

# Diseño y construcción de un robot cartesiano para la clasificación de documentos

Andrés Cuaycal, Luis Tituaña, Nelson Sotomayor, Escuela Politécnica Nacional (EPN),  
Quito - Ecuador

**Resumen** – El presente trabajo muestra las diferentes etapas en el diseño y construcción de un prototipo de robot cartesiano para la clasificación de documentos de un máximo de 5 hojas en función de un código de barras en una matriz de casilleros de 4x5. Se expone un breve análisis de la composición y estructura de varios sistemas comerciales e industriales con características cartesianas. Además, se realiza una descripción de la selección y acondicionamiento de los diferentes sensores y actuadores del prototipo. También, se presenta la lógica del sistema de control que está gobernado por un microcontrolador ATmega164P.

**Índices**–Robot cartesiano, código de barras, microcontrolador ATmega164P, HMI.

## I. INTRODUCCIÓN

El desarrollo tecnológico ha permitido la optimización de procesos, en los cuales los recursos humanos, materiales y el tiempo, se utilizan de manera más eficiente. Esto ha desembocado en la constante búsqueda de nuevos sistemas automáticos orientados a la realización de actividades repetitivas, en donde el empleo de personal implica un desperdicio de recursos intelectuales que pueden ser utilizados en áreas donde las máquinas aún no han sido capaces de reemplazar a las personas. Tal búsqueda de sistemas automáticos va desde el desarrollo de herramientas computacionales hasta la construcción de sistemas mecánicos autónomos o robots.

Un robot es un dispositivo mecánico con capacidades motoras construido para cumplir una serie de actividades o tareas. Tales tareas son asignadas por un programador o aprendidas por el propio robot [1]. Los robots son utilizados ampliamente en aplicaciones industriales en las cuales se necesita cumplir con actividades repetitivas con un alto nivel de precisión [2].

El presente trabajo busca solucionar una parte del problema del desperdicio de recursos intelectuales en actividades repetitivas mediante el diseño y construcción de un prototipo de robot cartesiano para la clasificación de documentos en función de un código de barras. Este prototipo realiza la clasificación discriminando la información del código de barras de cada documento, para luego almacenarlo en una locación específica en una matriz de casilleros.

## II. SISTEMAS CARTESIANOS SIMILARES

### A. Puentes Grúa

Su movimiento en los ejes X y Y se realiza mediante motores eléctricos independientes acoplados a las ruedas de los ejes. El movimiento en el eje Z se realiza mediante un polipasto al cual está acoplado un gancho o polipasto [4]. Un ejemplo de este sistema se muestra en la Fig. 1.

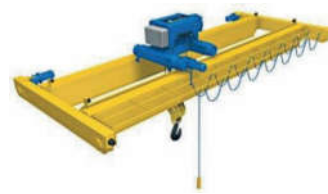


Fig. 1. Puente grúa [6].

### B. Dispensadores de bebidas o snacks

El movimiento de la estructura de estas máquinas es en un plano vertical. Al igual que las máquinas de peluches que poseen una garra, estas máquinas utilizan cremalleras y bandas sincrónicas para su movimiento [5]. Un ejemplo de este sistema se muestra en la Fig. 2.



Fig. 2. Dispensadores de bebidas

### C. Máquinas CNC

Las máquinas CNC, para su movimiento en los ejes X y Y típicamente utilizan husillos con roscas especiales. En la Fig. 3 se muestra un ejemplo de este sistema en donde el movimiento se produce cuando el husillo o tornillo sin fin empieza a girar. La rosca se va desplazando longitudinalmente a lo largo del tornillo, y la estructura se va deslizando longitudinalmente a lo largo de ejes cilíndricos por medio de rodamientos lineales [3].

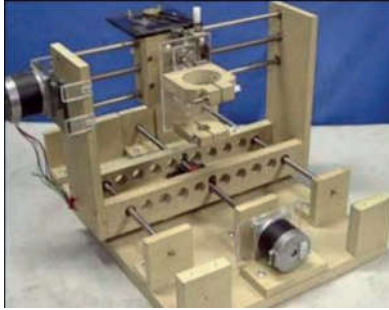


Fig. 3. Máquina CNC [7].

Para la transmisión del movimiento, además de los husillos, se utilizan bandas sincrónicas acopladas a poleas especiales para este tipo de bandas.

### III. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DEL ROBOT CARTESIANO

#### A. Diseño Mecánico

La matriz de casilleros está hecha de madera y posee 4 filas y 5 columnas. Las dimensiones del casillero están de acuerdo a las dimensiones de los documentos que se van a clasificar, que en este caso son hojas de papel de tamaño A4: 210x297mm. La Fig. 4 muestra un esquema de la matriz de casilleros.

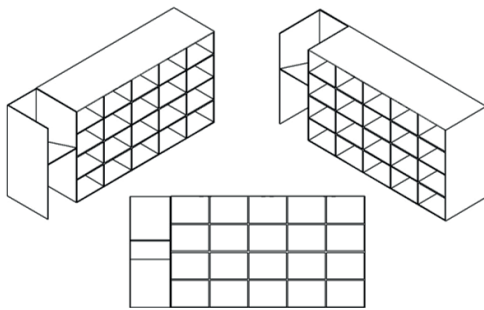


Fig. 4. Matriz de casilleros y bandeja de recepción en un costado.

El marco del robot está hecho de aluminio, y la parte móvil se asienta sobre rieles en forma de L. Un esquema de estas partes se muestra en la Fig. 5. Esta configuración permite que el riel soporte el peso más fácilmente con una deformación mínima en la zona media de su longitud. Las ruedas del robot están formadas por rodamientos lineales acoplados a una porción de riel en L.

Para una mayor estabilidad el carrito superior se asienta sobre dos rieles mientras que el inferior sólo en una. Un esquema de los carritos se muestra en la Fig. 6.

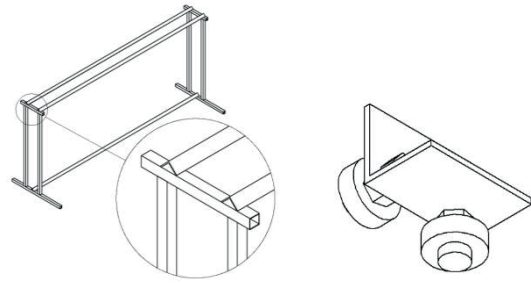


Fig. 5. Marco, rieles y sistema de ruedas del robot.

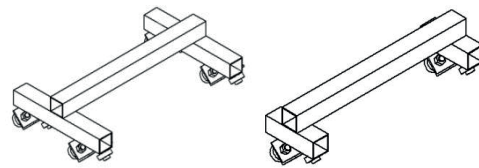


Fig. 6. Carritos superior e inferior del robot.

El sistema de movimiento en el eje Y está compuesto por un carrito el cual está acoplado la bandeja de entrega de documentos. El carrito posee el mismo sistema de ruedas de los carritos anteriores y es movido por una banda sujeta a dos motores de pasos. La bandeja de entrega de documentos posee un sistema mecánico para que durante su movimiento de salida ésta se eleve haciendo que el documento caiga por su propio peso. El esquema del sistema de movimiento en el eje Y se muestra en la Fig. 7.

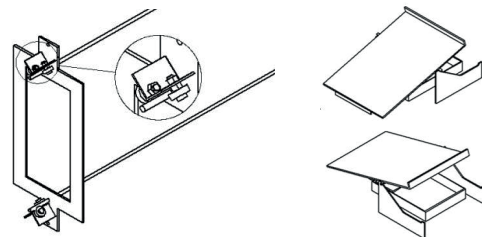


Fig. 7. Carrito en Y, bandeja de entrega de documentos.

Para facilitar la caída de los documentos se colocó un ventilador en el centro de la bandeja de entrega para crear un colchón de aire sobre el cual el documento pueda descansar como se observa en la Fig. 8. De esta forma se minimiza la fricción y el documento, se desliza suavemente hacia los casilleros.

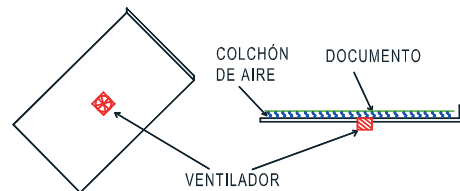


Fig. 8. Colchón de aire producido por el ventilador.

Para asegurar que las hojas salgan desde la bandeja de recepción de documentos hacia la bandeja de entrega se colocó un ventilador que ayuda a empujar las hojas. Este sistema se observa en la Fig. 9. De esta forma los documentos no se doblan en la brecha entre ambas bandejas.

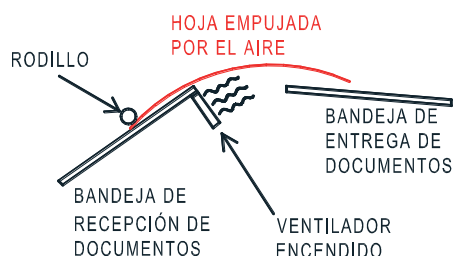


Fig. 9. Efecto producido por el ventilador en la bandeja de recepción.

La Fig. 10 muestra el sistema para la detección del paso de hojas. La detección se realiza mediante un par emisor-receptor infrarrojo en el borde superior de la bandeja de recepción; cuando las hojas empiezan a moverse cortan el haz de luz, lo que es detectado por el microcontrolador.

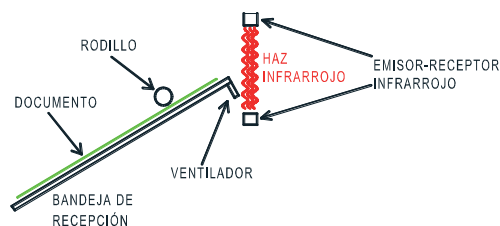


Fig. 10. Sistema de detección de paso de hoja.

Para determinar la existencia de hojas en la bandeja de recepción se utilizó un sensor infrarrojo en su base. Cuando existen hojas el sensor se encuentra activado. La ubicación del sensor en la bandeja se muestra en la Fig. 11.

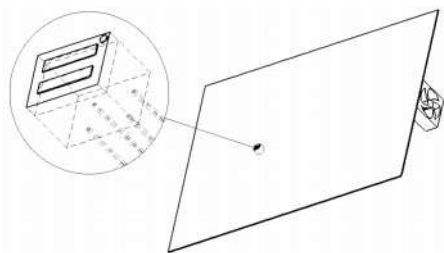


Fig. 11. Sistema de detección de existencia de documentos.

La Fig. 12 muestra un esquema completo del prototipo incluyendo la matriz de casilleros y el robot cartesiano.

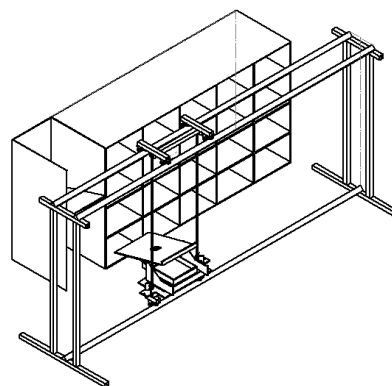


Fig. 12. Esquema completo del prototipo.

La Fig. 13 muestra el prototipo implementado. El marco del robot tiene una dimensión de 300 cm de largo y 90 cm de alto.

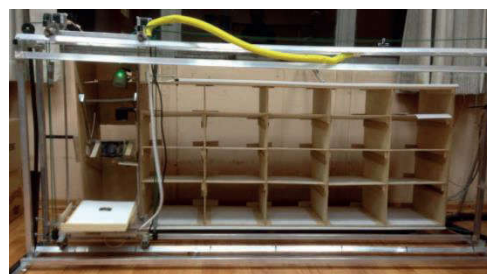


Fig. 13. Prototipo Implementado.

### B. Diseño Electrónico

El sistema electrónico se compone del sistema de control y de potencia para manejar los motores DC y de pasos utilizados, así como del acondicionamiento de los distintos sensores utilizados y el lector de barras. En la Fig. 14 se muestra la arquitectura del robot cartesiano.

#### 1) Sistema de control:

El sistema es controlado por un microcontrolador ATmega164P, el cual contiene toda la lógica de control para el funcionamiento del robot cartesiano. Este microcontrolador fue seleccionado principalmente por que posee dos periféricos USART de comunicación serial, los cuales son utilizados para comunicarse con el PC y con el lector de código de barras.

#### 2) Sensores para posicionamiento:

Para poder posicionarse en el casillero respectivo el robot utiliza sensores infrarrojos QRE1114, el acondicionamiento de estos sensores está basado en el comparador de voltaje LM339. Para ello los sensores fueron inicialmente probados y calibrados.

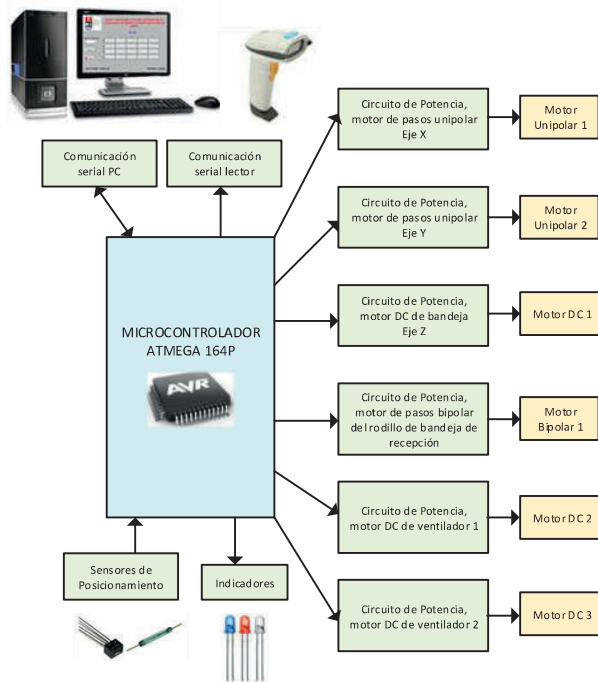


Fig. 14. Arquitectura del sistema electrónico del robot cartesiano.

### 3) Lector de código de barras

Para discriminar los códigos de barras se utiliza el lector Alacrity MJ4209 que es un lector de barras comercial con aplicaciones industriales, tiene una alimentación eléctrica de 5V y soporta los siguientes protocolos de comunicación: RS232, TTL, KBW. En la Fig. 15 se muestra el lector utilizado.



Fig. 15. Lector de código de barras Alacrity MJ4209[8].

El tipo de código de barras utilizado tiene la codificación 128 como el que se muestra en la que permite la representación de sistemas alfanuméricos como el código ASCII.



Fig. 16. Ejemplo de código de barras utilizado.

### 4) Etapa de potencia y control de motores de pasos y motores DC:

Para cumplir su objetivo el robot cartesiano utiliza varios tipos de motores como son: motores de pasos unipolares, motores de pasos bipolares, y motores DC.

Para el circuito de potencia de los motores de pasos unipolares se utiliza los MOSFET IRFZ44N, los cuales son encargados de manejar las bobinas de los motores de pasos NEMA17.

Para el circuito de potencia del motor de pasos bipolar y de los motores DC se utiliza un driver L293D respectivamente. El driver dispone de dos puentes H, necesarios para manejar las bobinas de cada motor.

Todas las etapas de potencia se encuentran aisladas a través de opto acopladores PC817.

## IV. LÓGICA Y SISTEMAS DE CONTROL

### A. Algoritmo de control

El programa principal consta de varias subrutinas que ejecutadas correctamente permiten la clasificación y posicionamiento de los documentos en los respectivos casilleros, estas son:

- Posicionamiento inicial del robot cartesiano.
- Posicionamiento de la bandeja para la recolección del documento.
- Lectura del código de barras.
- Identificación del código de barras.
- Sacar documento de la bandeja.
- Bajar la bandeja a la posición inicial.
- Ubicar robot en el casillero correspondiente.
- Depositar la Hoja en el casillero.

En la Fig. 17 se muestra el diagrama de flujo del programa principal del robot cartesiano.

### B. Programa de la interfaz Humano-Maquina

La interfaz que se muestra en la Fig. 18 fue desarrollada en LabView y se comunica con el microcontrolador a través del puerto serial y permite realizar las siguientes acciones:

- Acceder a la pestaña base de datos, que contiene una descripción de cada casillero.
- Modificar el código de barras correspondiente a cada casillero.
- Alertar al usuario de posibles errores en los sensores de posicionamiento de los ejes X e Y del robot, y en la comunicación entre el robot y el PC.

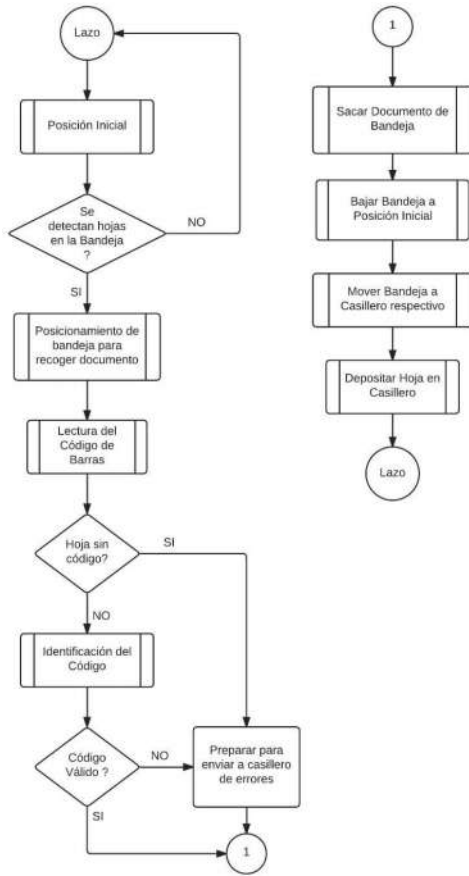


Fig. 17. Diagrama de flujo del programa principal del robot.

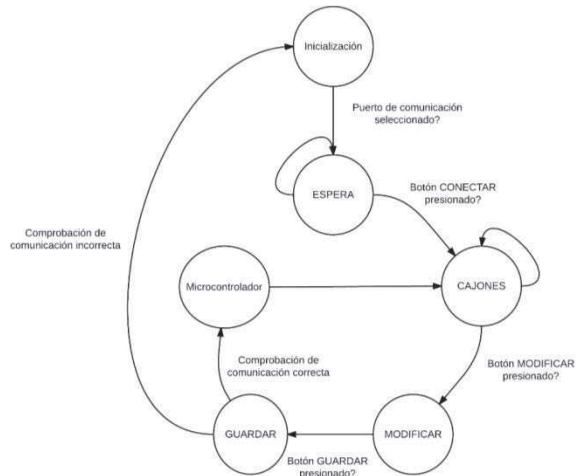


Fig. 19. Diagrama de transición de estados del programa de LabView.

El lazo principal del programa del HMI se ejecuta cada 50 milisegundos. Antes de ejecutar el código principal se ejecuta la comprobación del puerto y la comprobación de comunicación con el microcontrolador.

### V. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas globales del prototipo se realizaron en base al sistema final implementado como el que se muestra en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**, estas pruebas tienen como objetivo comprobar el correcto funcionamiento del robot y realizar la medición del tiempo promedio que el robot se demora en entregar las hojas.

La Fig. 200 muestra un ejemplo de la secuencia de entrega de un documento al casillero #15 que se encuentra en la tercera fila de la quinta columna.

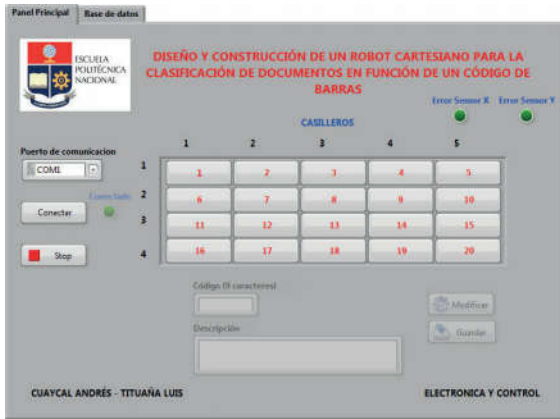


Fig. 18. Panel principal del HMI.

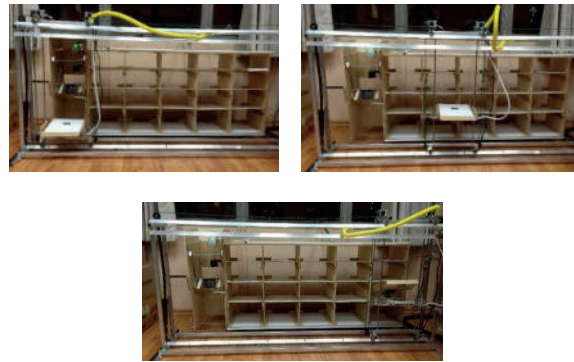


Fig. 20. Ejemplo de secuencia de entrega de un documento.

La estructura de programación utilizada es una máquina de estados, es decir, un estado se ejecuta hasta que cierta condición sea cumplida, y entonces se procede a ir al siguiente estado. El diagrama de transición de estados se muestra en la Fig. 19.

La prueba anteriormente mostrada se realizó para todos los casilleros obteniéndose resultados satisfactorios en cada caso. Además, se determinó el tiempo de entrega a cada casillero obteniéndose la Ecuación (1) para el tiempo de entrega.

$$t_{entrega} = 4C + 1.5(5 - F) \quad (1)$$

Donde:

- C: número de columna del casillero  
F: número de fila del casillero

## VI. CONCLUSIONES

El área de trabajo del robot es la primera consideración de diseño del robot cartesiano. La investigación de los distintos métodos para la construcción de un robot cartesiano tuvo como principal directiva la implementación de un sistema barato con un área de trabajo amplia. El área de trabajo cubre la totalidad de los casilleros incluida la bandeja de recolección de documentos.

El sistema de rieles implementado permite un movimiento suave y estable de toda la estructura. Los rieles conjuntamente con las ruedas crean puntos de contacto pequeños por lo que la fricción entre ellos es mínima. De esta forma, la carga total de los motores es reducida lo que permitió el uso de motores relativamente pequeños (NEMA17 con un torque de 3.2 Kg/cm).

El control del robot está basado en un sistema de lazo cerrado que permite la corrección oportuna y continua del comportamiento del prototipo. El lazo de realimentación está compuesto por las señales enviadas por los distintos sensores ubicados en la estructura, como el lector de barras que representa un bloque de realimentación negativa pues determina si algún documento tiene o no código.

Los sensores infrarrojos utilizados necesitan estar aislados de la luz infrarroja proveniente de fuentes externas como el sol. Esta radiación natural es captada por los sensores produciendo un comportamiento no deseado en su respuesta. Las fuentes de luz artificiales como las lámparas halógenas o fluorescentes afectan también el comportamiento de los sensores infrarrojos.

## VII. REFERENCIAS

- [1] W. Bolton, *"Mecatrónica, sistemas de control electrónico en la ingeniería mecánica y eléctrica"*, Quinta edición ed., Alfaomega, 2013.
- [2] M. P. Groover, *"Robótica Industrial, Tecnología, Programación"*, Primera edición ed., McGraw Hill, 1990.
- [3] J. L. López Segovia, *"Robot Cartesiano: Seguimiento de trayectorias irregulares arbitrarias mediante computadora"*, Noviembre 2007. [Online]. Available: <http://www.uaeh.edu.mx/docencia/Tesis/icbi/licenciatura/documentos/Robot%20cartesiano%20seguimiento%20de%20trayectorias.pdf>.
- [4] I. N. d. S. e. H. e. e. Trabajo, «Grúas Tipo Puente (I): Generalidades.» 2000. [En línea]. Available: [http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp\\_736.pdf](http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Documentacion/FichasTecnicas/NTP/Ficheros/701a750/ntp_736.pdf). [Último acceso: 29 Junio 2017].
- [5] M. N. T. T. Tatsuya Koboyashi, «Multi-purpose Food Vending Machines.» *Fuji Electric Review*, vol. 49, n° 1.
- [6] Shaanxi Tengfei Crane Co., L. (s.f.). AFtrade. Recuperado el 2017, de <http://www.afrade.com>
- [7] Gonzalez, O. (2017). BricoGeek. Obtenido de <http://blog.bricogeek.com/noticias/diy/router-cnc-casero-para-fresado-de-placas-pcb/>
- [8] Shenzhen alacrity barcode technology Co., L. (2017). symcode. Obtenido de <http://www.symcode.net/support/2013-10/05092551765176.pdf>

## VIII. BIOGRAFÍAS



**Andrés Cuaycal**, nació en Quito-Ecuador el 8 de Agosto de 1990. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Tecnológico Superior "Sucre". Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 2015. Trabajó como Ayudante de Laboratorio de Sistemas Microprocesados y Circuitos Eléctricos en la Escuela Politécnica Nacional.

Ha desarrollado varias aplicaciones en sistemas de control destacando el control escalar de motor trifásico, el control de un brazo robótico con 6 grados de libertad utilizando cinemática inversa y la simulación y control de un hexacóptero. Actualmente es docente de la Escuela Politécnica Nacional. Áreas de interés: Robótica móvil, sistemas embebidos, sistemas de control, automatización industrial. (andres.cuaycal@epn.edu.ec)



**Luis Tituaña**, nació en Loja-Ecuador el 29 de Junio de 1990. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Superior Tecnológico "Daniel Álvarez Burneo" de la misma ciudad. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 2015. Ha participado en concursos nacionales e internacionales de robótica incluyendo el CER 2011, Robot Games Zero Latitud I y II, en este último obtuvo el segundo lugar en la categoría "Laberinto". Trabajó como ayudante del Laboratorio de Física de la Escuela Politécnica Nacional. Trabajó como asistente técnico del Observatorio Astronómico de Quito, en esta institución fue el co-diseñador del sistema de tiempo atómico que entrega la hora oficial de la EPN. Actualmente es docente de la Escuela Politécnica Nacional.

Áreas de interés: robótica, microcontroladores, algoritmos de control, automatización de sistemas. (luis.tituaña@epn.edu.ec)



**Nelson Sotomayor**, nació en Quito-Ecuador el 9 de Septiembre de 1971. Realizó sus estudios secundarios en el Instituto Nacional Mejía. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Obtuvo su título de Magíster en Ingeniería industrial en junio del 2006 en la Escuela Politécnica Nacional. En septiembre del 2008 como becario del Gobierno de México y la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA), participó en el IV Curso Internacional de Robótica Aplicada, en el Centro Nacional de Actualización Docente CNAD ubicado en México DF. Actualmente desempeña el cargo de Profesor Principal T/C en el Departamento de Automatización y Control Industrial de la Escuela Politécnica Nacional. Actualmente se desempeña como Jefe del departamento de Automatización y Control Industrial.

Áreas de interés: robótica móvil, informática y redes, microcontroladores, automatización y control industrial. (nelson.sotomayor@epn.edu.ec)