

Diseño de interfaz de usuario para máquina expendedora utilizando la metodología de administración temprana de equipos

Ing. Luis Alejandro Nava Garfias¹, Dr. Raúl Ramírez López², M.C. Abel Briones Ramírez³

Resumen: En este trabajo se analizó la problemática que se tiene para implementar mejoras tecnológicas a máquinas expendedoras, debido a que estas máquinas utilizan el protocolo MDB (Multi-Drop Bus, Bus multipunto), el cual es muy cerrado. Se siguió la metodología de administración temprana de equipos. La solución propuesta consiste de un sistema de interfaz de usuario que proporciona nuevas funciones a dichas máquinas, a un bajo costo. La interfaz se realizó con una tarjeta de desarrollo Arduino y una microcomputadora raspberry pi, cuya función fue recibir las señales del teclado de la máquina, procesarlas a través de comunicación serial y generar comandos a la tarjeta de control central de la máquina expendedora y una pantalla táctil cuya función fue mostrar las opciones que el usuario podía seleccionar y darle información. Esta interfaz permitió implementar una mejora tecnológica evitando costos y complejidad innecesarios, ya que se evitó la utilización del protocolo MDB.

Palabras clave: Interfaz, Usuario, máquina expendedora, investigación aplicada, NavaGarfiasCML344

Introducción

Las máquinas expendedoras (ME) se van haciendo cada vez más comunes y van ganando más lugar en el mercado, el sistema de control central que las gobierna está basado en un protocolo llamado MDB/ICP (Multi-Drop Bus protocol/Internal Communications Protocol, Bus multipunto/Protocolo de Comunicaciones Internas) el cual está extremadamente especializado para las comunicaciones de los diferentes dispositivos que se encuentran en las máquinas expendedoras como monederos y billetteros con las tarjetas de control principal de la máquina.

El MDB es un protocolo serial asíncrono que transmite a 9600 bps con una codificación NRZ (Non-Return-to-Zero, No Retorno a Cero) con un maestro que es la tarjeta principal y los dispositivos de cobro y otros periféricos funcionan como esclavos, con niveles de voltaje de 34 volts de corriente directa (NAMA, 2011).

A manera de explicación de las limitaciones del protocolo MDB haremos la siguiente reseña acerca de su creación e implementación como estándar para máquinas expendedoras: El protocolo MDB fue diseñado por Coinco a principios de los años 1990 para la compañía Coca-Cola, para permitir el desarrollo de un receptor de monedas de bajo costo donde los algoritmos de la transacción de la venta estuvieran en los elementos electrónicos de la máquina expendedora. El protocolo fue adoptado por la Asociación Nacional de Comercialización Automática (NAMA) en 1994. La Asociación Europea de Fabricantes de Máquinas Exendedoras (EVMMA) desarrolló el protocolo ICP con características casi idénticas a MDB y ambos se fusionaron en 1998, en 2011 se libera la versión 4.2 que es la más reciente de este protocolo que incluye comandos para averiguar el estado de los periféricos y comandos de transacción de dinero. Como se puede observar este protocolo no tiene aplicaciones en otros campos por lo que se mantiene relativamente cerrado comparado con otros protocolos de comunicación desarrollados para ser extendidos a diferentes aplicaciones, esto presenta un obstáculo al intentar realizar modificaciones tecnológicas a las ME.

La selección de productos en estas máquinas se realiza a través de teclados conectados a la tarjeta principal con selecciones preestablecidas o con botones ubicados para cada producto. Es importante aclarar que se desea mantener la funcionalidad de la tarjeta principal funcionando con el protocolo MDB, ya que este sistema es muy robusto y probado en cuanto al manejo de los sistemas de cobro, siendo este aspecto de las actuales máquinas expendedoras el más desarrollado.

La problemática que se plantea es la dificultad de realizar modificaciones tecnológicas a estas máquinas por las razones antes citadas, y para conseguir dichas modificaciones se tienen las siguientes opciones: implementar el protocolo en un microprocesador y realizar el acoplamiento de los niveles de voltaje con complicados circuitos electrónicos; utilizar convertidores de MDB a RS-232 o convertidores MDB a USB. Estas opciones, si bien son factibles, conllevan una alta complejidad técnica o un costo muy elevado.

¹ El Ing. Luis Alejandro Nava Garfias es estudiante de la Maestría en Ingeniería en la línea Automatización y Sustentabilidad, del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Querétaro. luisalejandro.garfias@engineer.com (autor corresponsal)

² Dr. Raúl Ramírez López es Profesor investigador de la línea de Automatización y Sustentabilidad de la Maestría en Ingeniería del Tecnológico Nacional de México campus Instituto Tecnológico de Querétaro. r Ramirez@mail.itq.edu.mx

³ M.C. Abel Briones Ramírez es director y fundador de la empresa Exxerpro Solutions S.A, con sede en Querétaro, Qro. y es investigador en el campo de la optimización de procesos. abel.briones@exxerpro.com

El objetivo de este trabajo es desarrollar una interfaz gráfica para agregar funciones de selección de productos que incluyen la cantidad a dispensar de los mismos, así como mostrar información e instrucciones al usuario de estas máquinas. De manera que se pueda seguir contando con la parte más robusta de estas máquinas, que es, el manejo de los flujos de efectivo de forma segura, pero consiguiendo que la interacción con las mismas sea más amigable y abierta y facilite la implementación de nuevas funciones a las máquinas expendedoras.

Desarrollo

Metodología

La metodología utilizada para conseguir el objetivo se basó en la EEM (metodología de administración temprana de equipos) cuyo concepto básico es el de diseñar un sistema desde su inicio hasta su finalización en el menor tiempo posible para producir productos de calidad (Schlie, 2007).

Los objetivos que se tienen en mente al realizar el diseño con esta metodología son: obtener un arranque vertical, que consiste en obtener el menor periodo de arranque para obtener un porcentaje de eficiencia objetivo incremental y estable lo que implica que los problemas en el sistema disminuyan rápidamente en el tiempo (Figura 1).

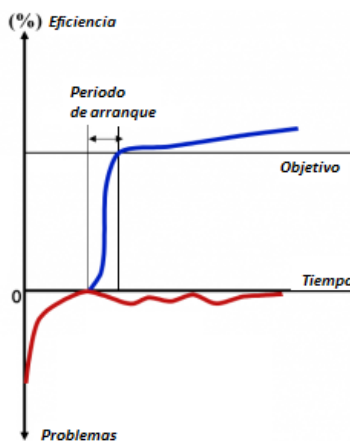


Figura 1. Curva de desarrollo de arranque vertical en la metodología de administración temprana de equipos.

Las características que debe cumplir el equipo diseñado son:

- Diseño intrínsecamente confiable.
- Estándares de limpieza e inspección para programas de mantenimiento.
- Listas de verificación para auditoría.
- Fácil de limpiar, inspeccionar, lubricar y cambiar.
- Fácil de mantener y reparar.
- Fácil de operar (a prueba de fallas).
- Fácil de obtener datos para el mantenimiento predictivo y para una mejora adicional.

Las fases, áreas y objetivos que definen esta metodología según McCarthy (2017) se muestran en la Tabla 1.

Tabla 1. La metodología de administración temprana de equipos

Fase	Área	Objetivos
Concepto	<ul style="list-style-type: none"> • Diseño y gestión del rendimiento. • Especificación y gestión de LCC (Costo de Ciclo de Vida). • Gestión de proyectos y riesgos. 	<ul style="list-style-type: none"> • Arranque vertical (Operación sin fallas desde el arranque). • Obtener el menor LCC.
Diseño de alto nivel		
Diseño de detalle		
Fabricación		
Instalación		
Puesta en marcha		

En cada etapa se lleva a cabo una revisión de paso de fase que consiste en un conjunto de puntos de revisión con los que se determina si ya se cumplió con los objetivos de la fase o si es necesario afinar o redefinir algún punto; esta revisión se lleva a cabo a través de distintos formatos definidos para cada fase y que son analizados finalmente

en una revisión de diseño por etapa. En las siguientes subsecciones explicaremos las actividades realizadas en cada etapa.

Concepto

En esta fase se definieron las alternativas que se tenían para lograr implementar la interfaz gráfica y cuanto se podría gastar para conseguirlo a través de un análisis LCC (Costo de Ciclo de Vida) de cada alternativa, a manera de resumen se muestra la siguiente tabla comparativa que sirvió para decidir cuál era la mejor alternativa de solución. Esto se muestra en la Figura 2.

Nombre de propuesta	Propósito de propuesta				Prerequisitos de equipo
Diseño de interfaz de usuario para máquina de punto de venta.	Desarrollar una interfaz gráfica para agregar funciones de selección de productos que incluyen la cantidad a dispensar de los mismos.				<ul style="list-style-type: none"> · Operabilidad · Flexibilidad · Economía de recursos · Disponibilidad
	Propuesta A	Propuesta B	Propuesta C	Propuesta D	
	Desarrollo interfaz y desarrollo de protocolo con microprocesador	Desarrollo de interfaz y acoplamiento de señales de teclado hacia interfaz y simulación de entradas de teclado a maestro MDB.	Desarrollo de interfaz y comunicación con convertidor MDB/RS-232	Desarrollo de interfaz y comunicación con convertidor MDB/USB	
Expresión cualitativa de costo estimado después de análisis LCC	Muy Alto	Bajo	Alto	Alto	
Grado de complejidad técnica	Muy Alto	Moderado	Bajo	Bajo	
Tiempo de entrega hasta puesta en marcha	8 semanas	4 semanas	10 semanas	10 semanas	
Alineación con los requisitos	El costo de implementación es alto	Cumple	Disponibilidad baja y costo de implementación alto	Disponibilidad baja y costo de implementación alto	

Figura 2. Tabla comparativa de alternativas para diseño de interfaz gráfica en ME.

En esta etapa se determinó que la propuesta B era la más viable, definiéndose así el alcance del proyecto.

Diseño de alto nivel

En esta fase se definieron los sistemas electrónicos que se utilizarían para realizar la interfaz; primeramente, se seleccionó el tipo de pantalla a utilizar a través de sistema cualitativo por puntos donde se determinó utilizar una pantalla táctil con comunicación USB hacia una microcomputadora raspberry pi. La raspberry pi funcionaría como unidad central de la interfaz ya que sería también la encargada de simular los comandos de teclado de la ME para indicar el producto seleccionado a la tarjeta maestra MDB.

Diseño de detalle

En esta fase se vio la necesidad de recibir las señales de teclado de la ME como forma alternativa de selección de productos en el caso de algún daño en la pantalla táctil.

Determinado el circuito de conexión del teclado, se decidió utilizar un circuito resistivo R-2R que es una forma sencilla de convertir una señal digital en analógica; así se pudieron diferenciar los botones presionados en el teclado y utilizar dos señales analógicas de una tarjeta de desarrollo Arduino (debido a las conexiones internas del teclado) para recibir estas señales ya que la raspberry pi no cuenta con entradas analógicas. Es importante mencionar que este circuito también nos ayuda a evitar un efecto de señal flotante en las entradas analógicas de la tarjeta Arduino ya que siempre hay una señal conectada a las mismas. En cada etapa del convertidor se va obteniendo un voltaje decrementalmente diferente, el cuál una vez leído en las señales analógicas de la tarjeta Arduino, se asigna a cada botón del teclado, obteniendo así cinco diferentes niveles de voltaje para cada una de las entradas, con lo que quedan completamente definidos todos los botones. Esto se muestra en la Figura 3.

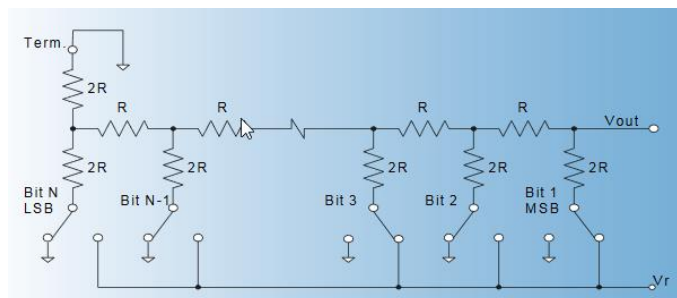


Figura 3. Conexión general de un circuito R-2R.

Esta información se enviaría a la raspberry pi a través de comunicación serial por los puertos USB de estos dispositivos, como se muestra en la Figura 4.

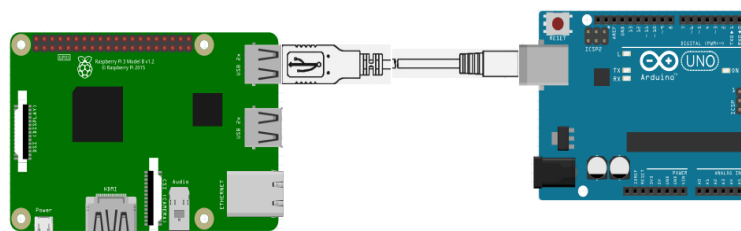


Figura 4. Comunicación serial a través de puertos USB Arduino-Raspberry pi.

Para finalizar la parte electrónica se definió utilizar las salidas digitales de la raspberry pi para activar unos relevadores (seleccionados por el método cualitativo por puntos) que van a las entradas de la tarjeta maestra MDB y de esta manera simular las entradas de los botones del teclado de la ME una vez que se ha hecho la selección.

Fabricación e instalación

Debido al tamaño de los dispositivos utilizados estas dos fases se realizaron simultáneamente.

La fase de fabricación se inició con el armado electrónico de los componentes en el siguiente orden:

- Fabricación del circuito R-2R.
- Montaje de la Raspberry pi y la tarjeta Arduino y conexión de cable USB.
- Montaje y conexión de las tarjetas de relevadores a las salidas de la Raspberry pi y las entradas de la tarjeta maestra MDB.

Cabe mencionar que la fabricación electrónica no representó un gran esfuerzo debido a que desde la parte de diseño se tomaron las decisiones adecuadas para facilitar el desarrollo posterior del proyecto.

En las figuras 5-7 se muestra la documentación de este proceso.

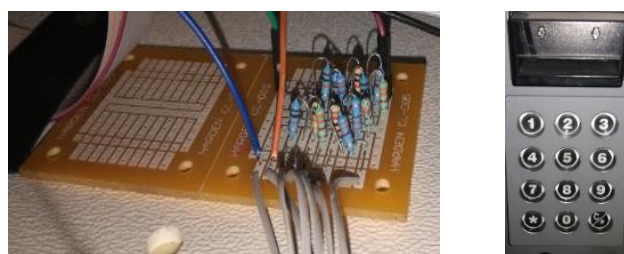


Figura 5. Circuito R-2R y teclado de máquina expendedora.



Figura 6. Conexión serial Arduino/Raspberry pi.



Figura 7. Conexión Raspberry pi /Relevadores / MDB maestro.

Una vez realizado el cableado electrónico, se procedió a la programación de la interfaz la cuál consistió de los siguientes elementos:

- Programación en tarjeta Arduino de detección de botones pulsados en teclado.
- Configuración de la comunicación serial entre la tarjeta Arduino y la Raspberry pi.
- Configuración de la aplicación gráfica de selección de productos entre Raspberry pi y pantalla táctil.
- Configuración de salidas de control de relevadores para simulación de teclado en maestro MDB.

En Arduino se utilizó la utilidad Firmata para realizar la comunicación serial: se obtiene el dígito presionado con una instrucción case de acuerdo al nivel de voltaje obtenido en alguna de las dos entradas analógicas proveniente del convertidor digital analógico tipo R-2R. Después, se envían los dígitos que corresponden al botón presionado en el teclado a través del puerto serial USB de esta tarjeta hacia un de los puertos USB de la computadora Raspberry pi mediante un cable USB 2.0 A/B.

En la computadora Raspberry pi se utilizó el programa Python para generar la interfaz gráfica: se monitorea el puerto serial para leer la información que envía la tarjeta Arduino para saber que selección ha hecho el usuario en el teclado, pero también se puede hacer la selección a través de la pantalla táctil. Finalmente, se activan los relevadores que simulan el teclado a través de los pines GPIO (general-purpose input/output, por sus siglas en inglés).

Cabe mencionar que la razón para tener una aplicación que funcione tanto con las funciones táctiles de la pantalla, como con las señales de un teclado, es tener la flexibilidad de poder prescindir de las funciones táctiles en ambiente que no sean adecuados para estas funciones, es decir ambientes en los que la pantalla táctil pudiera correr riesgos de ser dañada por mal uso e incluso por actos intencionales.

En las figuras 8-9 se muestran parte de los diferentes programas utilizados en Arduino y en Python y un ejemplo de interfaz gráfica que se puede obtener con este sistema.

```
#ifndef FIRMATA_SERIAL_FEATURE
  serialFeature.update();
#endif

// read the analog in value:
sensorValue1 = analogRead(analogInPin1);
sensorValue2 = analogRead(analogInPin2);
// map it to the range of the analog out:
Digitol = sensorValue1/204;
Digito2 = sensorValue2/204;

// print the results to the Serial Monitor:
if (Digitol != Digitolnew)
{
  Digitolnew = Digitol;
  switch (Digitolnew){
    case 0:
      Serial.print(1);
    case 1:
      Serial.print(3);
    case 2:
      Serial.print(5);
    case 3:
      Serial.print(7);
    case 4:
      Serial.print(9);
  }
}

def do_serial2():
  read_serial=ser.readline()
  s[1]= str(int(ser.readline(),16))
  print (s[1])
  text2.value=s[1]

  if text2.value == "4":
    info("Gracias", "Insertar 10 pesos")
  else:
    info("no existe", "Vuelva a elegir")

def open_window():
  winSuavizante.show()

def close_window():
  winSuavizante.hide()

app = App(title="Productos de Limpieza Ecologicos", bg =
"white", width=350, height=400, layout="grid")

welcome_message = Text(app, text="Bienvenido elija su
producto",grid=[0,0,2,1], align="left", size=20, font="Times
New Roman", color="blue")

Suavizante = Picture(app, image="suavizante.jpg", grid=[0,1],
align="left", width=80, height=80)
producto1_desc= Text(app, text="1 Suavizante", grid=[1,1],
align="left", size=20, color="purple")
Lavamanos = Picture(app, image="dove.jpg", grid=[0,2],
align="left", width=80, height=80)
```

Figura 8. Extractos de los programas en Arduino y Python para generar la interfaz gráfica.

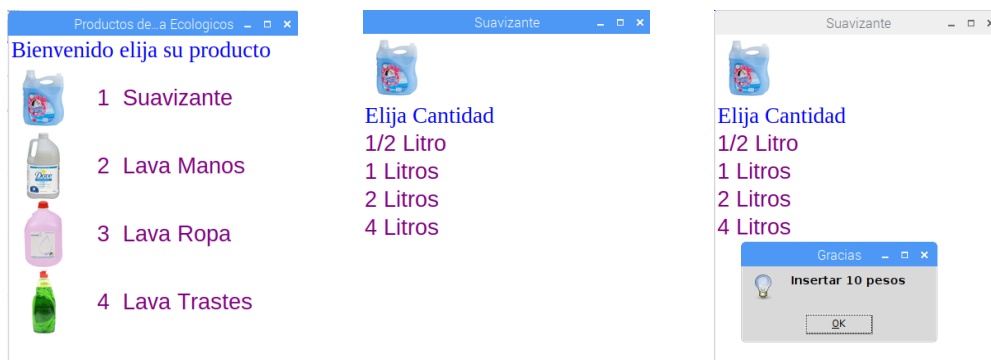


Figura 9. Ejemplo de aplicación de interfaz gráfica para máquinas expendedoras.

Pruebas y resultados

Puesta en marcha

Finalmente, se consiguió un arranque vertical de 4 horas con una eficiencia del 96% consiguiéndose una eficiencia del 100% después de un total de 5 horas.

Resultados

En este trabajo se buscó resolver la problemática que representa implementar mejoras tecnológicas en las máquinas expendedoras. El resultado que se obtuvo fue que se pudo implementar una interfaz gráfica, con funciones diferentes a las comúnmente presentadas por estas máquinas de forma satisfactoria lo que se consiguió sin tener que incurrir en grandes costos y sin tener que implementar sistemas demasiado complejos.

La solución final constó de una arquitectura basada en los componentes mostrados en la Tabla 2 donde se muestran sus funciones.

Tabla 2. Componentes finales de la interfaz y sus funciones

Elemento	Función
Microcomputadora Raspberry pi	Unidad central <ul style="list-style-type: none"> · Controla la interfaz gráfica con la información que recibe de la tarjeta Arduino o de la pantalla táctil. · Controla los relevadores de simulación.
Tarjeta de desarrollo Arduino	Intérprete de señales de teclado <ul style="list-style-type: none"> · Recibe las señales acondicionadas por la tarjeta R-2R interpreta esta información y envía a través de comunicación serial la interpretación de las teclas presionadas en el teclado a la unidad central.
Pantalla táctil GeekPi	Interfaz de usuario <ul style="list-style-type: none"> · Muestra al usuario la interfaz gráfica creada por la unidad central. · Envía a la unidad central los comandos generados al ser seleccionadas las distintas opciones en pantalla
Módulos de 4 relevadores	Simulación de teclado <ul style="list-style-type: none"> · Al ser activados por las salidas del puerto GPIO de la unidad central cierran el circuito que normalmente se cierra con la pulsación de los botones del teclado.
Tarjeta de fabricación propia con dos circuitos R-2R	Acondicionador DAC de escalera <ul style="list-style-type: none"> · Hace uso de la red R-2R (Taub y Schilling, 1997) para generar una señal analógica a partir de los datos digitales que se presenten en sus entradas.

La arquitectura de funcionamiento es la que se muestra en la figura 10.

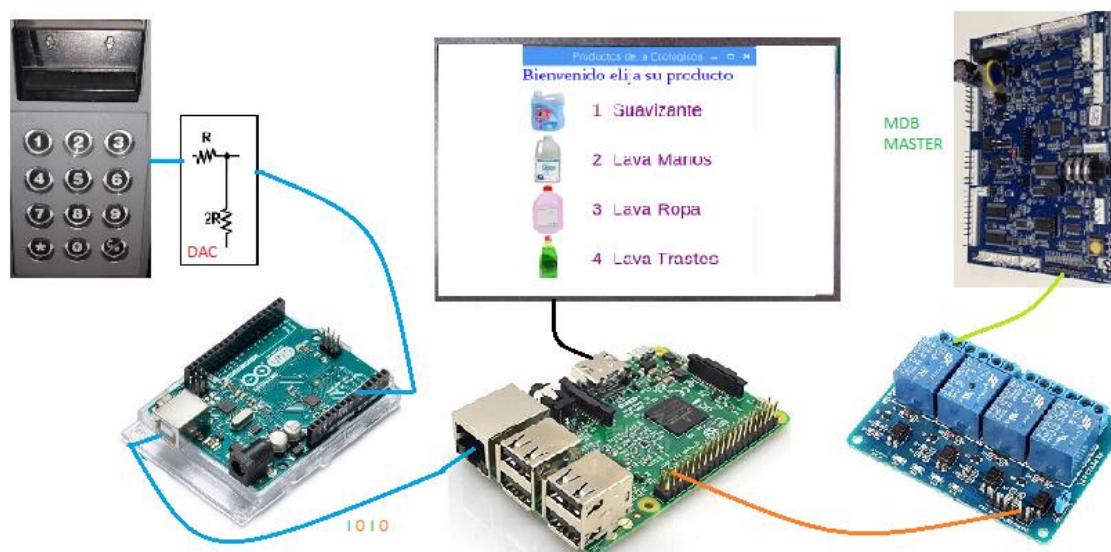


Figura 10. Arquitectura final del Sistema de interfaz de usuario

Conclusiones

La metodología EEM es de gran ayuda al realizar este tipo de proyectos en los que se requiere minimizar el costo total del ciclo de vida y lograr un arranque vertical, ya que, da una buena estructura al proyecto y en cada fase del mismo es posible identificar y eliminar, o por lo menos minimizar, situaciones que pueden resultar en detrimento de los objetivos del proyecto.

Finalmente se comprobó que es posible hacer mejoras tecnológicas a sistemas robustos como las máquinas expendedoras de manera económica y efectiva.

Recomendaciones

El sistema se desarrolló basado en la metodología EEM, sin embargo, existen otras metodologías que pueden ser aplicables para desarrollar este tipo de mejoras. Se recomienda también la guía del PMBOOK (Project Management Book, Libro de Manejo de Proyectos) que contiene todos los pasos necesarios para el desarrollo de proyectos. Aunque, finalmente, la selección de la metodología depende del proyecto y del tipo de organización que lo desarrolla.

Referencias

- H. Taub and D. Schilling, "Digital integrated electronics," McGraw-Hill, 1997.
- McCarthy, D. " Early Equipment Management, Continuous Improvement for Projects", Boca Raton: CRC Press, 2017.
- NAMA (National Automatic Merchandising Asociation). "Multi-Drop Bus/International Communication Protocol,MDB/ICP" Manual, Ver. 4.2, 2011.
- Schlie, M. "Early Equipment Management," EMGT Field Project report, 2007.

Notas Biográficas

El Ingeniero Luis Alejandro Nava Garfias es ingeniero en electrónica con especialidad en instrumentación y control por el Instituto Tecnológico de Querétaro. Es estudiante de la maestría en ingeniería en la línea de Automatización y sustentabilidad en el ITQ. HA desarrollado y gestionado proyectos de automatización para empresas del ramo automotriz y empresas como CFE.

El Doctor Raúl Ramírez López es ingeniero en comunicaciones y electrónica por el Instituto Politécnico Nacional. Es maestro en ciencias por el CINVESTAV y doctor en ingeniería por la Universidad Autónoma de Querétaro. Ha realizado proyectos para la industria automotriz, la Compañía Mexicana de Radiología y a participado como profesor en el ITESM, en la UAQ, en el IPN en la UAM y desde el 2006 en el ITQ donde a partir del 2011 es líder de la línea de Automatización y sustentabilidad de la división de posgrado e investigación. Su especialidad es la identificación de sistemas dinámicos y el control automático, redes neuronales y control inteligente.

El maestro Abel Briones Ramírez es ingeniero en electrónica con especialidad en instrumentación y control por el Instituto Tecnológico de Querétaro. Es maestro en ciencias por el ITQ. Es director y fundador de la empresa Exxerpro Solutions S.A. de C.V. que tiene especialidades tecnológicas en: Control de movimiento, visión artificial, programación de autómatas y redes de comunicación, la cual cuenta con registro en el RENIECYT por los desarrollos tecnológicos que el mismo maestro ha desarrollado. Es investigador con 30 publicaciones relevantes que han sido citadas en 361 ocasiones, su especialidad está en campos como modelado y simulación, optimización de procesos, programación matemática, heurística, algoritmos genéticos, redes neuronales, entre otros.