

Desarrollo de un Sistema de Control por Computador para Transporte Vertical

C. E. PRIETO CERÓN ¹, H. Y. PIÑEROS HERRERA ²

¹CARLOS EDUARDO PRIETO CERÓN



C. E. Prieto Cerón. Bogotá, Colombia. Ingeniero Electrónico 2002 de la Universidad Antonio Nariño, Bogotá, Col. Actualmente es Investigador del Instituto Nacional de Bioingeniería, Universidad Central de Venezuela. Realiza estudios de Maestría en Bioingeniería y de Especialización en Instrumentación y Control de Procesos. Investigación & intereses profesionales: Sistemas de control de procesos, Robótica Médica, Inteligencia artificial y sistemas inteligentes, Automatización y control, Sistemas de comunicación y redes, Moldeamiento matemático. Correo electrónico: carlpric400@gmail.com.

²HOLMANYESID PIÑEROS HERRERA

H. Y. Piñeros Herrera. Bogotá, Colombia. Ingeniero Electricista Universidad Nacional. Especialista en Instrumentación Industrial Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Docente Escuela Tecnológica Instituto Técnico Central. Correo electrónico: holman.pineros@gmail.com



RESUMEN

El presente trabajo propone un sistema de control para ascensores basado en computador, el cual es implementado usando algoritmos en lenguaje G. Las características principales del sistema desarrollado son: 1) Detección rápida de fallas, 2) Bajo consumo de energía, dada la optimización del funcionamiento, 3) Monitoreo del sistema vía internet, 4) Flexibilidad para ser utilizado en la mayoría de los sistemas de transporte vertical.

Palabras clave: Control por computador, Programación en lenguaje G, Sistemas de transporte vertical, Labview®, Algoritmos.

ABSTRACT

Present work introduces a computer-based control system for elevators, which is implemented by using graphical (G) language based algorithms. The main features of the developed system are: 1) It allows for quick troubleshooting; 2) It uses an optimality criteria to reduce the electric power consume; 3) Web- based monitoring is possible; and, 4) it is adjustable to most of available vertical transportation systems.

Keywords: Computer control, G programming language, Vertical transport systems, Labview®, Algorithms.

INTRODUCCIÓN

El crecimiento del sector de la construcción ha creado una creciente demanda de los sistemas de transporte vertical especialmente en los centros de los principales núcleos urbanos, sin embargo en Colombia y varios países de Latinoamérica esta industria no se ha desarrollado lo suficiente a nivel tecnológico, lo cual obliga a importar los sistemas de control y mando, insumo básico para el funcionamiento de los ascensores, o en su defecto dejar tal mercado a pocas empresas (multinacionales), las cuales terminan liderando el sector, por ser las únicas con la tecnología para manejar el negocio.

La automatización de equipos de transporte vertical es una necesidad para las empresas colombianas. Actualmente hay más de 100 empresas nacionales que se dedican a esta actividad. Esto teniendo en cuenta que nuestro país actualmente hay más 10.000 equipos instalados, de los cuales el 35% son atendidos por la industria nacional, y cuenta con una proyección de crecimiento del 4% anual [1].

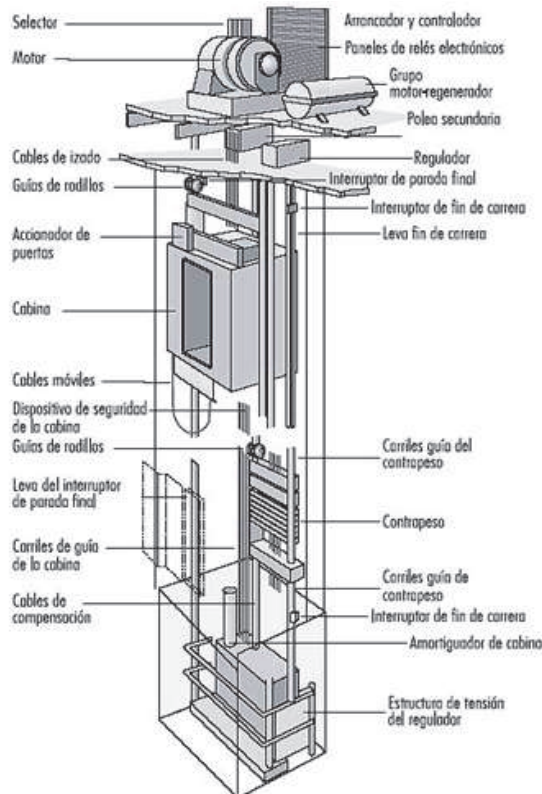
Un ascensor involucra un sistema

conformado principalmente por un diseño electromecánico y por un sistema de control lógico. En este trabajo se propone el desarrollo del sistema de control y mando que gobierne el funcionamiento, basado en computador de forma embebida sobre el lenguaje de desarrollo G de National Instruments para un ascensor de uso residencial en edificios de 5 niveles.

1. PROPOSICIONES DE VALOR

El desarrollo del sistema involucra ciertas características que lo aventajen sobre otras tecnologías.

- Control capaz de conectarse vía web dando reportes, históricos y estado de cada uno de los equipos. Esto genera hasta un 30% de ahorro en la logística involucrada para la verificación y reparación de estos ya que actualmente este es uno de los principales costos operaciones



Fuente: Adaptado de Otis Elevator Company.

Fig.1. Vista esquemática de un ascensor con los principales componentes.

- Monitoreo en línea del funcionamiento del ascensor en un equipo administrador.
- Sistema flexible y fácilmente adaptable a las especificaciones técnicas de las construcciones donde ubican los equipos, existentes sin limitar el diseño de una edificación.
- Menor tiempo de desarrollo comparado con sistemas tradicionales.
- Facilidades para discapacitados e invidentes y adulto mayor, reporte vocal piso a piso, apertura y cierre de puertas temporizado.

- Comunicación real entre el piso y el ascensor que permita determinar la ubicación exacta del ascensor dentro del edificio.

2. RESTRICCIONES DEL SISTEMA

Las restricciones condicionan la lógica de los algoritmos para el sistema de control y mando. Se tienen en cuenta restricciones generalmente usadas como las siguientes [2]:

- El ascensor sólo puede atender una llamada en cada instante.
- El número máximo de pasajeros lo define la capacidad del ascensor.
- Un ascensor no puede parar en un nivel a menos que un pasajero quiera subir o bajar del mismo.
- Las llamadas realizadas dentro de un ascensor siempre se sirven secuencialmente en la dirección del mismo, es decir, éste no podrá saltarse ninguna planta de destino de un pasajero.
- Un ascensor no cambia de dirección mientras lleve pasajeros a bordo, es decir, hasta que no haya servido a todos los pasajeros.
- El ascensor no acepta llamadas en la dirección contraria a la de viaje, es decir, los pasajeros no deberían poder acceder a un ascensor que viaje en dirección contraria a su piso de destino.

3. CONDICIONES FÍSICAS

Existen ciertas características que se deben precisar para definir adecuadamente el sistema de control y diseñar los algoritmos, algunos de ellas son:

- El motor principal del ascensor debe estar gobernado por un variador de velocidad. Fig. 1.
- Capacidad de recibir peticiones por dos vías: botoneras externas y teclado interno de la cabina.
- Capacidad para detectar el peso de Carga. (600 kg máx.).
- Gobierno de la puerta en modo automático y modo manual.
- Capacidad de parada de emergencia y de inicialización del sistema.
- Cantidad de niveles a atender: 5 pisos.

4. DISPOSITIVOS DE SEGURIDAD

Los ascensores requieren un sistema de seguridad que dé confiabilidad y permita contener fallas catastróficas, en la actualidad se habla de sistemas instrumentados de seguridad, (SIS) [3], este es un sistema compuesto por sensores, procesadores lógicos y elementos finales de control, que tienen el propósito de implementar las funciones necesarias para llevar el proceso a un estado seguro, cuando se han violado condiciones predeterminadas. En los ascensores se emplean varios dispositivos:

- Enclavamiento electromecánico de las puertas: Hace imposible la apertura de las puertas excepto la del piso en que se halla detenida la cabina.
- Paracaídas de rotura o desequilibrio de

cables de tracción: Consiste en un sistema de palancas cuyo movimiento acciona unas cuñas o rodillos que se encuentran en una caja junto a las guías (caja de cuñas). Cuando se da la caída de la cabina o sobrepasa la velocidad nominal, las guías son mordidas por las cuñas o rodillos y se produce la detención de la cabina.

- Limitador de velocidad: Lo componen dos poleas, se produce una detención brusca cuando la velocidad de dicha polea (y por tanto la de la cabina) supera el 25% de la velocidad nominal. Activando un sistema de palancas, llamado paracaídas. Y a la vez un contacto eléctrico corta la serie principal para evitar que el motor siga funcionando.

- Finales de carrera: Interrumpen la alimentación cuando la cabina rebasa los extremos en ascenso o en descenso.

- Dispositivo de parada de emergencia: Corta la alimentación y actúa el freno. Permite la detención del ascensor dejando sin efecto los mandos de cabina y pisos. Normalmente permite descender la cabina en la parada más baja. En los modelos actuales, este botón ha dejado de existir en los tableros de cabina, quedando únicamente el botón de alarma como dispositivo de emergencia en manos del usuario.

- Timbre de alarma: Para que lo utilicen los pasajeros en caso de emergencia. En ocasiones está conectado a una línea de teléfono o intercomunicador desde la que se puede solicitar asistencia en caso de quedar atrapado.

- Luz de emergencia: Ilumina la cabina de forma automática cuando falla el suministro de la luz normal.

- Sistema de pesacargas: La función de este elemento es evitar que el ascensor se mueva en sobrecarga, en la actualidad todos son digitales. Los sensores se colocan entre el suelo de la cabina y el chasis. Los cuadros de maniobra tienen 3 estados diferentes en lo que a pesacargas se refiere:

Normal. La cabina tiene menos peso del permitido, por lo que todos los sistemas funcionarán normalmente.

Completo. El ascensor ha llegado al peso máximo permitido, por lo que el cuadro de maniobra permitirá hacer el viaje, pero no permitirá que nadie más entre en la cabina hasta que disminuya el peso.

Exceso de carga. El ascensor no se moverá hasta que el peso se encuentre dentro del límite permitido. Debe haber una indicación luminosa y sonora que muestre el estado de exceso de carga. Las puertas no se cerrarán y el ascensor no se moverá hasta que vuelva al estado normal.

5. ALGORITMOS DE MANDO Y CONTROL

El algoritmo de control convencional sigue el principio de proximidad, es decir que el ascensor atenderá la petición de llamada que se encuentre más cerca de la posición de la cabina y que lleve la misma dirección. En el criterio de desempeño para el algoritmo de control convencional prima el tiempo que el usuario espera para que

se atienda su llamada y con base en este criterio busca disminuir los tiempos de espera de los usuarios.

El desarrollo de los algoritmos nos facilita la programación en Labview®, se diseñaron algoritmos para distintas etapas con el fin de cumplir con las propuestas de valor, restricciones, criterios de desempeño y condiciones físicas.

- Algoritmo de inicialización.
- Algoritmo de petición de llamada (Sube-Baja).
- Algoritmo temporizado apertura y cerrado de puertas.
- Algoritmo para parada de emergencia.
- Algoritmo para generación de reportes y monitoreo vía web.
- Algoritmo reporte vocal de piso.
- Algoritmo para indicador de piso, mensajes de alerta y multimedia.

5.1 Algoritmo de inicialización

En primera medida el este algoritmo se implementó en un diagrama de flujo Fig. 2, el cual inicia con la definición de las variables de control y consta de tres sentencias principales:

- Verificación de puerta activo: La cual impide que el ascensor arranque con puertas abiertas.
- Ubicación de la desaceleración obligatoria inferior: La cual pasa el ascensor de velocidad alta a baja.
- Ubicación del límite dirección: La cual detiene el ascensor debido a que alcanzó su recorrido máximo.

publicitario cargada previamente en una memoria USB.

La identificación del piso se hace gracias a un sistema RFID (identificación por radio frecuencia), tipo lector RFID-RS232 SL500L [6]. Se ubicó el lector en la cabina y un emisor en cada piso, esto garantiza la ubicación exacta del ascensor.

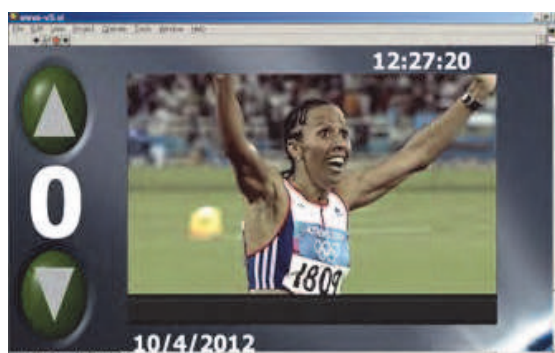


Fig. 4. Panel frontal del indicador de piso.

El sistema de visualización en la cabina está ligado con el algoritmo de reporte vocal de piso, este ultimo funciona gracias a voces pregrabadas que de acuerdo al estado del ascensor se reproducen por sistema de audio de forma que el numero de piso, la dirección, la fecha y hora pueden ser oídas y de esta forma orientar a personas con discapacidad visual.

6. SISTEMA EMBEBIDO

“Un sistema embebido es cualquier dispositivo que incluye un computador programable, pero en sí mismo no es un computador de propósito general” [7]. Para la confiabilidad y robustez del desarrollo, se creó un archivo .exe que une todos los

algoritmos, esto gracias a la herramienta “Build Application” de Labview®; con algunas restricciones se monto en una laptop de propósito corporativo.

“Algunos sistemas embebidos incluyen un sistema operativo, que se conoce como sistema operativo embebido. Este puede ser un sistema de software muy pequeño desarrollado específicamente para ser usado con algún sistema embebido en particular, o en ocasiones puede ser una versión reducida de algún sistema operativo que se utiliza en una computadora de propósito general” [8].

“Un sistema operativo para un sistema embebido usualmente es diseñado para una aplicación específica, y por lo tanto es más estático que un sistema operativo de propósito general” [9].

Los sistemas embebidos tienen características particulares tales como:

- Funcionamiento específico. Un sistema embebido usualmente ejecuta un programa específico de forma repetitiva. En contraste, un sistema de escritorio ejecuta una amplia variedad de programas.
- Fuertes limitaciones. Todos los sistemas de computación poseen limitaciones en sus métricas de diseño, pero en los sistemas embebidos son muy fuertes. Una métrica de diseño es una medida de algunas características de implementación, como: costo, tamaño, desempeño, y consumo de energía. Los sistemas embebidos generalmente deben ser poco costosos, poseer un tamaño reducido, tener un buen

desempeño para procesar datos en tiempo real, y además consumir un mínimo de energía para extender el tiempo de vida de las baterías o prevenir la necesidad de elementos adicionales de enfriamiento.

- Reactivos y tiempo real. Muchos sistemas embebidos deben ser reactivos o reaccionar ante cambios en el ambiente, además de realizar algunos cálculos en tiempo real sin ningún retraso, es decir, se deben tener resultados en tiempos fijos ante cualquier eventualidad. En contraste, un sistema de escritorio se enfoca en realizar cálculos con una frecuencia no determinada. [10]

Así para mejorar la estabilidad y confiabilidad de la aplicación se instaló la aplicación sobre un sistema operativo embebido, que mejora el rendimiento de dispositivos dedicados que requieren interfaces personalizadas y pleno funcionamiento de Windows, se hizo una primera aproximación con Windows embedded standard® orientado para aplicaciones de automatización y control.

7. TRABAJOS FUTUROS - CASOS DE ESTUDIO

Actualmente el proyecto se encuentra en la etapa IV, Fig. 5. Una ejecución final del prototipo y validación comercial necesita cumplir con reglamentaciones y normas nacionales e internacionales y poner a prueba los algoritmos para poder refinarlos, a continuación se trazan las referencias que se usaron y se proyectan a futuro.

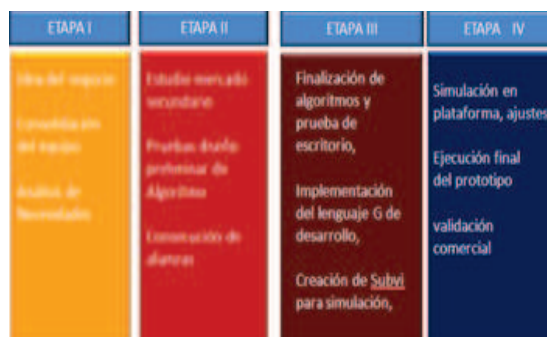


Fig. 5. Diagrama de flujo para el proceso de inicialización

El código de seguridad para ascensores y escaleras mecánicas ha tomado un nuevo giro, sobre todo para mantener el ritmo con los rápidos avances en tecnología.

ASME y la Canadian Standards Association han publicado conjuntamente un nuevo estándar basado en desempeño.

El nuevo código estándar basado en el desempeño de Seguridad para Ascensores y escaleras mecánicas, ASME A17.1-2010/CSA B44-10 [11], está diseñado para permitir la innovación en diseño, pero las innovaciones ahora deben pasar a revisión por un tercero, un Organismo de Certificación que lo legitime. La organización de certificación sujeta el nuevo diseño a un examen físico, para determinar si cumple con las normas de seguridad [12].

La mejora de los algoritmos requiere investigaciones para determinar los patrones de tráfico, lo cual resulta en un problema de elevada dificultad en sí mismo. Tradicionalmente se han empleado, bien los datos procedentes de macro-encuestas realizadas por centros de investigación de reconocido prestigio, como los realizados

por el CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) y por el BRE (Building Research Establishment), o bien estimaciones de tráfico mediante métodos de diferente grado de sofisticación [2].

Entre estos métodos se puede citar:

- Método manual usando observadores
- El Método S-P Inverso, estima el número de pasajeros que usan el ascensor, basándose en el número de llamadas y en los movimientos del mismo.
- Estimación del flujo de tráfico completo de Peters, utiliza procedimientos basados en cálculos estadísticos.
- Modelo de reconocimiento del patrón de tráfico mediante reglas de lógica difusa.
- Modelo de predicción del patrón de tráfico mediante redes neuronales.
- El control de tráfico establece el procedimiento por el cual una llamada de servicio realizada por algún usuario, sea asignada a determinado ascensor que será el encargado de recoger a dicho pasajero y llevarlo al piso que se dirige [12].
- Pero este servicio debe ser prestado de una forma eficiente, tres criterios de investigación para garantizar la eficiencia son:
 - Tiempo de espera: Es el tiempo que el pasajero debe esperar desde que hace la llamada hasta que el ascensor lo recoge.
 - Tiempo de viaje: Es el tiempo que gasta el pasajero hasta llegar a su piso destino.
 - Energía consumida por el sistema: Es la cantidad de energía medida en pisos recorridos por cada uno de los ascensores del sistema durante un determinado tiempo.

Estos criterios se pueden abordar utilizándolos como criterios de optimización estableciendo una función objetivo, un algoritmo conocido es el algoritmo *Optimal Routing*, también hay trabajos utilizando una técnica de control adaptativo conocido como *Dynamically Adaptive Call Allocation (DACA)*, o utilizando igualmente métodos de inteligencia Artificial como sistema de lógica difusa [13] [14], redes neuronales [15] [16], o algoritmos genéticos que han tenido éxito [17].

En investigaciones desarrolladas por simulación se afirma que [16, 18, 19]:

- No hay ninguna conexión directa entre el intervalo de pasajeros y los tiempos de espera, como se supone a menudo.
 - El intervalo depende de la configuración de ascensores.
 - Los indicadores de rendimiento, como el número de arranques y tiempos de ciclo, se saturan incluso a intensidades de poco tráfico.
 - Los tiempos de espera, dependen de los patrones de tráfico de pasajeros.
 - Durante mucho tráfico, el nivel de servicio se ve muy afectado por el algoritmo de asignación de llamada.
- Amerita replantear los algoritmos formulados para mejorar su desempeño y reducir notablemente el consumo energético.

La transmisión de datos podría verse afectada por perturbaciones provocando fallas eventuales del sistema; es necesario implementar un bus de red local de interconexión, LIN [20], este es un estándar en red embebida de bajo costo, para

conectar dispositivos inteligentes juntos. Es un protocolo de comunicaciones, basado en una topología de bus para la transmisión de mensajes en ambientes de mucho ruido eléctrico, además ofrece una solución a la gestión de la comunicación entre múltiples unidades centrales de proceso.

Proporciona beneficios como:

- Simplifica y economiza la tarea de comunicar subsistemas de diferentes fabricantes sobre una red común o bus.
- El procesador anfitrión (host) delega la carga de comunicaciones a un periférico inteligente, por lo tanto el procesador anfitrión dispone de mayor tiempo para ejecutar sus propias tareas.
- Al ser una red multiplexada, reduce considerablemente el cableado y elimina las conexiones punto a punto.

Sistemas actuales de ascensores también utilizan redes CAN (Controller Area Network, por sus siglas en inglés) [21], pero a pesar que CAN cubre las necesidades para alto ancho de banda y redes de manejo de error avanzado, los costos de hardware y software por la implementación de CAN se han vuelto prohibitivos para dispositivos de menor rendimiento. LIN proporciona comunicación rentable en aplicaciones donde el ancho de banda y la versatilidad de CAN no son requeridos. Es posible implementar LIN prácticamente a un menor precio usando el transmisor/receptor estándar serial universal asincrónico (UART) embebido en la mayoría de los microcontroladores modernos de bajo costo de 8 bits.

8. CONCLUSIONES

Tras las diversas técnicas para el mejoramiento de los algoritmos, es necesario realizar ensayos en entornos simulados lo que determinara su validez en ascensores reales. Esto permitirá el desarrollo de prototipos, que cumplan con las restricciones.

El algoritmo de control convencional que sigue el principio de proximidad, es una buena solución para la mayoría de los ascensores. Pero en la medida que se incrementa el tráfico, el número de niveles ya no es adecuado pues los consumos de energía y tiempos de espera aumentan considerablemente.

El control por computador utilizando Labview® es suficientemente versátil y robusto, lo que garantiza la estabilidad del sistema y ejecutándolo de forma embebida mejora el rendimiento dedicándose por completo al algoritmo.

La mejora de los algoritmos requiere investigaciones para determinación de los patrones de tráfico, técnicas con inteligencia artificial pueden dar resultados mejorados importantes.

Cuando la complejidad de los sistemas aumenta también se requiere un sistema de seguridad que permita contener fallas catastróficas los sistemas instrumentados de seguridad implementados en ascensores proyectan amplios márgenes de confiabilidad.

La ejecución final del prototipo y su validación comercial requieren una inversión adicional en investigación y desarrollo para poder posicionar el control en el mercado.

El sistema puede tener un impacto social pues representa una ventaja para el uso de personas con discapacidad audiovisual y para los usuarios de tercera edad, adquiriendo un valor agregado en instalaciones hospitalarias o centros de asistencia social.

El sistema de visualización en la cabina del ascensor se proyecta como un modulo independiente, con aplicación en la presentación de publicidad.

El desarrollo de los casos de estudio puede aportar resultados importantes en el mejoramiento de esta tecnología.

AGRADECIMIENTO

Gracias al Profesor Domingo Ramírez y a la Profesora Omaira Camacaro de la Universidad Central de Venezuela por sus conocimientos y préstamo de hardware para la implementación del control embebido.

REFERENCIAS

[1] CAMACOL. Estudios economicos. Informe económico publicación Mensual, «La vivienda 2011-2014: "El Gran Salto" en la producción habitacional,» Agosto No. 23 2010. [En línea]. Available: [http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/](http://camacol.co/sites/default/files/secciones_internas/EE_Coy20100921091641.pdf)

EE_Coy20100921091641.pdf.

[2] P. Cortés, J. Larrañeta, L. Onieva, J. Muñuzuri y I. Fernández, «Algoritmos de optimización en sistemas de transporte vertical,» de II Conferencia de Ingeniería de Organización, Vigo, Septiembre 2002.

[3] D. G. d. I. Cruz, Guía para la determinación del nivel SIL en la industria de procesos, Mexico: Universidad Veracruzana, Octubre 2009.

[4] National Instruments Corporation, «Introduction to LabVIEW, 3 hours hands-on tutorial,» 2012. [En línea]. Available: <http://www.ni.com/gettingstarted/labviewbasics/esa/>.

[5] National Instruments Corporation, User guide and specifications ni usb-6008/609. Bus-Powered Multifunction DAQ USB Device, Febrero 2012.

[6] StrongLink Technology Co., SL500 Reader/Writer User Manual Version 2.6, Noviembre 2011.

[7] W. Wolf, Computers as Components: Principles of Embedded Computing System Design, Morgan Kaufmann, 2008.

[8] The Linux Information Project (LINFO), «Embedded System Definition,» 2006. [En línea]. Available: http://www.linfo.org/embedded_system.html.

[9] L. Friedrich, A Survey on Operating System Support for Embedded Systems Properties, Departamento de Informática y Estadística.

- [10] D. Pérez, «Sistemas embebidos y sistemas operativos embebidos,» *Lecturas en ciencias de la computación*. Universidad Central de Venezuela, Vols. 1 de 2 ISSN 1316-6239, Marzo 2009.
- [11] ANSI/ASME American Society of Mechanical Engineers, A17.11-2010 Safety Code for Elevators and Escalators (Binational standard with CSA B44-10), ISBN 9780791833117, Diciembre 2010.
- [12] H. Hutchison, «New safety code for elevators. *Mechanical Engineering*,» nº 129(7), Noviembre 2007.
- [13] C. Kim, K. Seong y H. Lee-Kwang, «Design and implementation of a fuzzy elevator group control system,» *Proceedings of the IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, vol. 28, nº 3, pp. 277-287, 1998.
- [14] R. Mateus, A. Soriano y J. Jairo, «Sistema de control inteligente para un grupo de elevadores,» *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*. Universidad Militar Nueva Granada, vol. 18, nº 2, Diciembre 2008.
- [15] K. Sasaki, S. Markon y M. Makagawa, «Elevator Group Supervisory Control System Using Neural Networks,» *Elevator World*, pp. 23-29, Marzo 1996.
- [16] R. H. Crites y A. Barto, «Improving elevator Performance Using Reinforcement Learning,» *Advances in Neural Information Processing Systems*. MIT Press, 1996.
- [17] J. Alander, J. Ylinen y T. Tyni, «Elevator Group Control Using Distributed Genetic Algorithm,» de *Proceedings of the Elevator International Conference* pp. 400-403, Springer-Verlag. Vienna. Austria, 1995.
- [18] M.-L. Siikonen, *Planning and Control Models for Elevators in High-Rise Buildings*. Doctoral thesis, Helsinki: Research Reports A68. Systems Analysis Laboratory. Helsinki University of Technology, Octubre 1997.
- [19] M.-L. Siikonen, «Elevator traffic simulation,» *KONE Elevators Research Center, Simulation*. Helsinki. Finland, vol. 61, nº 4, pp. 257-267, 1993.
- [20] National Instruments Corporation, «Introducción al Bus de Red Local de Interconexión (LIN),» Mayo 2010. [En línea]. Available: www.lin-subbus.org.
- [21] National Instruments Corporation, *Introducción a CAN*. Tutorial National Instruments Corporation, Febrero 2011.