

Diseño e implementación de una estación de entrenamiento con un robot cartesiano para el laboratorio de Robótica y PLC's del Departamento de Eléctrica y Electrónica de la ESPE.

Roberto C. Andino

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
Sangolquí, Ecuador
rc-ab9@hotmail.com

Christian J. Salgado

Departamento de Eléctrica y Electrónica
Universidad de las Fuerzas Armadas - ESPE
Sangolquí, Ecuador
christianjavico90@hotmail.com

Resumen—El proyecto de titulación contempla realizar una estación de entrenamiento robótica que incluya un manipulador industrial cartesiano de morfología tipo portica para lo cual se realizará un diseño mecánico de todo el sistema subdividido en pequeños subsistemas como: sistemas de fijación, sistemas de movimiento, sistemas de transmisión de potencia, entre otros. Adicionalmente se realizará un diseño eléctrico que cumpla requerimientos de seguridad para protección y control de: los circuitos internos de la estación, actuadores y sensores. Todo esto pasando por un proceso de pre selección de cada uno de los elementos tanto mecánicos como eléctricos que conformarán la estación en sí, previo a una implementación física. Posteriormente se implementará un sistema de visualización e interacción denominado HMI, en el cual se relacione al operador con las distintas funcionalidades que se le puedan asignar a la estación de entrenamiento, además de permitir una correcta visualización del estado de la estación cuando esta se encuentre con procesos inicializados. Finalmente se realizarán pruebas que permitan definir de manera cercana las características del manipulador robótico cartesiano siendo las más importantes las características de precisión y repetibilidad.

Palabras claves—Control de velocidad; precisión; repetibilidad; robot cartesiano; ZAE 201.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente el laboratorio de Robótica y PLC's cuenta con una sola configuración en cuanto a manipuladores robóticos se refiere, esta única configuración es de tipo antropomórfico (manipulador robótico CRS – A255), y un manipulador robótico de característica hidráulica, esto limita a los estudiantes dentro de la cátedra de Robótica Industrial a relacionarse con las distintas configuraciones de manipuladores existentes. Además, el laboratorio cuenta actualmente con un solo módulo funcional, y otro que está siendo habilitado con proyectos de tesis afines, razón por la cual no se puede realizar varias prácticas de laboratorio simultáneas en los diferentes periodos académicos.

Este proyecto pretende aportar con materiales de enseñanza al laboratorio de Robótica y PLC's de la Universidad de las

Fuerzas Armadas (ESPE), mediante la realización de una estación de entrenamiento con un robot cartesiano didáctico, robusto con elementos de mando y control existentes en el laboratorio previamente indicado, que incluya guías prácticas de laboratorio, las cuales serán fuente de aprendizaje para las nuevas generaciones de estudiantes que cursen por dicho laboratorio.

Con esto se busca, a la vez, aumentar el número de manipuladores robóticos que posee el área de Automática y Robótica, obteniendo así, el equipamiento de un laboratorio de robótica con varias estaciones de entrenamiento que poseen diversas configuraciones de manipuladores robóticos didácticos.

Además, con el desarrollo de estaciones de entrenamiento robótico que manejen distintas configuraciones de manipuladores, se brinda al estudiante destrezas que le permitirán desenvolverse a lo largo de su carrera, ya que, el estudiante tendrá contacto de manera directa con el manipulador robótico en sí, aplicando la teoría en forma práctica.

II. DESARROLLO DE HARDWARE

II-A. Diseño mecánico.

El diseño mecánico se lo realizó en base al análisis de morfologías y subsistemas mecánicos de la estación de entrenamiento.

Para la morfología del manipulador robótico cartesiano se decidió diseñar un manipulador robótico de morfología tipo portal ya que esta permite ahorrar espacio debido a que ocupa de manera eficiente la mayor parte de su estructura interna, adicionalmente en este tipo de morfología se hace más fácil equilibrio de los ejes de la estructura lo que brinda una mayor estabilidad. El diseño del manipulador robótico cartesiano es mostrado en la figura 1.

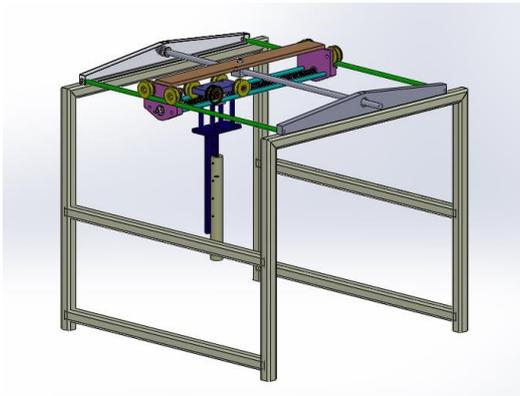


Fig. 1. Morfología del manipulador robótico cartesiano tipo pórtico.

En cuanto a los subsistemas mecánicos se refiere el sistema se divide en los siguientes sistemas: sistemas de fijación y sistemas de movimiento.

Para el sistema de fijación se realizó el diseño basándose en un sistema de fijación mixto ya que se requiere que el manipulador robótico cartesiano sea estable y a la vez sea de un fácil montaje/ desmontaje, es por esto que para la estructura sostén del manipulador robótico cartesiano se empleó una fijación por soldadura debido a la estabilidad requerida mientras que para la estructura que compone el manipulador cartesiano en sí se empleó un sistema de fijación por pernos que otorguen a la estructura flexibilidad y accesibilidad en cuanto a reparaciones de los elementos componentes del manipulador robótico se refiere.

El sistema de movimiento se divide a su vez en dos subsistemas más, los cuales son el sistema de transmisión de potencia y los actuadores.

En el sistema de transmisión de potencia debe generar un movimiento lineal partiendo de un movimiento circular ejercido por los actuadores es por este motivo que los únicos sistemas de transmisión de potencia que serán útiles son los siguientes:

- Transmisión tipo piñón – cremallera
- Transmisión tipo tornillo sinfín – tuerca

De los sistemas previamente enunciados se decidió utilizar un sistema de transmisión de potencia del tipo tornillo sinfín – tuerca ya que tiene un bajo costo de producción, brinda mayor precisión genera menor ruido mecánico en comparación con el otro sistema. Para que el sistema genere menor torque hacia el motor por fricciones de los tornillos sinfín con los elementos de sujeción se decidió emplear rodamientos axiales debido a que estos soportan cargas perpendiculares a los ejes de movimiento.

En cuanto a los actuadores se refiere, se seleccionaron actuadores de tipo eléctrico por sus grandes ventajas, gran disponibilidad y bajo costo en comparación con actuadores de tipo neumático e hidráulico. Adicionalmente se determinó que para los ejes XY se emplearán servomotores, ya que estos soportan torques altos debido a que todo el peso de la

estructura está soportado sobre estos dos ejes. Para el Eje Z se elige un motor DC con caja reductora con relación de 15:1, ya que este eje es de características de accionamiento ON/OFF y no necesita de un control de velocidad.

II-B Diseño Eléctrico.

En el diseño eléctrico constan los componentes eléctricos del sistema (Gabinete eléctrico, consola de control). Además de los circuitos de protección y alimentación, circuitos de control principal.

El gabinete eléctrico se basó en criterios expuestos por la norma NEMA 250 y UL 50, 50E del cual se tomaron características de un gabinete eléctrico tipo 5. Adicionalmente este se encuentra cubierto con pintura al horno con un baño electrostático para evitar aterrizajes innecesarios. Las dimensiones del gabinete son determinadas por los rack DTA 200 y 201 siendo las siguientes:

- Ancho: 50mm
- Largo: 405mm
- Profundidad: 320mm.

La consola de control está constituida de láminas de acero con recubrimiento de pintura al horno con un baño electrostático para evitar aterrizajes innecesarios. Las dimensiones de la consola de control son las siguientes:

- Ancho: 500mm
- Largo: 205mm
- Profundidad: 330mm

El circuito de protección y alimentación se diseñó para que su funcionamiento sea de la siguiente manera:

Una vez activado el mando de arranque de la estación por llave, se acciona un circuito que contiene un fusible conectado al sistema de alimentación general de 110V AC, adicionalmente se activa un circuito de enclavamiento el cual permitirá encender a la estación mediante un pulso a través del mando de encendido de la estación, y desactivarla mediante otro pulso proporcionado en el mando de apagado de la estación. Si la estación se encuentra energizada, el mando de encendido de la estación activará las distintas fuentes que alimentan a sensores, actuadores y PLC. La codificación de las luces piloto es la siguiente:

- Luz piloto Roja: Indica estado de emergencia.
- Luz piloto Verde: Indica estación energizada y activada.
- Luz Piloto Amarilla: Indica estación apagada.

En cuanto al circuito de sensamiento se puede decir que se compone de elementos de sensamiento de los cuales se tomaron los siguientes:

- **Sensores Inductivos**, estos se encuentran en las posiciones extremas de los ejes, y ayudan a determinar donde se encuentra posicionado el manipulador robótico cartesiano en todos sus ejes.

- **Encoders**, estos tienen como función principal detectar posiciones intermedias de los ejes controlados es decir eje XY.

El circuito de control principal se compone de dos partes: la primera es un PLC el cual maneja la lógica de programación y la lógica de funcionamiento de la estación; y la segunda, es un circuito auxiliar de control que se encargará de ejecutar cambios de giro en los actuadores.

El circuito auxiliar de control funciona de la siguiente manera:

El cambio de giro es ejecutado por dos salidas discretas de 24V DC provenientes del PLC asignadas a cada uno de los actuadores. Una vez que se activa el giro en un sentido se enclavará uno de los relés del puente H diseñado impidiendo que el otro relé que lo compone se active es por esto que para que se efectúe un cambio de giro ambos relés se encuentren previamente desenergizados.

En cuanto al controlador lógico programable se describe lo siguiente:

El PLC utilizado es de la marca Schneider Electric, el modelo es un Modicon Compact, de la serie A984-IX0, funciona con un voltaje de 24V DC, su conexión con la PC es mediante un cable serial DB9.

Los módulos de control del PLC Modicon Compact implementados en la estación son los siguientes:

- **DEP 216.** Módulo de 16 entradas digitales de 24 VDC.
- **ZAE 201.** Módulo de conteo rápido o Posicionador de 24 VDC.
- **DAP 216.** Módulo de 16 salidas digitales de 24 VDC.
- **DAP 212.** Módulo mixto de 16 salidas digitales, 8 a relé y 8 de 24VDC.

III. DESARROLLO DE SOFTWARE

III-A. *Diseño de la interfaz HMI.*

El diseño de la interfaz HMI se expresa en la lógica de funcionamiento descrita a continuación:

Con el objetivo de realizar interfaces seguras y amigables con el usuario se emplearon activaciones que eviten el salir de la interfaz para poder activar requerimientos previos como el caso de los graficadores desarrollados en el programa Microsoft Excel.

Las interfaces poseen menús de ayuda que se encuentran dentro de la interfaz, estos brindan una breve introducción de cómo realizar las prácticas propuestas y que requerimientos son necesarios previos a la operación de la estación.

El sistema tiene bloqueos que evitan que el operador pueda abandonar repentinamente el sistema sin que el sistema haya terminado con las tareas o procesos iniciados.

El sistema posee 5 prácticas a ser desarrolladas por el operador dentro de las cuales se encuentran:

- **Manejo manual de la estación:** Práctica diseñada para la operación de cada uno de los actuadores existentes dentro de la estación, en esta el operador se relaciona de manera directa con los actuadores mediante pulsadores los cuales varían según la utilidad que tengan.
- **Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto:** Esta práctica fue diseñada con el objetivo de que el operador analice el movimiento o comportamiento que tienen los ejes XY al desplazarse de un punto a otro.
- **Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con puntos intermedios:** Esta práctica fue diseñada para que el operador pueda desplazar el manipulador robótico cartesiano de un punto inicial a otro final, pero realizando desplazamientos previos de puntos intermedios entre la trayectoria, esto debido a que el desplazamiento del manipulador robótico cartesiano se puede ver interrumpido por obstáculos que impedirían que llegara a la posición final.
- **Movimiento del robot cartesiano en el eje XY punto a punto con trayectoria rectilínea:** Esta práctica permite que el operador pueda desplazar el manipulador robótico cartesiano de un punto inicial a otro final, pero con una trayectoria forzada por el sistema, la cual es una trayectoria del tipo rectilínea.
- **Ejemplo de aplicación robótica:** La práctica final que se puede realizar con el manipulador robótico cartesiano es la de una aplicación robótica industrial donde la estación realiza un proceso industrial ejemplar que permite ver una aplicación real.

III-B. *Diseño de la lógica de programación para el PLC.*

El diseño de la lógica de programación para el PLC se expresa en la lógica de funcionamiento descrita a continuación:

1. **Control de posición de los ejes XY mediante un contador rápido (ZAE 201) y encoders de tipo incremental.**

Para poder realizar el control de posición de los ejes XY se especificaron ciertas condiciones que permitieron definir la acción a tomar dependiendo del valor de seteo de posición que desee ingresar el operador para ambos ejes, estas condiciones son las siguientes:

- **Condición de seteo mínima:** Esta condición se define así debido a que el operador ingresa la posición mínima o nula tanto en el eje X como en el eje Y, esta posición es cuando ambos ejes se setean en $x = 0$ mm y $y = 0$ mm.
- **Condición de seteo media:** Esta condición se define así debido a que el operador ingresa una posición que se encuentra entre los límites de desplazamiento de la estación, es decir la posición del eje Y es mayor a 0 mm y menor a 440 mm, y para el eje X es mayor a 0 mm y menor a 705 mm.
- **Condición de seteo máxima:** Esta condición al igual que la condición de seteo mínima se define así debido a

que la posición que ingresa el operador es la máxima para los ejes XY, esta condición para el eje x se da cuando el valor de seteo es 705 mm y para Y cuando el valor de seteo es de 440 mm.

Si el sistema se encuentra en condición de seteo mínima o máxima, este desplazará sus ejes con una alta velocidad hasta llegar a las posiciones extremas definidas por los sensores de presencia.

Cuando el sistema se encuentra en la condición de seteo media el sistema realizará los cálculos de valores de desplazamiento en pulsos partiendo de una posición inicial y una posición final de los ejes XY, este valor de desplazamiento se obtiene mediante la diferencia de la posición inicial de los ejes y la posición seteada o posición final. El signo proporcionado de la diferencia de la posición inicial y la posición seteada, proporciona la dirección de movimiento del sistema, siendo así que si el resultado de la resta es negativo el movimiento para el eje X será hacia adelante, y para el eje Y el movimiento será hacia la izquierda, mientras que el movimiento hacia atrás del eje X será generado por un signo positivo en la diferencia de posiciones, y el movimiento hacia la derecha del eje Y también será generado por un signo positivo en la diferencia de las posiciones del eje Y. Si los resultados de la diferencia de posiciones equivalen a cero quiere decir que no habrá desplazamiento de la posición actual, esto se define como condición nula de movimiento.

El desplazamiento se lo realizará restando los datos de conteo procesados obtenidos previamente de la rutina de procesamiento de datos del ZAE 201 del desplazamiento obtenido de la diferencia de posiciones, una vez que esta diferencia se vuelve cero el sistema se detiene mientras tanto el sistema continuará con el desplazamiento en una posición definida.

2. Control de errores de desplazamiento por parte de los ejes XY.

Debido a la generación de errores por el fenómeno de inercia de los motores de los ejes XY, se determinó un control de errores mediante un offset al desplazamiento obtenido en la rutina de control de posición de los ejes XY. Este offset se lo aplicará bajo ciertas condiciones:

Si el valor de desplazamiento es menor a 10 mm o es un desplazamiento nulo el offset no se aplicará, debido a que el error debido a la inercia de los motores es muy alto por la distancia de frenado de los motores es muy corta.

Si el valor de desplazamiento es igual o mayor a 10 mm se aplicará el offset, debido a que la distancia de frenado de los motores es mayor por tanto es más fácil de controlar el corte de velocidad de los motores.

El valor de offset se aplica restando al valor de desplazamiento de la posición inicial y la posición final, con esto los ejes se desplazan con una menor distancia.

Control de velocidad para generación de trayectorias rectilíneas mediante simulación de control de velocidad por control rampa

El control de velocidad de tipo rampa permite disminuir el efecto de inercia en los motores ya que mediante una energización la velocidad incrementa de manera progresiva hasta mantenerse en la velocidad deseada y cuando esta está próxima a llegar al objetivo deseado empieza a decrementarse secuencialmente obteniendo un frenado más óptimo.

Adicionalmente este tipo de control permite la generación de distintos tipos de trayectorias al hacerlo en dos ejes de desplazamiento. En la figura 2 se verifica la señal de operación de un control rampa para motores.

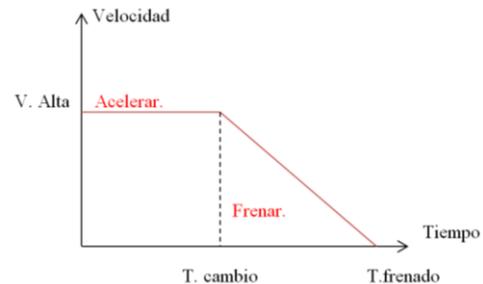


Fig. 2. Control Rampa para velocidad en motores.

Para poder realizar un control de tipo rampa para velocidad de motores se necesita de fuentes variables que soporten altas cantidades de corrientes para la operación de los motores, o a su vez de salidas rápidas que permitan generar señales PWM para variar velocidad. Al no contar con las opciones descritas anteriormente se diseñó una rutina que permite realizar una simulación de una señal rampa para control de velocidad de los motores mediante dos velocidades baja y alta, quedando así simulado el control de velocidad por rampa mostrado en la figura 3.

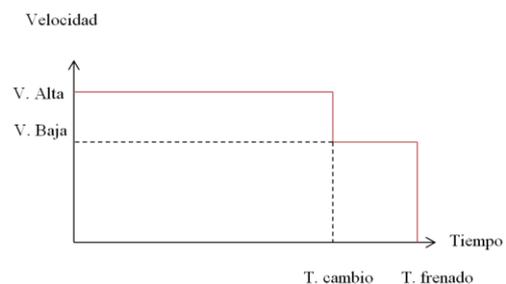


Fig. 3. Control rampa simulado para velocidad de motores.

Con las velocidades obtenidas de los experimentos se definió la rutina que permite la simulación de la señal rampa, en donde se procedió a generar una distancia a la cual se va a producir el cambio de la velocidad alta por la velocidad baja.

Entonces si los desplazamientos de los ejes XY del manipulador robótico cartesiano son menores a la distancia a

cual se va a realizar el cambio de velocidad, la velocidad de movimiento será la velocidad alta, mientras que cuando se sobrepase el desplazamiento de cambio de velocidad, esta disminuirá la velocidad hasta cumplirse con el desplazamiento total hacia la posición definida donde finalmente se detendrán los motores.

3. Control individual mediante activaciones de cada uno de los actuadores de la estación.

- Debido a que la estación de entrenamiento robótica cartesiana posee varios actuadores para realizar desplazamientos en los ejes XYZ, cambios de velocidad y trabajos con la herramienta final, es necesario diseñar una lógica que permita controlarlos de manera individual basándose en los controles proporcionados por las rutinas de control de posición, control de velocidad descritas con anterioridad por tanto los actuadores se activarán de la siguiente manera:
- El actuador que permite el movimiento en el eje X se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia atrás o hacia adelante estén activas.
- El actuador que permite el movimiento en el eje Y se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia izquierda o hacia derecha estén activas.
- El actuador que permite el movimiento en el eje Z se activará siempre y cuando las bobinas de activación de los movimientos hacia arriba o hacia abajo se encuentren activas.
- Las bobinas de activación de velocidad alta se activarán siempre y cuando el manipulador robótico cartesiano se encuentre con la tarea de regresar a la posición Home activa, o a su vez que se hayan activado las bobinas de cambio de velocidad a velocidad alta desde la rutina de control de velocidad por rampa.
- Las bobinas de activación de velocidad baja se activarán siempre y cuando se encuentren activas las bobinas de cambio de velocidad alta a velocidad baja de la rutina de control de velocidad por rampa.
- La herramienta terminal se controlará mediante un activador manual, o a su vez si se encuentra activada la bobina en una rutina de proceso industrial demostrativa.

4. Generación de estados de emergencia tanto físicos como activaciones en software.

Los estados de emergencia son de importancia en una estación de entrenamiento ya que evitan que puedan suceder accidentes por parte del manipulador robótico cartesiano, es por esto que existe una rutina de generación de estados de emergencia la cual cumple las siguientes funciones:

- Detener a todos los actuadores de la estación que se encuentren en movimiento inhabilitando su activación manual o por rutinas de control, habilitando de nuevo su funcionamiento o su tarea pendiente mediante la salida del estado de emergencia.
- Activar señales luminosas que permitan la visualización de entrada o salida de un estado de emergencia de la estación. Señales luminosas que se encuentran tanto en la interfaz HMI como en el panel físico de control.

IV. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas de la estación de entrenamiento robótica industrial se basaron en normas internacionales ISO 9283:1988 que establece de manera precisa el modo en el que se deben medir las características importantes en cuanto a movimiento y posicionamiento de un manipulador robótico industrial se refiere. Esta norma define 4 grupos de características importantes los cuales son los siguientes:

- Características de posición.
- Características de trayectoria.
- Características de velocidad.
- Otras características.

Las características que se determinaron para obtener de la experimentación son la precisión y repetibilidad de posición que se encuentran en el grupo de características de posición.

Aplicando la norma ISO 9283:1998 definida para determinar parámetros para robots industriales, se llegaron a obtener los siguientes resultados:

Para el parámetro de precisión de posición general del sistema se llegó a alcanzar una precisión del 1,69 milímetros por desplazamiento, En donde por motivos de cinemática propia del manipulador robótico cartesiano el eje X tiene una precisión que va hasta ± 1 mm por desplazamiento. Mientras que el eje Y posee una precisión que va hasta ± 4 mm por desplazamiento.

En cuanto a la repetibilidad general del sistema se obtuvo una repetibilidad del 3,85mm en todo el sistema de entrenamiento robótico cartesiano, en general. Cabe recalcar que todos los parámetros previos a la obtención de la repetibilidad del sistema se obtuvieron del primer experimento realizado para la determinación de la precisión de posición del sistema.

Los resultados experimentales de parámetros para el robot cartesiano, fueron tomados en condiciones de carga cero, tomándose en cuenta solo el peso de la herramienta final en el eje Z. Adicionalmente los resultados presentados previamente están sujetos a variaciones debido a errores de medición o cálculos por parte del operador, por tanto a los valores finalmente obtenidos se le adicionará una incertidumbre de 1mm quedando de la siguiente manera las mediciones finales:

- **Precisión de posición:** $1,69 \pm 1$ mm.
- **Repetibilidad de posición:** $3,85 \pm 1$ mm.

V. CONCLUSIONES.

Los criterios de seguridad aplicados en el diseño de la estación robótica cartesiana son los implementados en máquinas de tipo industrial como dispositivos manuales de desactivación de la máquina (paradas de emergencia, pulsadores de encendido y apagado). Adicionalmente se implementaron seguridades a nivel de circuitos eléctricos para evitar daños en elementos de sensamiento, actuadores y elementos de mando.

El diseño mecánico fue basado en criterios de estabilidad como: juegos mecánicos (ruido mecánico), flexibilidad para montaje y desmontaje de la estación de entrenamiento, firmeza. En cuanto a materiales, se emplearon materiales de bajo costo, alta durabilidad como el acero obteniendo una estación firme y resistente al uso continuo. Finalmente en cuanto a normas industriales se emplearon colores que permitan identificar partes móviles y estáticas.

El software de la estación fue diseñado para que el operador de la estación pueda visualizar desplazamientos del manipulador robótico cartesiano al ejecutar tareas impuestas, además de que pueda manipular los parámetros de seteo del sistema y finalmente pueda relacionarse con cinco prácticas completamente interactivas todo esto con guías incluidas dentro del sistema.

La precisión y repetibilidad de posición de los ejes X y Y, se vio afectada por fenómenos como la inercia de los motores, ya que el control correcto para un motor es un control tipo rampa, similar al control que realizaría un variador de velocidad, de esta manera, se va desenergizando progresivamente el motor, por lo tanto, la inercia del motor disminuiría en la misma proporción, con lo que se conseguiría un frenado más exacto.

Una causa adicional, que implicó en la obtención del error de posicionamiento y repetibilidad fue el tiempo de transmisión de datos a través de la red, debido a que el procesamiento de datos entregados por parte de módulo ZAE 201, se lo realizó en la interfaz HMI, debido a la limitación de líneas de programación en el controlador lógico programable. Al transmitir los datos de PC a PLC existen retardos de tiempo que hacen que los datos lleguen tarde, por tanto el procesamiento no se realizará en tiempo real.

Para contrarrestar parcialmente los efectos de inercia que se producen tanto en los ejes XY, se generó un control con offset, que disminuye la distancia de desplazamiento de un punto a otro, logrando así, disminuir el error de manera significativa.

VI. TRABAJOS FUTUROS

Un control de tipo clásico, como un control PID aplicado a la velocidad de desplazamiento de los ejes, permitirían generar posiciones con menor error, y además el poder generar distintos tipos de trayectorias entre puntos, aplicando un control por diferencial de velocidad.

Para obtener un control óptimo de la estación robótica cartesiana, se podría implementar controladores de gama alta que tengan altas velocidades de: procesamiento y envío/recepción de datos por parte de la estación, además de módulos de control especializados para velocidad.

Para aplicaciones industriales más complejas, como el maquinado de piezas en 3D, se puede implementar un tercer control de desplazamiento en el eje Z, adicionando un contador de alta velocidad como el módulo ZAE 201.

Atendiendo a las necesidades industriales de integración entre diferentes estaciones para realizar procesos industriales más complejos, se podría reemplazar el controlador actual, el cual posee una comunicación punto a punto, por uno que permita una comunicación multipunto.

La herramienta terminal o el gripper, pueden ser removidos y con la posibilidad de adaptar uno diferente. La estructura es de gran resistencia, por ende puede colocarse como herramienta terminal un punto de suelda eléctrica, también puede colocarse una cortadora de metal en base a plasma o cualquier otro método de los existentes.

REFERENCIAS

- [1] AEG SCHNEIDER AUTOMATION, I. (1995). 984-A120 COMPACT PROGRAMMABLE CONTROLLERS USER GUIDE. North Andover, Massachusetts: AEG SCHNEIDER.
- [2] Alicante, U. d. (13 de octubre de 2014). Normativa sobre robots industriales. Obtenido de www.mayr.ua.es/docs_mayr10/rob/Normativa%20sobre%20
- [3] AUTOMATION, A. S. (2006). MODICON LADDER LOGIC BLOCK LIBRARY USER GUIDE VOLUME 1. North Andover, Massachusetts: AEG SCHNEIDER.
- [4] Classic Automation. (2012). Obtenido de www.classicautomation.com
- [5] CORPORATION, W. (2001). WONDERWARE MODICONMODBUS I/O SERVER USER'S GUIDE. Irvine: Wonderware.
- [6] Electric, S. (2008). Robot Cartesiano Xy. Guía Aplicativa, 19-20.
- [7] González, V. (30 de 01 de 2014). INTEF. Obtenido de http://platea.pntic.mec.es/vgonzale/cyr_0204/ctrl_rob/robotica/sistema/morfologia.htm
- [8] Informáticos, D. d. (30 de 01 de 2014). UCLM. Obtenido de http://www.info-ab.uclm.es/labelec/solar/electronica/morfologia/estructura_mecanica.htm
- [9] Jabonero Cámara, J. (2010). Modelado y Análisis de un Brazo Mecánico. Leganes: Universidad Carlos III de Madrid.
- [10] Olivares Zaragoza, G., & Rodríguez Lara, F. (2008). Robot Cartesiano XYZ. México DF: Instituto Politécnico Nacional