

Automatización de la Máquina de ensayos de Energía de Penetración en neumáticos Tipo 2 y 3 de la Metalmecánica San Bartolo de la EPN

Iván Yerovi, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador
Vanessa Benavides-MSc., Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador
Dr. Marcelo Pozo, Escuela Politécnica Nacional, Quito-Ecuador

Resumen – El diseño e implementación de la automatización de la máquina para ensayos de energía de penetración del Laboratorio de Llantas de la Metalmecánica San Bartolo de la EPN ha sido realizado de acuerdo al procedimiento de ejecución del ensayo que consta en las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE) de neumáticos, avaladas por el INEN (Instituto Ecuatoriano de Normalización). Dicho sistema consta de un Controlador Lógico Programable (PLC) y un panel de operación que servirán para la parametrización y ejecución del ensayo, así como para el almacenamiento y monitoreo de los datos y resultados. Adicionalmente se ha programado y configurado una interfaz computacional que permite generar un informe automáticamente.

Índices – Automatización, Ensayo, Penetración, Normativa, Informe.

I. INTRODUCCIÓN

El área del Laboratorio de Llantas de la Metalmecánica San Bartolo de la Escuela Politécnica Nacional (MSB-EPN, por sus siglas) se inauguró el 26 de marzo del 2014 a través del programa Programa Reúsa Llanta [1]. Dicho laboratorio posee la maquinaria necesaria para cumplir con todos los métodos de ensayo para neumáticos de acuerdo las Normas Técnicas Ecuatorianas (NTE-INEN), destinados a probar los factores de calidad constructiva de un modelo de neumático perteneciente a una casa comercial.

II. NORMATIVAS DE ENSAYO

El ensayo consiste en aplicar una fuerza penetrante en la banda de rodamiento del neumático, mediante un cilindro macizo con extremo semiesférico, para determinar la energía de rotura de la carcasa del neumático, con el objetivo de medir su resistencia y verificar el cumplimiento de los requisitos establecidos en las NTE-INEN implicadas.



Figura 1: Prensa de ensayos de penetración de la MSB.

A. Normas técnicas involucradas

La máquina en cuestión permite realizar el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia a la penetración de acuerdo con la NTE-INEN 2097 [2], que rige los ensayos en neumáticos tipo 2 y tipo 3. Por otro lado, los requerimientos que deben satisfacer las muestras al finalizar el ensayo están estipulados en la NTE-INEN 2099 [3].

B. Condiciones para el ensayo

El laboratorio especializado debe poseer una máquina que haga descender al cilindro penetrador a una velocidad constante de 50 mm/min con una tolerancia de ± 1.5 mm/min.

Se debe montar el neumático en un aro de prueba de acuerdo con su tamaño basándose en el Libro del Año de la Asociación de Rims y Llantas (TRA, en inglés [4]), la INEN 2101 [5] o documentos similares como en la Figura 2.



Figura 2: Diagrama de flujo de la preparación del ensayo.

C. Procedimiento de ensayo

La máquina debe introducir el penetrador perpendicularmente en la banda de rodamiento tan cerca de la línea central como sea posible. Previo a la penetración se debe posicionar el cilindro de tal manera que no se encuentre sobre una ranura del labrado.

Se debe hacer que el cilindro ingrese en el neumático hasta alcanzar el valor mínimo de energía especificado en la NTE-INEN 2099 [3] (Figura 3). Si el neumático se rompe antes que el penetrador sea detenido por el aro se debe registrar la fuerza y distancia de penetración de ruptura.

Para el cálculo de la energía de penetración en cada instante durante el ingreso del cilindro se utiliza la siguiente fórmula:

$$W = (F * P) / 2 \tag{1}$$

Donde W es la energía de penetración en Joules, F es la Fuerza de penetración en Newtons y P es la distancia de penetración en metros.

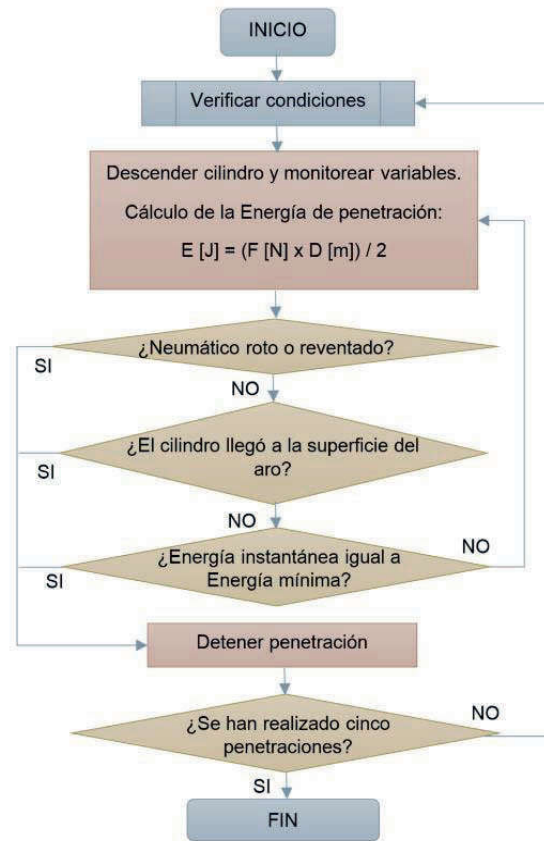


Figura 3: Diagrama de flujo de la ejecución del ensayo.

III. SISTEMA HIDRÁULICO

Consiste en un cilindro de doble efecto como elemento final de control, a cuyo final de émbolo se ancla el penetrador semiesférico. El sistema es controlado por válvulas de instalación modular e impulsado por una bomba hidráulica como en la Fig. 4.

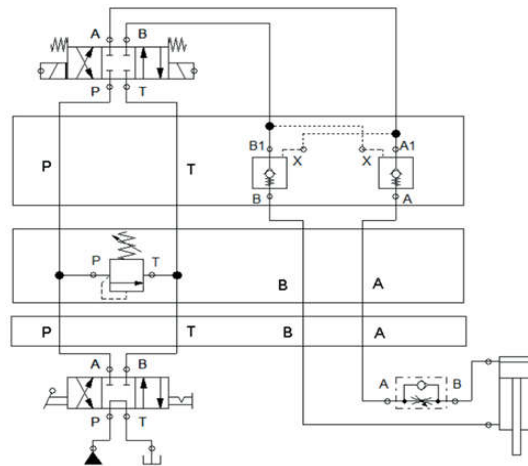


Figura 4: Circuito hidráulico.

La velocidad de descenso debe ser calibrada manualmente con una válvula reguladora de flujo de perilla.

IV. ELECCIÓN E INSTALACIÓN DEL HARDWARE

En la Figura 5 se puede observar el esquema general de conexiones del nuevo sistema eléctrico-electrónico implementado en la maquinaria de ensayos de energía de penetración del Laboratorio de Llantas de la MSB-EPN.

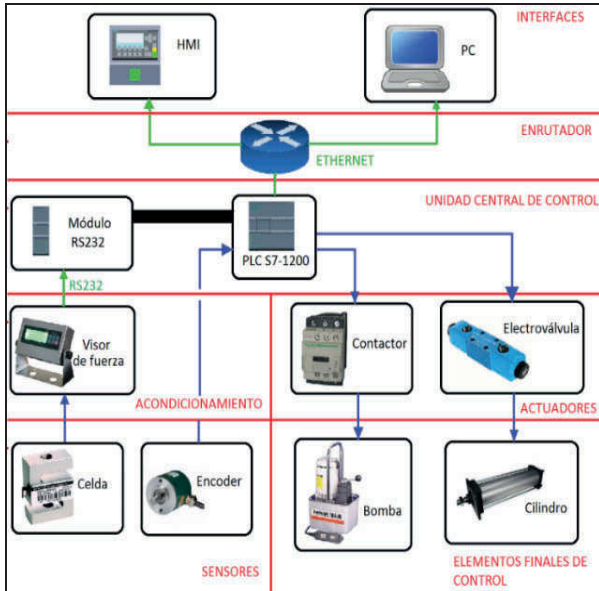


Figura 5: Esquema general del hardware.

A. Sensores

El sistema incorpora un encoder rotacional óptico de 1000 pulsos para medir la distancia que desciende el cilindro. Además, se dispone de una celda de carga con 20000 libras de capacidad para medir la fuerza con la que el cilindro hidráulico presiona la banda de rodamiento del neumático. Se ha instalado un sensor final de carrera tipo rodillo de ajuste fino para fijar el tope superior de desplazamiento. También se incluyó un sensor resistivo de temperatura Pt100 para verificar que el valor de dicha variable se encuentre dentro del rango de $25 \pm 5^\circ\text{C}$ normado para el procedimiento de ensayo.

B. PLC seleccionado y Diagrama de entradas y salidas

Se ha decidido trabajar con el PLC de marca Siemens S7-1200 CPU1214C ya que permite satisfacer las necesidades de los usuarios y presenta robustez ante ambientes industriales. El diagrama de entradas y salidas se basa en los requerimientos de control que incluyen el accionamiento de la bomba y la conexión de sensores (Figura 6). Aquí se muestran todos los sensores y actuadores utilizados en el sistema y que son controlados por el PLC.

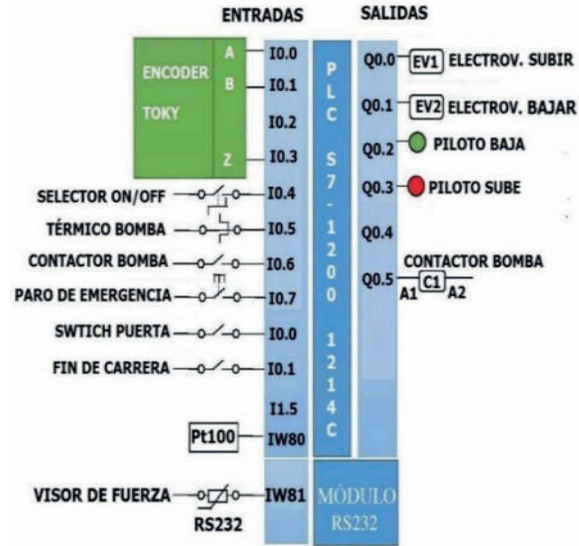


Figura 6: Diagrama de entradas y salidas del PLC.

C. Circuito de maniobra de salidas digitales

A continuación, se presenta el circuito de maniobra para las salidas digitales del PLC (Figura 7). Donde se puede observar las salidas: EV1 que es la bobina de la electroválvula para subir el cilindro, EV2 es la bobina para descender y C1 es la bobina de accionamiento del motor de la bomba hidráulica.

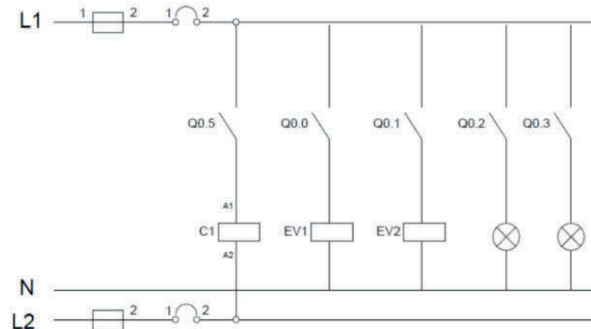


Figura 7: Circuito de maniobra.

D. Panel HMI KP300

El panel HMI (Figura 8) permite parametrizar y monitorear las variables y procedimiento del ensayo.



Figura 8: Tablero HMI con elementos de maniobra.

E. Red local Ethernet

Se ha configurado una red de área local para comunicar los dispositivos de control, que a su vez se conecta a la red de área amplia de la MSB (Figura 9) para descargar los datos almacenados en el PLC mediante un computador conectado a Internet, para así generar un informe.

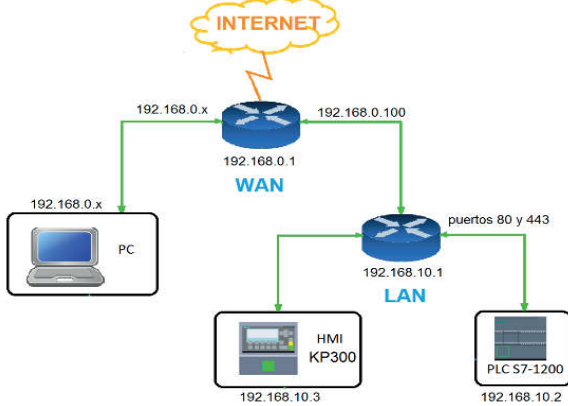


Figura 9: Diagrama de la red Ethernet con direcciones IP.

V. SOFTWARE

A continuación, se presenta el desarrollo e implementación del software de automatización y generación de informes.

A. Algoritmos del procedimiento de ensayo

Se presenta el procedimiento de ingreso de datos que se debe realizar mediante el panel HMI (Figura 10).

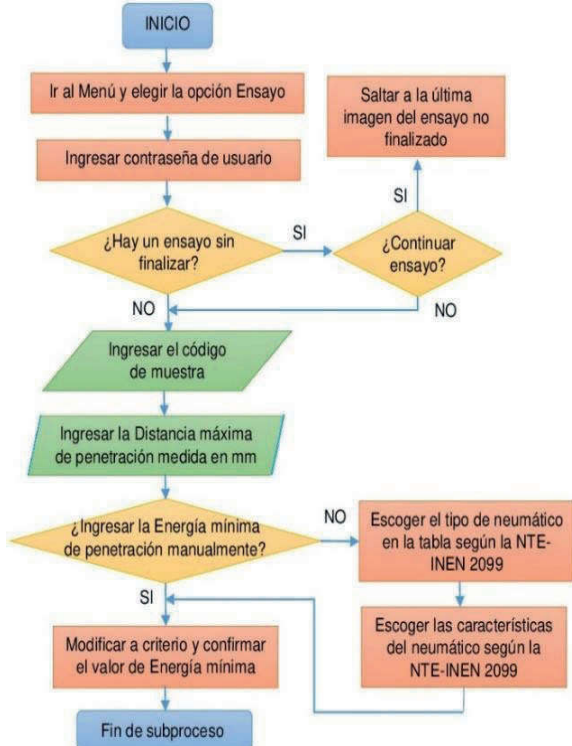


Figura 10: Diagrama de flujo de la parametrización del ensayo.

Posteriormente el sistema procede a posicionar el cilindro cerca del neumático (Fig. 11):

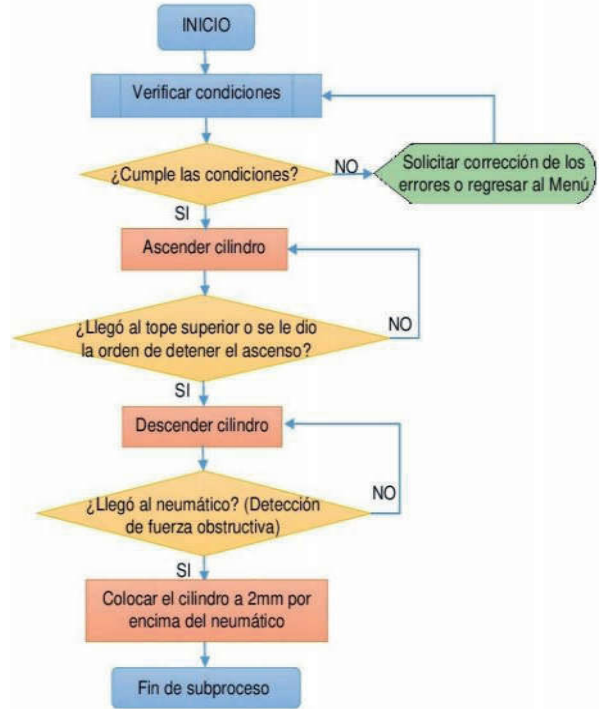


Figura 11: Diagrama de flujo del posicionamiento del cilindro.

El proceso de una penetración se presenta en la Figura 12 y debe ser repetido para los 5 puntos de ensayo:

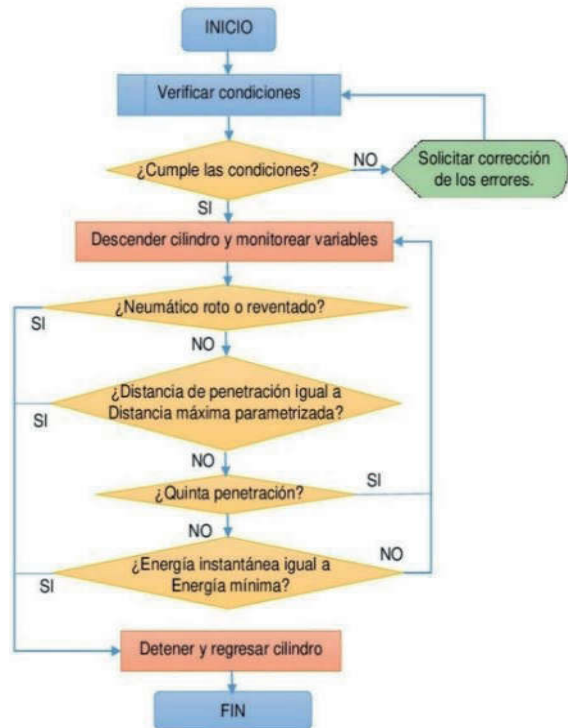


Figura 12: Diagrama de flujo del proceso de penetración de un neumático.

B. Algoritmos de generación del informe

A continuación, se presenta la aplicación de ayuda para la ejecución del procedimiento del ensayo que ha sido diseñado en la plataforma Autohotkey (Figura 13).

Cabe mencionar que el subproceso de descarga de Data Logs mostrado en el algoritmo de la Fig. 13 se ejecuta mediante un programa realizado en la plataforma de libre distribución Autohotkey que se accede a través de una computadora ubicada en una oficina cercana a la prensa que debe estar conectada a la red Ethernet de la Fig. 9. Este subproceso se realiza para las siguientes variables del ensayo, entre otras:

- Distancia instantánea de penetración.
- Fuerza instantánea de penetración.



Figura 13: Diagrama de flujo de la aplicación para facilitar el ensayo.

Por último, se presenta el diagrama de flujo de la generación del informe con el macro de Excel (Figura 14), proceso con el cual finaliza el procedimiento de ensayo con el sistema automatizado de la prensa para determinación de la resistencia a la penetración de la Metalmecánica de San Bartolo.

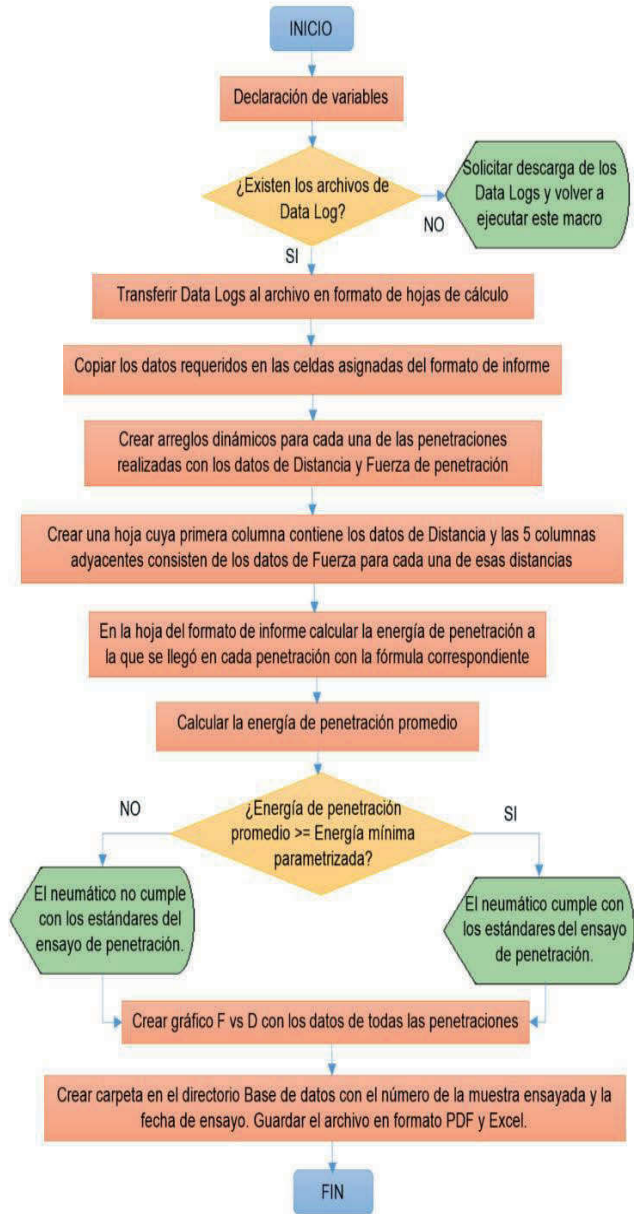


Figura 14: Diagrama de flujo de la generación del informe del ensayo.

VI. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y RESULTADOS

Se ejecutó una serie de demostraciones con neumáticos de prueba obteniéndose los siguientes resultados:

- Se ejecutó cada uno de los pasos que constan en el procedimiento de ensayo de resistencia a la penetración de la norma NTE-INEN 2097 de una manera más sencilla e interactiva gracias a las indicaciones mostradas en el HMI y la automatización del proceso de penetración y posicionamiento del cilindro.

En la Fig. 15 se muestra la pantalla obtenida al finalizar una penetración de prueba, donde se pueden observar las variables y sus valores finales.



Figura 15: Pantalla del HMI al finalizar un ensayo.

Los registros de las variables Fuerza y Distancia de penetración fueron realizados exitosamente durante el ensayo. Se pudo corroborar en el archivo de Excel correspondiente a la Distancia de penetración que los datos presentan un crecimiento lineal. Con dichos datos el macro generó el gráfico de la Fig. 16.

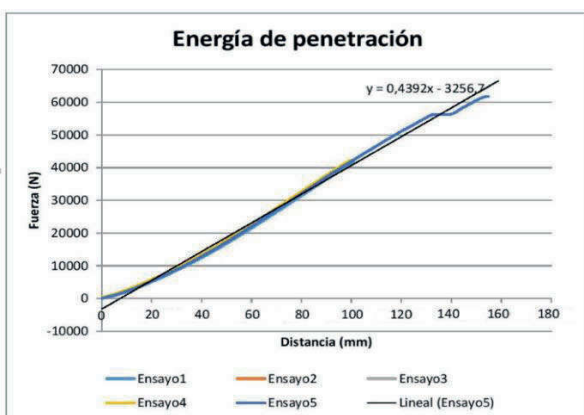


Figura 16: Gráfica Fuerza (N) vs Distancia (mm) de un ensayo.

VII. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Fue imprescindible crear algoritmos secuenciales de almacenamiento de las variables de Distancia y Fuerza de penetración, disparados uno después de otro para que no se superpongan y que se ejecuten después de la detección de un flanco ascendente del encoder, suceso que tiene un período de 182 ms.

Se programó el pedido de almacenamiento tomando en cuenta el tiempo que demora en ejecutarse dicho proceso, que en el caso crítico es de 50 ms para un dato de una variable pesada (ej. LReal).

Se realizó el cálculo de la velocidad mediante el conteo rápido para encoder incorporado en una entrada digital del PLC designada con un tiempo base de 8 segundos pese a que éste incorpora la medición de frecuencia de los pulsos. Este servicio se implementó así debido a que la medición de frecuencia simplemente ejecuta el cálculo con el número de pulsos que se presenta en tiempos base (1ms, 10ms, 1seg) que no permiten conseguir valores de velocidad de descenso dentro del rango normado.

VIII. REFERENCIAS

- [1] Escuela Politécnica Nacional, Metalmecánica de San Bartolo estuvo de fiesta (Inauguración del Laboratorio de Llantas), [En línea], Recuperado el 21 de enero del 2017 de: <http://www.epn.edu.ec/metalmecanica-san-bartolo-estuvo-de-fiesta/>
- [2] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2012). NTE-INEN 2097: Neumáticos, Neumáticos tipo II y tipo III, Métodos de ensayo. Quito, Ecuador.
- [3] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (2013). NTE-INEN 2099: Neumáticos, Neumáticos tipo II y tipo III, Requisitos. Quito, Ecuador.
- [4] The Tire and Rim Association (TRA). Year Book. (2017). Ohio, USA.
- [5] Instituto Ecuatoriano de Normalización. (1998). NTE-INEN 2101: Neumáticos, Neumáticos para vehículos, Dimensiones, Cargas y Presiones. Quito, Ecuador.

IX. BIOGRAFIAS



Iván Yerovi, nació en Quito-Ecuador el 18 de agosto de 1991. Realizó sus estudios primarios y secundarios en el Colegio La Salle de Conocoto, graduándose con la especialidad de Físico Matemático. Egresado de la Escuela Politécnica Nacional y próximo a obtener el título de Ingeniero en Electrónica y Control. Áreas de interés: Domótica, Control Industrial, Instrumentación Industrial. (ivanchoyerovi@hotmail.com)



Vanessa Benavides, nació en Quito, sus estudios superiores fueron realizados en la “Escuela Politécnica Nacional”, Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica obteniendo el título de Ingeniería en Electrónica y Control. Su maestría fue realizada en Brasil en la Universidad Federal de Pernambuco en Ingeniería de Producción con mención en Investigación de Operaciones. Actualmente se desempeña como Profesora a Tiempo Completo en la Escuela Politécnica Nacional

Áreas de investigación: Investigación de Operaciones, Análisis de Decisión Multicriterio, Instrumentación y Control de Procesos. (vanessa.benavides@epn.edu.ec)



Marcelo Pozo, nació en Quito-Ecuador. Se graduó en la Escuela Politécnica Nacional como Ingeniero en Electrónica y Control en 1999. Estudió su Masterado en la Universidad Técnica de Dresden-Alemania obteniendo el título de M.Sc.E.E en 2002. A partir de 2009 se desempeña en el cargo de Profesor Principal a tiempo completo en el Departamento de Automatización y Control Industrial (DACI) de la Escuela Politécnica Nacional-Quito, Ecuador. Entre finales del 2010 y principios del 2015 realizó su Doctorado en Ingeniería en la Universidad de Siegen, Alemania, especializándose en Electrónica de Potencia y Control Electrónico de Máquinas Eléctricas.

Sus áreas de interés son: Electrónica de Potencia, Control Electrónico Industrial, Control de Máquinas Eléctricas, Calidad y Uso Eficiente de la Energía, Conversión Estática a partir de Fuentes de Energía Alternativas, Regenerativas y Renovables, Sistemas de Transporte y Vehículos Eléctricos. (marcelo.pozo@epn.edu.ec)