

# Estudio, Diseño e Implementación de un Controlador (Hardware y Software) para Tres Grados de Libertad Del Manipulador Robótico CRS-A255

Daniel Maldonado Q. , Andrea Sánchez A., Alexander Ibarra J.

**Resumen**— El presente proyecto abarca el estudio y análisis del Controlador C500 y el manipulador robótico CRS-A255, describiendo sus partes y ubicación de las mismas. Se realizó el diseño de un controlador acorde a las necesidades del laboratorio de robótica del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE, formado por tres etapas: control, potencia y alimentación. La primera formada por una red de microcontroladores Maestro-Escavo, que permite el manejo del manipulador robótico desde un TEACH PENDANT y desde un HMI desarrollado en Netbeans 7.2, la segunda etapa encargada del movimiento de los motores se implementó con MOSFET de potencia y transistores para la activación de frenos.

**Palabras-Clave**—CRS A 255, TEACH PENDANT, HMI, MOSFET, MICROCONTROLADOR, grado de libertad .

## I. INTRODUCCIÓN

En el aprendizaje de robótica, los manipuladores robóticos CRS-A255 existentes en el laboratorio de la asignatura antes mencionada han sido una herramienta muy útil, ya que al ser robots de entrenamiento, brindan la posibilidad de conocer y entender los principios de funcionamiento y programación de un robot industrial.

Debido al tiempo de vida de los manipuladores robóticos se han ido presentando inconvenientes en los controladores, quedando así, inhabilitados dos de los tres robots en mención, y consecuentemente se ve afectado el aprendizaje de los estudiantes del Departamento.

Por esta razón se realizó un nuevo controlador para tres grados de libertad del manipulador robótico CRS-A255, estableciendo etapas de alimentación, potencia y control, que serán descritas más adelante.

Con el nuevo controlador implementado a más de lograr que los estudiantes del Departamento tengan acceso a trabajar con un manipulador robótico más, se deja los cimientos de un proyecto más grande que abarcará el diseño de trayectorias, almacenamiento de puntos en el espacio, etc.

## II. CARACTERÍSTICAS DEL MANIPULADOR CRS-A255

La constitución física del manipulador robótico tiene una gran similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano, tiene una configuración angular o antropomórfica con cinco grados de libertad: cadera, hombro, codo, muñeca y rotador. Como efector final se tiene un gripper neumático.

Los motores encargados del movimiento del manipulador son de corriente continua (DC) y funcionan a 35 VDC, 2 A máximo.



Fig. 1 Ubicación de los motores de las articulaciones 2, 3, 4 y 5

Cada motor cuenta con un *encoder* de tipo incremental, es decir, que solo puede realizar cuentas ascendentes o descendentes a partir de la posición actual de la articulación, se alimentan con 5 VDC, tienen una resolución de 1000 pulsos por revolución y tienen tres canales de salida. También se tiene frenos en las articulaciones superiores del manipulador, es decir hombro, codo, muñeca y rotador, que sirven para evitar que el mismo caiga por efectos de la gravedad cuando se encuentra desenergizado. El CRS A255 cuenta con reducciones de tipo cicloidal (72:1) en las articulaciones de cadera, hombro y codo, mientras que las reducciones para la muñeca y rotador (19.6:1 y 9.8 respectivamente) son de tipo engranajes; las transmisiones para todas las articulaciones son cadenas.

Para su conexión hacia el controlador cuenta con dos cables umbilicales que se conectan a la parte posterior del manipulador, uno encargado de alimentar los motores que mueven las articulaciones y el otro que es encargado de llevar las señales de los *encoders* y la alimentación del *gripper* con que cuenta el mismo.

### III. CONTROLADOR C500

Actualmente, los manipuladores robóticos disponibles en los laboratorios del Departamento de Electrónica de La ESPE son manejados por el controlador original (C500), el cual está formado de 4 etapas que son:

- Etapa de Alimentación: la cual cuenta fuentes de 2 tipos, una fuente no regulada que provee los 35 VDC necesarios para el movimiento de los motores, y una fuente de tipo *switching* que es la encargada de suministrar los 5 VDC y 12 VDC necesarios para el funcionamiento de la etapa de control y activación del *gripper*
- Etapa de Aislamiento: El controlador C500 cuenta con conexiones adicionales que pueden realizarse, que puede significar sensores externos, o controles adicionales mediante el reconocimiento de las mismas el manipulador pueda ejecutar cualquier acción que se desee. Esta etapa está compuesta por opto-acopladores y relés que serán los encargados del aislamiento de los circuitos integrados de los sensores externos al sistema.
- Etapa de Potencia: Compuesta de dos tarjetas capaces de controlar tres motores cada una. Sus circuitos están formados de amplificadores operacionales, lo que les permite generar un voltaje DC constante.
- Etapa de control: Esta etapa cuenta con varios elementos como memorias, microcontroladores, *FPGA's*, etc. Que son los encargados tanto de analizar las señales que provee el robot, como de enviar las instrucciones necesarias para el correcto funcionamiento del mismo. Permite almacenamiento de puntos en el espacio, generación de trayectorias, lineales y no lineales, cambios de velocidad, entre otras funciones.

Este controlador es capaz de manejar distintos modelos de manipuladores de la misma empresa con un máximo de 6 grados de libertad.

### IV. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

Después de analizar el manipulador robótico CRS A255 y comprender de manera superficial el funcionamiento del controlador C500 se procedió con la etapa de diseño. Se definieron tres etapas para el controlador en su primera etapa: alimentación, potencia y control. El objetivo de este proyecto, al ser la etapa inicial, fue dejar un controlador modular que pueda ser ampliado o de ser necesario modificar alguna de sus partes.

Para la implementación de este nuevo controlador se decidió controlar los motores encargados del movimiento de las articulaciones mediante modulación por ancho de pulso (PWM), y es por este motivo que se decidió también alterar las conexiones originales del manipulador en cuanto a los freos se refiere, en la figura 2 se puede apreciar el cambio realizado.

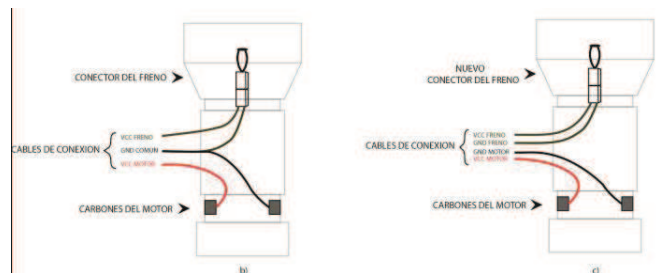


Fig. 2 Conexiones antigua y nueva de los freos de los motores

Originalmente la referencia de tierra del motor servía como referencia de tierra para el freno, sin embargo, esta configuración no es aplicable para un control por PWM, ya que el voltaje necesario para la desactivación de los motores no se puede mantener constante.

- Etapa de Potencia:

La etapa de potencia puede ser dividida en dos partes, la primera encargada de la activación / desactivación de los freos de cada articulación y solenoide del *gripper*; y la segunda encargada de suministrar el voltaje necesario para el funcionamiento de los motores.

La primera parte está formada por transistores, los mismos que al ser activados, liberan los freos de las articulaciones seleccionadas.

La segunda parte está formada por 5 circuitos de activación para los motores, los mismos que tienen un puente H de *MOSFET* de potencia, con sus respectivos

*drivers* para manejar el lado alto del puente y optoacopladores para el manejo del lado bajo del puente.

Esta etapa se implementó en una tarjeta PCB, la cual se puede apreciar a continuación en la Figura 3.

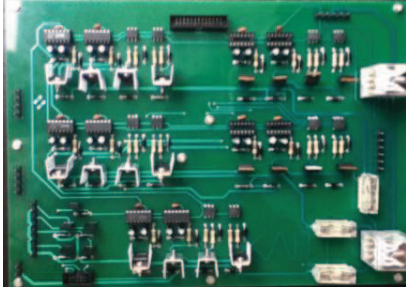


Fig. 3 Tarjeta de potencia

En la figura se pueden apreciar los cinco circuitos encargados del movimiento de los motores de cada articulación y en la parte inferior izquierda los transistores utilizados para los frenos y solenoide del manipulador.

En la parte izquierda de la tarjeta se encuentran dos relés, los mismos que alimentan a los circuitos de potencia de los motores. Estos relés forman un circuito de enclavamiento con los pulsadores y botones colocados en el panel frontal del controlador.

- Etapa de Control:

En la etapa de control se implementó una red de microcontroladores “Maestro-Esclavo”, debido a que se necesitaba una vía de enlace entre el operador y el manipulador robótico. En esta red, el maestro es el encargado de manejar las señales provenientes del *teach pendant*, señales de activación / desactivación del voltaje 35 VDC, manejar los *display* de información para el operador e interactuar con un programa desarrollado para el computador. Mientras que los esclavos son los encargados de controlar dos motores cada uno a excepción del que controla la cadera, ya que este también será el encargado del manejo del *gripper*. El control de los motores del manipulador se realiza a través de una compuerta lógica AND, ya que los microcontroladores cuentan con dos señales de modulación por ancho de pulso (PWM) y cada microcontrolador debe controlar 2 articulaciones.

Adicional a esto, en la etapa de control se tiene el acondicionamiento de las señales provenientes de los tres canales que tiene cada uno de los motores de las articulaciones, este acondicionamiento está formado por un circuito RC que filtra el ruido generado en el motor, y

después pasa por una compuerta inversora *Schmitt Trigger*, la que con su histéresis mejora la señal que ingresa al microcontrolador.

Al igual que la etapa de potencia la implementación de esta etapa se la realizó en una tarjeta PCB que se puede apreciar en la Figura 4

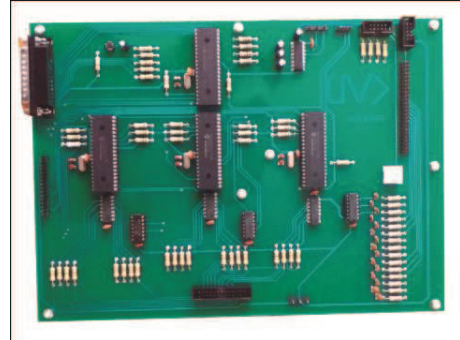


Fig. 4 Tarjeta de control

- Etapa de Alimentación:

Para esta etapa se implementó una fuente no regulada de 35 VDC, utilizada para el accionamiento los motores y los frenos del manipulador robótico, dos fuentes reguladas de 5 VDC, 3A debido a que la potencia que entregaba una sola no era suficiente para el correcto funcionamiento de todos los circuitos integrados del sistema; y por último una fuente regulada de 12 VDC que es la encargada de suministrar el voltaje necesario para la activación de los *MOSFET* de potencia y el solenoide del *gripper*.

La implementación de esta etapa cuenta con un transformador con dos salidas, los puentes de diodos necesarios para la rectificación de la onda, capacitores para la fuente no regulada de 35 VDC y la tarjeta PCB que se presenta a continuación:

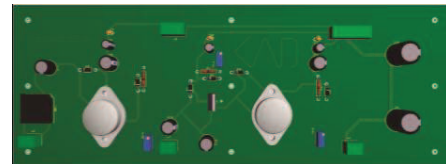


Fig. 5 Tarjeta de control

- Controlador nuevo:

El controlador en su panel frontal cuenta con los pulsadores de energización y paro de emergencia que permiten el paso de los 35 VDC a los circuitos de potencia de cada motor; un selector que indica que el manejo del robot se va a hacer desde el *teach pendant* o desde el

computador; un LCD y el conector hacia el que llegan las señales del *teach pendant*. En la Figura 6 se presenta una imagen del controlador visto de frente.



Fig. 6 Panel frontal del controlador

En la parte posterior del controlador se tienen los conectores que envían las señales de potencia hacia los motores y frenos del manipulador robótico, y reciben las señales de realimentación de los *encoders* del mismo; los conectores de entrada de alimentación de 120 VAC, botón de encendido y fusible de protección; y la conexión hacia el computador, a través de un cable serial. A continuación se presenta una imagen del panel posterior del controlador.



Fig. 7 Panel posterior del controlador

Por último para la implementación de la parte física del controlador se diseñó un *teach pendant*, que contenga un teclado matricial de 4x4 que permita mover cada una de las articulaciones, cambiar la velocidad e indicar la posición *HOME* del manipulador robótico. Adicional al teclado, cuenta con un LCD que indica el estado del selector, es decir, el modo de operación (PC o *teach pendant*) y la velocidad seleccionada y actual. Este se conecta al controlador mediante un cable paralelo (DB-25)



Fig. 8 Teach Pendant

Para poder controlar el manipulador robótico desde el computador se desarrolló un programa en un software libre de manera que cualquiera pueda entender y en base a este crear un nuevo programa que mejore las capacidades del controlador implementado. Este programa tiene indicadores de modo de operación seleccionado, velocidad y un teclado que permite el manejo de 3 de los 5 grados de libertad con que cuenta el robot. Y un ítem que permite seleccionar el puerto al que está conectado el controlador.

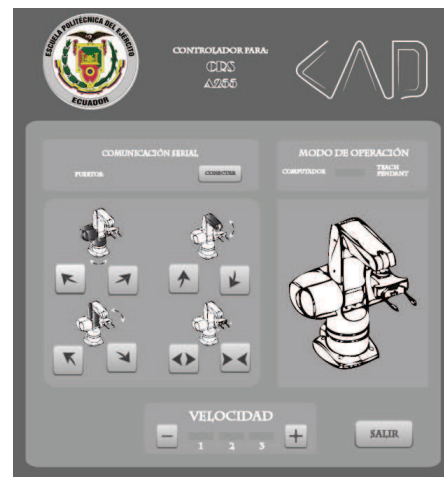


Fig. 9 Pantalla principal del programa implementado en NETBEANS 7.2

## V. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Se implementó en los microcontroladores un control proporcional para la articulación 1, mientras que para las articulaciones 2 y 3 el control varía proporcionalmente al error, sin embargo, debe analizar cuando baja si es necesario sostener la articulación o empujarla a fin de obtener la velocidad deseada.

En la etapa de pruebas y resultados se efectuó una comprobación del funcionamiento del control implementado, y la lectura adecuada de pulsos a través los circuitos en las tarjetas.

Tabla 1 Resultados de movimiento de Articulación 1

Velocidad	Movimiento		Pulsos Contados		Error %	
	[°]	pulsos	CW	CCW	CW	C CW
1	350	70000	71340	72168	2	3
2	350	70000	70914	70980	1	1
3	350	70000	73019	71257	4	2

Tabla 2 Resultados de movimiento de Articulación 2

Velocidad	Movimiento		Pulsos Contados		Error %	
	[°]	pulsos	CW	CCW	CW	C CW
1	110	22000	21960	23096	4	5
2	110	22000	22031	23707	2	8
3	110	22000	20953	24160	5	10

Tabla 3 Resultados de movimiento de Articulación 3

Velocidad	Movimiento		Pulsos Contados		Error %	
	[°]	pulsos	CW	CCW	CW	C CW
1	130	26000	27890	28094	7	8
2	130	26000	26939	29030	4	12
3	130	26000	27052	28507	4	10

Para la sintonización de la constante de proporcionalidad, se consideró el cambio de ciclo de trabajo que se deseaba tener en función del error que se tiene. A continuación en las Tablas se presentan los resultados obtenidos con cada uno de los valores de constante de proporcionalidad sugeridos, tomando en cuenta que los valores de velocidad presentados, tanto de *SP* (valor deseado) como de error, están dados en pulsos contados cada 52.4 [ms].

Tabla 4 Error con  $K_P = 1/15$

SP	Articulación 1		Articulación 2		Articulación 3	
	CW	CCW	CW	CCW	CW	CCW
100	20	15	30	15	25	30
250	35	25	35	20	40	35
400	60	40	50	20	45	35

Tabla 5 Error con  $K_P = 1/20$

SP	Articulación 1		Articulación 2		Articulación 3	
	CW	CCW	CW	CCW	CW	CCW
100	20	20	15	30	20	15
250	25	20	15	40	30	20
400	25	20	20	45	35	25

Tabla 5 Error con  $K_P = 1/30$

SP	Articulación 1		Articulación 2		Articulación 3	
	CW	CCW	CW	CCW	CW	CCW
100	10	15	30	30	10	20
250	10	10	45	50	15	15
400	15	20	45	60	15	25

Del análisis de resultados podemos obtener que el control proporcional no es suficiente para mantener un error bajo, con el control implementado se llegó a tener errores del 25% en determinadas articulaciones, lo cual también se atribuye al análisis y cambio de sentido que necesita hacer el microcontrolador cuando las articulaciones están bajando.

El análisis de la cuenta de pulsos generada en un movimiento de extremo a extremo, arrojó resultados mejores, llegando a presentar errores del 10% en las articulaciones que tienen menor movimiento.

## VI. CONCLUSIONES

- Se logró implementar un controlador, capaz de controlar tres grados de libertad del manipulador robótico CRS-A255, cumpliendo con los requerimientos propuestos para el presente proyecto.
- El manual con el que se desarrolló el proyecto es de un manipulador robótico similar al CRS-A255, por lo que no cuenta con un detalle acorde en su totalidad al robot, y es aquí donde se encontraron varios problemas, uno de estos ejemplos es el de los frenos, motivo por el cual se modificó la conexión de los mismos. En cuanto a los motores se constató que estos son de Corriente Continua (DC) y no Servo Motores como se indica en la guía de usuario.
- Las señales provenientes de los encoders incrementales con los que cuentan los motores tiene demasiado ruido para poder leerlas directamente por el microcontrolador. Un circuito RC ayuda a atenuar el ruido, sin embargo, es necesaria la utilización de una compuerta inversora con histéresis adicional para obtener la forma de onda deseada.
- Para la selección de los elementos de potencia es necesario tomar en cuenta, además de las características de voltaje, corriente y potencia, la frecuencia de conmutación a la que pueden trabajar, en el caso particular de la modulación por ancho de pulso (PWM) se refiere al mínimo ciclo de trabajo que se va a utilizar



- Se logró implementar un programa para el manejo del robot desde el computador, el mismo que fue desarrollado en NETBEANS 7.2, que trabaja sobre la plataforma Java. Este entorno de trabajo permite el manejo de puertos del computador, y por ser de conocimiento general entre los estudiantes de la carrera permitirá a los estudiantes el desarrollo la adición de nuevos componentes, acciones, etc cumpliendo así con la necesidad de ser un proyecto escalable.

## VII. RECOMENDACIONES

- Este proyecto se presenta como una solución escalable, por lo que se recomienda que exista continuidad en el mismo, es decir, que se continúe con las siguientes etapas como pueden ser generación de trayectorias, almacenamiento de puntos en el espacio, etc.
- Dar un mejor mantenimiento a las partes mecánicas del manipulador robótico
- Dedicar una clase a la explicación detallada, desmontaje y montaje, del manipulador robótico a fin de que los estudiantes de la carrera conozcan físicamente los actuadores, sensores, reducciones y transmisiones presentes en el mismo.

## REFERENCIAS

- [1] Thermo CRS. (2002). CataLyst-5 Robot System User Guide.
- [2] International Rectifier. (s.f.). International Rectifier (IRF). Obtenido de AN-978 HV Floating MOS-Gate Driver ICs: <http://www.irf.com/technical-info/appnotes/an-978.pdf>
- [3] García Saquicela, M. R. (2010). DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DEL BRAZO ROBÓTICO CRS A255 UTILIZANDO LA PLATAFORMA KINETIX DE ALLEN BRADLEY. Escuela Politécnica del Ejército, Quito.
- [4] García Breijo, E. (2008). Compilador C CCS y Simulador PROTEUS Para Microcontroladores PIC (Primera Edición ed.). México: Alfaomega Grupo Editor.
- [5] Foro: Todo PIC. (s.f.). Obtenido de [www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=23978.0](http://www.todopic.com.ar/foros/index.php?topic=23978.0)
- [6] Balcells, J., Daura, F., Esparza, R., & Pallás, R. (1992). INTERFERENCIAS ELECTROMAGNÉTICAS EN SISTEMAS ELECTRÓNICOS. Alfaomega.
- [7] Ott, H. W. (1988). Noise Reduction Techniques in Electronic Systems. John Wiley & Sons.

## BIOGRAFÍA



Nació en Quito el 26 de agosto de 1988. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Militar “Eloy Alfaro”, obtuvo su título de Bachiller en Ciencias en el año 2006. Realizó sus estudios superiores en la Escuela Politécnica del Ejército en el Departamento de Eléctrica y Electrónica con la especialización en Automatización en Control, se encuentra realizando su proyecto de tesis sobre “Estudio, Diseño e Implementación de un Controlador (Hardware y Software) para Tres Grados de Libertad Del Manipulador Robótico CRS-A255”.



Nació en Quito el 10 de julio de 1987. Realizó sus estudios superiores en el Colegio Borja3, obtuvo su título de Bachiller con especialidad en Físico-Matemático en el año 2005. Realizó sus estudios secundarios en la Escuela Politécnica del Ejército en el Departamento de Eléctrica y Electrónica con la especialización en Automatización en Control, se encuentra realizando su proyecto de tesis sobre “Estudio, Diseño e Implementación de un Controlador (Hardware y Software) para Tres Grados de Libertad Del Manipulador Robótico CRS-A255”.