McGraw Hill book Company.
- Universidad Militar nueva granada. (2008). Primer Seminario Internacional de Mecatrónica, Realidad Virtual y Sistemas avanzados de Manufactura; robotica, monsberger walter p.h.d.
- P.I. Corke, (2007) "MATLAB toolboxes: robotics and vision for students and teachers", IEEE Robotics and Automation Magazine, Volume 14(4), pp. 16-17.
- Chapman S.J. (2000) *Máquinas Eléctricas*. Mc Graw Hill. Tercera Edición.
- Riazollah F. (2010) *Servo motors and Industrial Control Theory*. Springer.
- Pineda F. (2004.) *Diseño e implementación de un robot para montaje de componentes electrónicos de superficie (SMC), utilizando visión artificial*. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Colombia,
- Camacho O. (2012) *Solución de la cinemática inversa para el control del brazo mecánico*. Tesis de grado. Universidad Autónoma de Colombia..
- Baturone O.A, (s.f.) Hemero: herramienta matlab / simulink para el estudio de manipuladores y robots móviles. Editorial Marcombo-Boixareu Recuperado de: <http://grvc.us.es/hemero/descargar.html>
- Weitzenfeld A., (2004), *Ingeniería de Software Orientada a Objetos con UML, Java e Internet*, Cengage (Thomson) Learning (ISBN 970-686-190-4).