

# Sistema ascensor de cuatro pisos controlado mediante redes de Petri con fines didácticos

## Four floors elevator system controlled by Petri nets for didactic purposes

Aguirre-Gil, Iñaki \*; Gómez, Claudia y Dugarte, Carlos

Departamento de Control y Automatización Escuela de Ingeniería de Sistemas

Facultad de Ingeniería Universidad de Los Andes,

Mérida 5101, Venezuela

\*iaguirre@ula.ve

### Resumen

*En el siguiente artículo se presenta la construcción de un prototipo de ascensor de cuatro pisos a escala reducida, acompañado de un sistema de monitorización para fines didácticos. El prototipo creado consta de un sistema de puertas con mecanismo de apertura y cierre independientes y un panel de accionamiento con botones pulsadores que permiten solicitar la cabina en/hacia cualquiera de los pisos. El prototipo de ascensor está acompañado de un sistema de monitorización, desarrollado en Visual C#, que desde el computador reproduce una animación del prototipo físico construido. La manera en que se interconectan el prototipo de ascensor y el computador es a través de un puerto serie. La lógica de operación del ascensor se basa en las especificaciones funcionales y tecnológicas establecidas por el diseñador, las cuales han sido modeladas con Redes de Petri e implementadas en un microcontrolador PIC 16F877.*

**Palabras clave:** Ascensor a escala reducida, monitorización, microcontrolador PIC, Redes de Petri.

### Abstract

*The aim of this paper is to describe the construction, modeling and monitoring of a four-floors small-scale elevator for didactic purpose. The prototype created has a door at each floor that opens and closes individually as real elevators and also offers an operation console with buttons to generate all the orders from/to every floor to be served by the elevator cabin. Moreover, the monitoring software has been developed in Visual C# to watch the online elevator operation and includes remote elevator commissioning. A serial connection is needed to link up the prototype to a computer. The elevators operation logic is based on the functional and technological specifications made by the designer. Petri Nets are used to model the logical specifications and they are implemented using a microcontroller PIC 16F877.*

**Key words:** Small-scale elevator, monitoring, PIC microcontroller, Petri Nets

### 1 Introducción

La construcción de ascensores a pequeña escala ha sido un tema tratado ampliamente en áreas afines a la robótica, electrónica, mecánica, inteligencia artificial, automatización, entre otras. Dependiendo de las tecnologías utilizadas, existen diferentes enfoques de diseño para la implementación de los algoritmos de control encargados de coordinar la operación del ascensor (Dugarte, 2011).

El comportamiento de un ascensor puede ser modelado como un sistema a eventos discretos (SED), en el que la evolución de sus estados en el espacio temporal depende de

las relaciones estado-evento.

Las Redes de Petri constituyen una de las herramientas matemáticas más sencilla e intuitiva para modelar un SED; gracias a su capacidad de representación gráfica, estas permiten visualizar y establecer a través de grafos las relaciones existentes entre los diferentes elementos que integran un sistema (Rodríguez, 2009), (Dugarte, 2011). Es por ello que se han escogido para representar el modelo dinámico del ascensor, asegurando una operación eficiente del mismo.

El artículo está estructurado de la siguiente manera: en el apartado 2 se plantean los antecedentes de trabajos en la construcción del sistema. El apartado 3 trata sobre las espe-

cificaciones del prototipo de ascensor (Dugarte, 2011). El apartado 4 muestra el modelado mediante la técnica de Redes de Petri. En el apartado 5 se describe la construcción del prototipo ascensor. En el apartado 6 se describe la herramienta computacional construida para la monitorización del sistema físico. El apartado 7 muestra los resultados obtenidos. Para finalizar se presentan las conclusiones del trabajo.

## 2 Antecedentes

Gómez (1995), en su proyecto de grado titulado “Diseño y construcción de un automatismo secuencial (Problema del ascensor)” construye un ascensor de 4 pisos con apertura y cierre de puertas, utilizando un computador como ente controlador del sistema. El ascensor posee dos botones externos por piso, uno para bajar (excepto en planta baja) y otro para subir (excepto en el piso 3) y una botonera interna para generar las solicitudes de la cabina hacia alguno de los pisos. El algoritmo de control es diseñado haciendo uso de diagramas de estado en lenguaje Grafset. Gómez diseña una tarjeta de adquisición de datos para lograr intercambiar información entre el automatismo (programa de control) y el proceso (parte operativa) con el objeto de visualizar el seguimiento de la operación del ascensor desde el computador. Aunque el proyecto realizado por Gómez fue presentado en la Universidad de Los Andes, no existe ninguna réplica de este prototipo de ascensor en las instalaciones de la Escuela de Sistemas, ni tampoco fue utilizado con fines didácticos después de su construcción.

Por su parte, Cheded y Al-Mulla (2002) presentan en el artículo “Control of a Four-Level Elevator System using a Programmable Logic Controller” la construcción de un ascensor de 4 pisos, con sistemas de puertas (una puerta por piso). El diseño del algoritmo de control es elaborado haciendo uso de diagramas de estados, el cual es posteriormente implementado en un PLC (Programable Logic Controller) C20K Sysmac Omron. El ascensor construido por Cheded y Al-Mulla posee dos botones por piso (uno para bajar y otro para subir) a fin de hacer más eficiente el proceso de atención de llamadas de la cabina. Si las solicitudes hechas poseen la misma dirección (bajar o subir) que la solicitud actual, estas son siempre atendidas primero; después son atendidas las que poseen la dirección opuesta.

Por otro lado Cheón, Barboza y Romero (2008), en su proyecto titulado “Elevador de 4 niveles con 3 modos de funcionamiento” diseñan un control eléctrico y electrónico que controla e integra todos los componentes propios de un ascensor, utilizando como ente controlador el microcontrolador PIC (Peripheral Interface Controller) 16F877A. Los tres modos de funcionamiento con que opera el ascensor construido por Cheon, Barboza y Romero son: modo automático, modo manual (ambos con una fuente de poder de +5V que alimenta al prototipo) y modo emergencias (con una pila de +5V que alimenta al prototipo) en caso de fallas en el suministro eléctrico.

El presente trabajo está dedicado a la construcción de

un prototipo de ascensor de 4 pisos, que pueda ser usado para fines didácticos en automatización.

El diseño del prototipo de ascensor se basa en los patrones de diseño de los trabajos de Gómez (1995), Cheded y Al-Mulla (2002) y Cheón, Barboza y Romero (2008), con respecto al número de pisos que posee el ascensor y el uso de un sistema de apertura y cierre de puertas. El prototipo físico construido hace uso de un panel de accionamiento externo, con botones para bajar (excepto en planta baja) y botones para subir (excepto en el piso 3) al igual que lo hace Gómez y Cheded y Al-Mulla, a fin de que el ascensor opere eficientemente. A diferencia de Gómez, Cheded y Al-Mulla, el algoritmo de control ha sido diseñado haciendo uso de las Redes de Petri.

El “cerebro” del sistema ascensor construido es el microcontrolador PIC 16F877 (Angulo, 2006), (Córdova, 2009), debido a la fácil adquisición, reducido tamaño, bajo consumo y alta fiabilidad. La lógica de control diseñada haciendo uso de las Redes de Petri es implementada en el microcontrolador en lenguaje C (Cassandras, 2008), (Doui, 2004), (Kuo-Ming, 2001), (MingWei, 2009).

El sistema de monitorización, encargado de establecer el seguimiento del prototipo de ascensor desde el computador, ha sido programado en Visual C# 2008 Express Edition.

## 3 Especificaciones del Prototipo de Ascensor

En este apartado se presentan los diferentes elementos que conforman el sistema ascensor. Se precisa la forma en cómo estos elementos interactúan con la finalidad de modelar dicho comportamiento haciendo uso de las Redes de Petri.

El sistema en estudio consiste en un ascensor, que consta de 4 pisos: planta baja, piso 1, piso 2 y piso 3, con apertura y cierre de puertas, encargado de atender los diferentes llamados hechos desde la misma cabina o desde alguno de los pisos, a través de un panel de accionamiento.

En la Fig. 1 se muestran los diferentes elementos que integran el sistema ascensor y que permiten el correcto funcionamiento del mismo.

Seguidamente, se define brevemente cada uno de estos elementos.

La cabina: elemento portante que se desplaza verticalmente hacia todos los pisos.

El contrapeso: elemento que contrarresta el peso que genera la cabina.

La cavidad: es la estructura por donde se mueven verticalmente la cabina y el contrapeso.

Rieles: guías que sirven a la cabina y al contrapeso para desplazarse sin ningún problema a través de la cavidad entre planta baja y el piso 3.

El sistema de cables: elemento que une a la cabina y al contrapeso, con el fin de generar el equilibrio que necesita la cabina para desplazarse.

El cuarto de máquinas: elemento encargado de despla-

zar de manera ascendente o descendente la cabina. Está constituido por un motor de corriente continua (DC).

El sistema de puertas: está conformado por 4 puertas (una por piso). Cada una de las puertas posee un motor DC que genera la apertura y cierre de las mismas.

La edificación: es el lugar en donde se sitúa el sistema de puertas.

Sensores magnéticos: se dispone de 4 sensores magnéticos (uno por piso) ubicados estratégicamente a lo largo de la estructura, que permiten detectar la posición de la cabina.

Imán: es el elemento generador del campo magnético necesario para activar los sensores magnéticos normalmente abiertos. El imán se encuentra sujeto a una pared externa de la cabina.

Panel de accionamiento: está constituido por una botonera externa y una botonera interna.

Botonera externa: en cada piso existen dos botones para solicitar el servicio de subir (excepto para piso 3) y bajar (excepto para planta baja).

Botonera interna: se dispone de 4 botones adicionales, donde es posible seleccionar el piso destino una vez que se está dentro de la cabina.

Plataforma: es el elemento base donde se colocan todos los componentes mencionados anteriormente y permite dar estabilidad a toda la estructura.

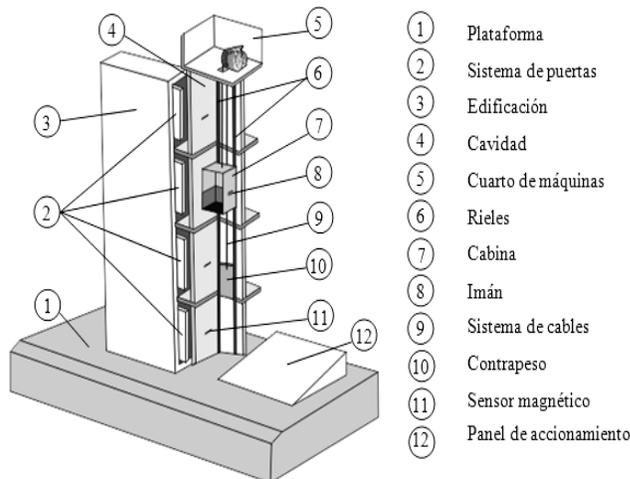


Fig. 1. Elementos del ascensor

### 3.1. Especificaciones funcionales

El funcionamiento del sistema ascensor consiste en atender de manera inteligente los diversos llamados de la cabina realizados por el usuario. Funcionalmente el sistema debe operar de la siguiente manera:

- El estado inicial del sistema es cabina en planta baja con las puertas cerradas.

- Las órdenes de mando de la cabina a alguno de los pisos son generadas por el usuario a través del panel de accionamiento.

Cuando se solicita la cabina a alguno de los pisos, esta se mueve a través de la estructura de manera ascendente o descendente (según sea el caso).

- Cuando la cabina se aproxima al piso desde el cual se realizó la llamada, el sensor magnético detecta el imán y hace que la cabina se detenga. Luego se abre la puerta, se espera unos instantes, se cierra la puerta y se sigue atendiendo otras llamadas si existen.

- Si ocurren varias órdenes a diferentes pisos, las mismas se atienden en base al algoritmo de control planteado.

- La lógica de atención consiste en atender siempre prioritariamente las órdenes que implican el mismo sentido del movimiento de la cabina. Por ejemplo, si la cabina sube de planta baja al piso 3 y se dan las siguientes órdenes: subir desde el piso 1, bajar desde el piso 2, ésta se detiene efectivamente en el piso 1, ignora momentáneamente la orden de bajar desde el piso 2, sube hasta el piso 3 y luego atiende la orden de bajar al piso 2 al ir bajando.

- La lógica de atención de las órdenes no se cumple por orden de llegada, por lo tanto si ocurriesen llamadas simultáneas, éstas se atienden en función del algoritmo de control explicado anteriormente; el sistema posee memoria al atender los llamados.

### 3.2. Especificaciones tecnológicas

La manera en que se generan acciones tales como: solicitar la cabina a alguno de los pisos, trasladar la cabina ascendente o descendente, detectar la cabina en alguno de los pisos y abrir o cerrar las puertas, requiere del uso de diversos componentes. Ahora se presentan las configuraciones utilizadas para crear el automatismo del sistema ascensor.

Traslado de la cabina: El traslado de la cabina se logra a través del uso de un motor DC de 12V/2A, que corresponde al motor principal del sistema (MP). El motor es de velocidad baja, lo que permite que el posicionamiento de la cabina sea bastante preciso.

Apertura y cierre de puertas: Para generar la apertura y cierre de puertas se hace uso de 4 cajetillas de unidades de CD/DVD (una por piso), que presentan las características deseadas de tamaño y velocidad para las puertas del ascensor. Las unidades poseen un motor DC 6V/100 mA.

Detección de la posición de la cabina: Para detectar la posición de la cabina en un momento determinado, se hace uso de 4 sensores magnéticos (uno por piso) ubicados en el centro de la altura de cada piso. Estos sensores son activados por la presencia de un imán, fijado exactamente en la mitad de una de las paredes laterales externas de la cabina.

Se dispone entonces de un sensor para planta baja (SPB), un sensor para piso 1 (SP1), un sensor para piso 2 (SP2) y un sensor para piso 3 (SP3). Estos sensores magnéticos operan en modo normalmente abierto, por lo tanto, cuando detectan la presencia de un campo magnético, sus contactos se cierran

Solicitud de la cabina: Las solicitudes de la cabina ha-

cia alguno de los pisos del ascensor, son generadas por el usuario haciendo uso de pulsadores simples. Estos pulsadores representan a la botonera externa e interna del panel de accionamiento.

El panel de accionamiento externo cuenta con 6 pulsadores que realizan las siguientes acciones: subir desde planta baja (SUBPB), bajar desde el piso 1 (BAJP1), subir desde el piso 1 (SUBP1), bajar desde el piso 2 (BAJP2), subir desde el piso 2 (SUBP2) y bajar desde el piso 3 (BAJP3). Por otro lado, el panel de accionamiento interno cuenta con 4 pulsadores: ir a planta baja (PB), ir a piso 1 (P1), ir a piso 2 (P2), ir a piso 3 (P3).

#### 4 Modelo con Redes de Petri

El diseño de la Red de Petri del sistema ascensor se basa en las especificaciones funcionales y tecnológicas de la parte operativa, expuestas en la sección anterior. Para comprender la Red de Petri diseñada se definen, en primer lugar, las variables de entrada utilizadas para construir las funciones lógicas que determinan el funcionamiento del sistema. Seguidamente, se definen las transiciones y los lugares que posee la red (Cassandras, 2008), (Kuo-Ming, 2001), (MingWei, 2009), (Doui, 2004).

##### 4.1. Notación de variables para llevar la cabina a un piso superior (realizadas desde el panel externo)

*SUBPB*: subir desde planta baja.  
*SUBP1*: subir desde el piso 1.  
*SUBP2*: subir desde el piso 2.

##### 4.2. Notación de variables para llevar la cabina a un piso inferior (realizadas desde el panel externo)

*BAJP3*: bajar desde el piso 3.  
*BAJP2*: bajar desde el piso 2.  
*BAJP1*: bajar desde el piso 1.

##### 4.3. Notación de variables para llevar la cabina a un piso (realizadas desde el panel interno)

*PB*: ir a planta baja.  
*P1*: ir al piso 1.  
*P2*: ir al piso 2.  
*P3*: ir al piso 3.

##### 4.4. Detección de la cabina en alguno de los pisos

*SPB*: sensor que detecta la posición de la cabina en planta baja.

*SP1*: sensor que detecta la posición de la cabina en el piso 1.

*SP2*: sensor que detecta la posición de la cabina en el piso 2.

*SP3*: sensor que detecta la posición de la cabina en el piso 3.

#### 4.5. Notación de las funciones lógicas

Las funciones lógicas a utilizar representan las siguientes acciones implicadas en las transiciones o condiciones de la Red de Petri.

*SCP**B*: solicitud de la cabina en el mismo piso en que se encuentra (planta baja).

*SCP**1*: solicitud de la cabina en el mismo piso en que se encuentra (piso 1).

*SCP**2*: solicitud de la cabina en el mismo piso en que se encuentra (piso 2).

*SCP**3*: solicitud de la cabina en el mismo piso en que se encuentra (piso 3).

*SSC*: solicitud de la cabina para subir.

*SBC*: solicitud de la cabina para bajar.

*PCS*: parada de la cabina si va subiendo.

*PCB*: parada de la cabina si va bajando.

En resumen las funciones lógicas generadas son las siguientes:

Caso 1:

$$SCP_B = SP_B * (PB + SUBPB). \quad (1)$$

Caso 2:

$$SCP_1 = SP_1 * (P_1 + SUBP_1 + BAJP_1). \quad (2)$$

Caso 3:

$$SCP_2 = SP_2 * (P_2 + SUBP_2 + BAJP_2). \quad (3)$$

Caso 4:

$$SCP_3 = SP_3 * (P_3 + BAJP_3). \quad (4)$$

Caso 5:

$$SSC = SP_B * (SUBP_1 + SUBP_2 + BAJP_1 + BAJP_2 + BAJP_3 + P_1 + P_2 + P_3) + SP_1 * (SUBP_1 + BAJP_2 + BAJP_3 + P_2 + P_3) + SP_2 * (BAJP_3 + P_3). \quad (5)$$

Caso 6:

$$SBC = SP_3 * (SUBP_2 + SUBP_1 + SUBPB + BAJP_2 + BAJP_1 + P_2 + P_1 + PB) + SP_2 * (SUBP_1 + SUBPB + BAJP_1 + P_1 + PB) + SP_1 * (SUBPB + PB). \quad (6)$$

Caso 7:  $PCB = SP2 * (BAJP2 + P2 + SUBP2 * (NOT(SUBP1) * NOT(BAJP1) * NOT(P1) * NOT(SUBPB) * NOT(PB))) + SP1 * (BAJP1 + P1 + SUBP1(NOT(SUBPB) * NOT(PB))) + SPB * (SUBPB + PB).$  (7)

Caso 8:

$PCS = SP1 * (SUBP1 + P1 + BAJP1 * (NOT(SUBP2) * NOT(BAJP2) * NOT(P2) * NOT(BAJP3) * NOT(P3))) + SP2 * (SUBP2 + P2 + BAJP2(NOT(BAJP3) * NOT(P3))) + SP3 * (BAJP3 + P3).$  (8)

Una vez presentada la lógica de funcionamiento del sistema ascensor, y habiendo definido las funciones lógicas, se procede a definir los lugares y las transiciones asociadas a la Red de Petri del sistema ascensor.

4.6. Definición de los lugares y transiciones

Los lugares se asocian a los diferentes estados que puede presentar el sistema ascensor durante toda su vida útil. Las transiciones se asocian a las condiciones que presenta el sistema (funciones lógicas, temporizaciones, etc.) para cambiar de un estado a otro. En las Tablas 1 y 2 se definen los lugares y las transiciones de la Red de Petri del sistema ascensor.

Tabla 1. Lugares de la Red de Petri

Nombre	Lugar de la Red de Petri
P1	I: posición inicial del sistema
P2	SC: subiendo cabina
P3	APPB: abriendo la puerta de planta baja
P4	CPPB: cerrando la puerta de planta baja
P5	BC: bajando cabina
P6	DC: cabina detenida
P7	APPB: abriendo la puerta de planta baja
P8	CPPB: cerrando la puerta de planta baja
P9	APP1: abriendo la puerta del piso 1
P10	CPP1: cerrando la puerta del piso 1
P11	APP2: abriendo la puerta del piso 2
P12	CPP2: cerrando la puerta del piso 2
P13	APP3: abriendo la puerta del piso 3
P14	CPP3: cerrando la puerta del piso 3
P15	E: Cabina esperando nuevas solicitudes

Tabla 2. Transiciones de la Red de Petri

Nombre	Transición de la Red de Petri
T1	SSC: solicitud de la cabina para subir
T2	PCS: parada de la cabina si va subiendo
T3	SCPB : solicitud de la cabina en el mismo piso (planta baja)
T4	TP: temporización de 2 segundos
T5	1: condición siempre verdadera
T6	SBC: solicitud de la cabina para bajar

T7	PCB: parada de la cabina si va bajando
T8	SCPCB: solicitud de la cabina en el mismo piso (planta baja)
T9	TP: temporización de 2 segundos
T10	1: condición siempre verdadera
T11	SCP1: solicitud de la cabina en el mismo piso (piso 1)
T12	TP: temporización de 2 segundos
T13	1: condición siempre verdadera
T14	SCP2: solicitud de la cabina en el mismo piso (piso 2)
T15	TP: temporización de 2 segundos
T16	1: condición siempre verdadera
T17	SCP3: solicitud de la cabina en el mismo piso (piso 3)
T18	TP: temporización de 2 segundos
T19	1: condición siempre verdadera

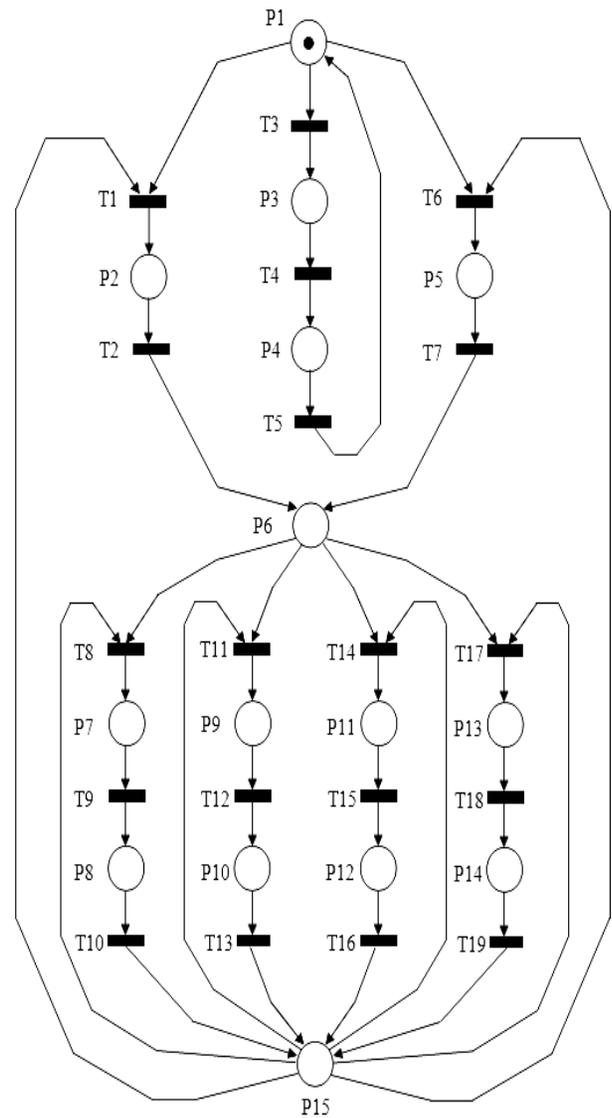


Fig. 2. Red de Petri del sistema ascensor

5 Descripción del Prototipo

El prototipo de ascensor es una representación a escala

de un ascensor real de 4 pisos. Está constituido por una serie de componentes, algunos de ellos elaborados a medida y otros reutilizados, con la finalidad de reducir los gastos implicados en la construcción del mismo.

En las Figs. 3 y 4 se muestran fotografías del prototipo construido indicando las diferentes partes que lo conforman. Para obtener mayor detalle en la construcción del sistema véase el manuscrito de Dugarte (2011).

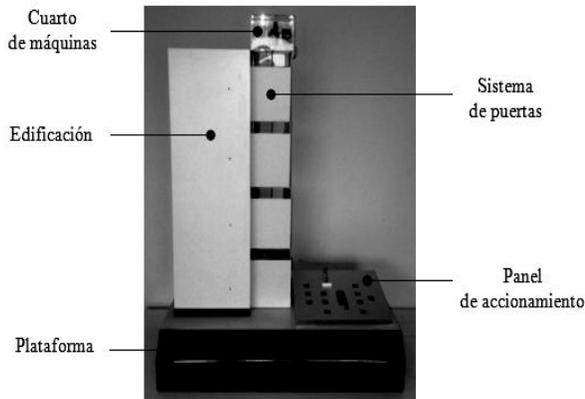


Fig. 3. Vista frontal del ascensor

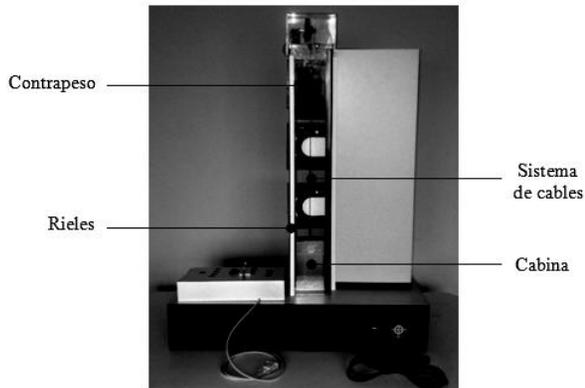


Fig. 4. Vista posterior del ascensor

Se requiere controlar el sistema ascensor y para ello se construyen los circuitos de las Figs. 5, 6 y 7. El significado y construcción de cada circuito se encuentran descritos con detalle en la tesis de Dugarte (2011) y que por razones de espacio no se colocan en el artículo.

### 5.1. Características del programa de control

Para implementar la Red de Petri del ascensor no se requiere del uso de estructuras de datos complejas. Se necesita hacer uso de un lenguaje de programación que permita representar de la manera más efectiva posible el algoritmo de control (Angulo, 1994), (Angulo, 2003), (Huseinbegvic,

2010).

Existen diferentes tipos de lenguajes para programar un microcontrolador, entre los cuales se puede mencionar:

ASSEMBLER, C, C++, BASIC y algoritmos gráficos.

El lenguaje de programación C dispone de las estructuras típicas de los lenguajes de alto nivel y, a su vez, dispone de construcciones del lenguaje que permiten un control a muy bajo nivel. Esta característica posibilita el acceso directo a los dispositivos periféricos de una manera más sencilla e intuitiva que ASSEMBLER.

Aunque no se precisa de un lenguaje de programación particular, para el caso de estudio, el programa de control ha sido codificado en lenguaje C, ya que este lenguaje maneja programación estructurada y modular, y posee algunas características de los lenguajes de bajo nivel, suficientes y necesarias para los propósitos del proyecto.

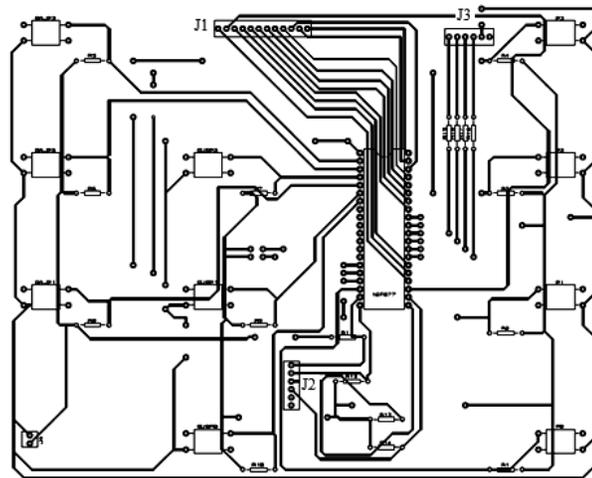


Fig. 5. Circuito impreso del controlador con el PIC

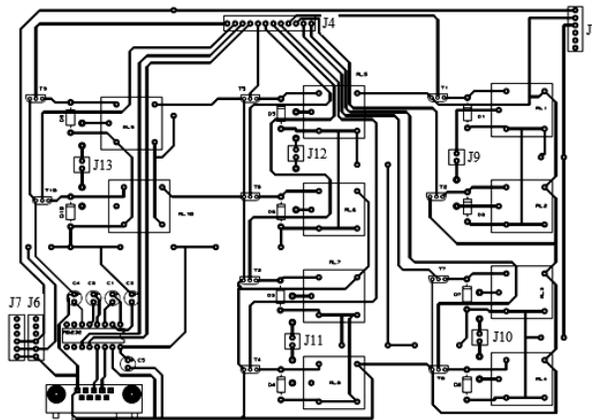


Fig. 6. Circuito impreso de la placa de relés



presentes en el panel virtual. En el caso mostrado, el panel indica que la cabina se encuentra en planta baja (el *display* muestra el número cero) y no existen llamados de cabina de ninguno de los pisos.

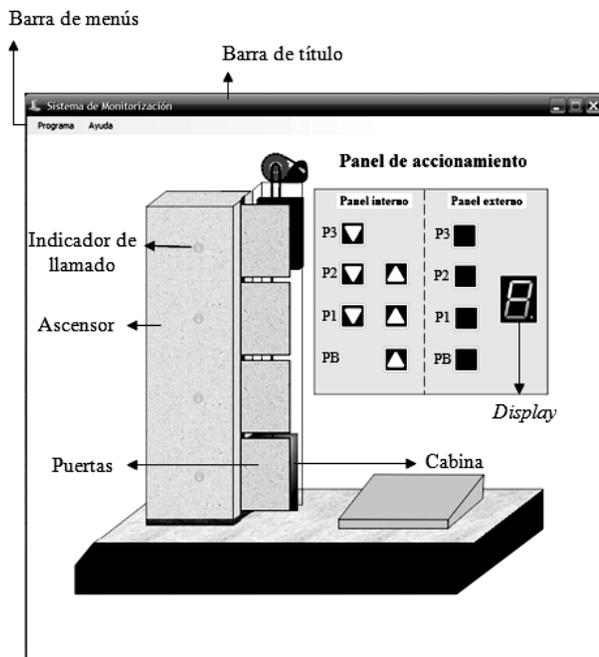


Fig. 9. Ventana principal del sistema de monitorización

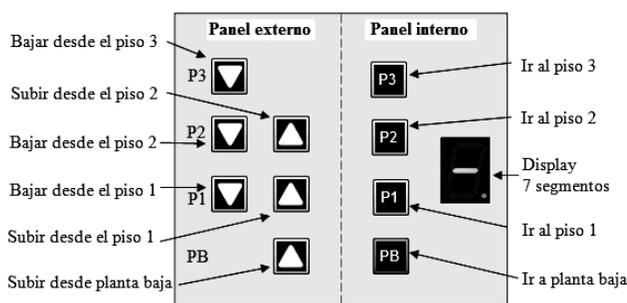


Fig. 10. Descripción del panel de accionamiento virtual

## 7 Resultados obtenidos

El objeto de la realización de las pruebas experimentales es verificar el correcto funcionamiento del sistema ascensor, al generar las órdenes de mando desde el panel de accionamiento físico y/o desde el panel de accionamiento virtual.

## 8 Prueba 1

Se requiere comprobar el correcto funcionamiento del sistema de monitorización cuando se generan las órdenes de mando a través del panel de accionamiento virtual.

### Punto de partida

Cabina en planta baja con todas las puertas cerradas (posición inicial del sistema).

### Órdenes de mando

Para este caso las órdenes de mando son generadas por 4 usuarios: usuario 1, usuario 2, usuario 3 y usuario 4, en el siguiente orden:

El usuario 1, solicita el servicio de la cabina para *subir desde planta baja*.

El usuario 2, solicita el servicio de la cabina para *bajar desde el piso 1*.

El usuario 3, solicita el servicio de la cabina para *bajar desde el piso 2*.

El usuario 4, solicita el servicio de la cabina para *bajar desde el piso 3*.

Una vez puesto en marcha el sistema ascensor, se generan las órdenes de mando descritas en la Prueba 1 haciendo *click* en el panel de accionamiento virtual. Todos los botones que se han presionado: *Subir desde planta baja*, *Bajar desde el piso 1*, *Bajar desde el piso 2* y *Bajar desde el piso 3* se encienden para indicar que existen dichas solicitudes. Además, se encienden los LEDs indicadores de llamada en todos los pisos, ya que los usuarios han solicitado la cabina en los cuatro (4) pisos del ascensor.

En este momento, el prototipo físico y la animación del sistema de monitorización empiezan a moverse de manera sincronizada.

Al inicio, como la cabina está posicionada en planta baja, al presionar el botón *subir desde planta baja*, la puerta se abre, espera unos instantes (2 segundos aproximadamente) y luego se cierra. Al cerrarse la puerta en planta baja, el botón *Subir desde planta baja* y el LED de este piso se apagan debido a que el llamado ya ha sido atendido.

Luego la cabina debe subir hasta el piso 3 para atender el llamado *bajar desde el piso 3*, respetando así la lógica de funcionamiento del Sistema Ascensor en base a la cual se obtuvo el modelo a eventos discretos del mismo.

Nota: Según el algoritmo de control diseñado es mucho más eficiente atender en primer lugar el llamado del piso 3 y luego atender los demás llamados al ir bajando la cabina (se supone que los usuarios desean bajar).

Al llegar al piso 3, se abre la puerta del piso 3 y el usuario 1 entra a la cabina. Al transcurrir unos instantes se cierra la puerta y se apaga el botón *bajar desde el piso 3* y el LED del piso 3.

Seguidamente, la cabina empieza a desplazarse hacia el piso 2 y se detiene para atender el llamado *Bajar desde el piso 2*. En este caso resulta eficiente que la cabina se detenga en el piso 2, ya que la misma va bajando y el usuario 2 desea bajar también.

En el momento en que la cabina llega al piso 2, se debe abrir la puerta, el usuario 2 entra a la cabina y al transcurrir unos instantes se cierra dicha puerta. Al cerrarse la puerta el botón *Bajar desde el piso 2* y el LED del mismo piso deben apagarse.

Posteriormente, la cabina empieza a descender hacia el

piso 1 y se detiene para atender el llamado *Bajar desde el piso 1*.

Por último, cuando la cabina llega al piso 1 se debe abrir la puerta de dicho piso, y al transcurrir unos instantes la misma debe cerrarse. En el momento en que la puerta del piso 1 se cierra, el botón *bajar desde el piso 1* y el LED del piso 1 se apagan.

En este momento el sistema de monitorización y control se encuentra a la espera de nuevas órdenes de mando ya que no existen solicitudes pendientes.

## 9 Prueba 2

Se requiere comprobar el correcto funcionamiento del sistema de monitorización cuando se generan las órdenes de mando a través del panel de accionamiento del prototipo físico.

Punto de partida

Cabina en piso 3 con todas las puertas cerradas.

Órdenes de mando

Para este caso las órdenes de mando son generadas por 3 usuarios, usuario 5, usuario 6 y usuario 7:

El usuario 5 solicita el servicio de la cabina para *Bajar desde piso 3*.

El usuario 6 solicita el servicio de la cabina para *Bajar desde el piso 2*.

El usuario 7 solicita el servicio de la cabina para *Bajar desde el piso 1*.

Cada uno de los usuarios, ya dentro de la cabina, solicitan el servicio *Ir a planta baja*.

Nota: primero se generan las órdenes del panel externo (*Bajar desde el piso 3*, *Bajar desde el piso 2*, *Bajar desde el piso 1*) y luego, estando los usuarios dentro de la cabina, cada uno de ellos genera la orden *Ir a planta baja*.

Para comenzar la Prueba 2, es necesario ubicar la cabina en el piso 3, pues éste es el punto de partida de la experiencia (esto se puede hacer presionando desde el panel de accionamiento virtual o físico los botones: *Ir a piso 3* o *Bajar desde el piso 3*).

Una vez ubicada la cabina en el piso 3, se generan las órdenes de mando descritas en la Prueba 2.

Todos los usuarios se encuentran fuera de la cabina y han generado las solicitudes: *Bajar desde el piso 3*, *Bajar desde el piso 2* y *Bajar desde el piso 1*. Estos botones son encendidos, al igual que los LEDs de los pisos correspondientes a dichos llamados.

Téngase en cuenta que la orden *Ir a planta baja* no ha sido generada (se encuentra apagado el botón *ir a planta baja* y el LED de este piso) debido a que por ahora, ningún usuario se encuentra dentro de la cabina.

Como la cabina se encuentra en el piso 3, y existe el llamado *bajar desde el piso 3*, se abre la puerta del piso 3, el usuario 5 entra a la cabina y al transcurrir unos instantes la puerta se cierra. Tanto el LED como el botón del panel externo del piso 3 se apagan.

Una vez que el usuario 5 está dentro de la cabina, el

mismo genera el llamado *Ir a planta baja*; el botón y el LED de planta baja se encienden.

Luego la cabina debe bajar al piso 2 para atender el llamado *Bajar desde el piso 2*. Según el algoritmo de control diseñado, si la cabina se encuentra bajando, ésta se detiene en los pisos en donde existan llamados para bajar tanto del panel externo como interno.

Al llegar al piso 2, se abre la puerta del piso 3, el usuario 6 entra a la cabina y al transcurrir unos instantes la puerta se cierra. En seguida se apaga el LED y el botón del piso 2.

Ahora, la cabina empieza a desplazarse hacia al piso 1 para atender el llamado *bajar desde el piso 1*. El usuario 6 mientras la cabina está bajando, genera el llamado *Ir a planta baja*. El botón *Ir a planta baja* sigue encendido ya que el usuario 5 también había hecho la misma solicitud.

Cuando la cabina llega al piso 1, se abre la puerta, entra el usuario 7 a la cabina, y luego de unos instantes se cierra dicha puerta. En el momento en que se cierra la puerta del piso 1, el LED y el botón del piso correspondiente se apagan.

La cabina empieza a descender para atender el llamado *ir a planta baja*. El usuario 7, mientras la cabina desciende, también genera la solicitud *Ir a planta baja* (esta solicitud ya ha sido hecho por los usuarios 5 y 6) permaneciendo el botón del panel interno encendido.

Cuando la cabina llega a planta baja, la puerta de planta baja se abre, y los usuarios 5, 6 y 7 salen de la cabina. Al transcurrir unos instantes, se cierra la puerta y se apaga el LED y el botón de este piso.

En estos momentos todos los llamados han sido atendidos satisfactoriamente y el sistema se encuentra en espera de futuras solicitudes.

La ejecución de las pruebas 1 y 2, permite decir que el sistema de monitorización y control del ascensor funciona correctamente de acuerdo al algoritmo diseñado e implementado en el microcontrolador 16F877. Se comprueba que se cumple la lógica de control diseñada con las redes de Petri de la Fig. 2.

## 10 Conclusiones

Se ha comprobado la utilidad de las Redes de Petri como herramienta para modelar sistemas a eventos discretos, que pueden ser materializados en forma sencilla por medio de un lenguaje de programación.

Se realizó la implementación del algoritmo de control en un microcontrolador PIC 16F877, encargado de mantener coordinadas las distintas maniobras que ejecuta el prototipo ascensor construido.

Se elaboró un sistema de monitorización del prototipo ascensor, realizando una aplicación (bajo ambiente Windows) que desde el computador permite reproducir una animación de las operaciones ejecutadas por el prototipo físico.

Se consiguió realizar con éxito el desarrollo de un pro-

toloco de comunicación sencillo entre el microcontrolador PIC 16F877 y el computador a través de su puerto serie.

Se presentó al prototipo de ascensor y el sistema de monitorización elaborado, como ejemplo a pequeña escala de un automatismo secuencial. En consecuencia, el sistema ascensor puede ser usado para fines didácticos en automatización.

A partir del sistema ascensor elaborado se podrán realizar trabajos prácticos en el área de modelado de eventos discretos, bien utilizando la técnica de Redes de Petri o mediante el uso de autómatas finitos.

Dadas las virtudes que presenta el prototipo construido será posible añadir nuevos sensores con otras funcionalidades que permitan, entre otras cosas, hacer detección de fallas y otros modos de operación.

## Referencias

- Angulo J, 1994, Microprocesadores Fundamentos, diseño y aplicaciones en la industria y en los microcomputadores (6ª ed.). Madrid: Paraninfo.
- Angulo J y Angulo I, 2003, Microcontroladores PIC. Tercera Edición. McGraw, Madrid, 2003.
- Angulo J, Romero S y Angulo I, 2006, Microcontroladores PIC Diseño práctico de aplicaciones Segunda parte: PIC 16F87X, PIC 16FXXXX (2ª ed.). Madrid: Mc Graw Hill.
- Cassandras C y Lafortune S, 2008, Introduction to discrete event system (2ª ed.). New York: Springer.
- Córdova A y Alonso F, 2009, Diseño de un controlador lógico de un ascensor para un edificio de cuatro pisos usando un microcontrolador de propósito general. Tesis. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/613>.
- Cheded L y Al Mulla M, 2002, Control of a Four-Level Elevator System using a Programmable Logic Controller. Manchester University [www.manchesteruniversitypress.co.uk/uploads/docs/390110.pdf](http://www.manchesteruniversitypress.co.uk/uploads/docs/390110.pdf)
- Cheón A, Barboza J y Romero, 2008, Elevador de cuatro niveles con tres modos de funcionamiento. de Se encuentra en <http://www.scribd.com/doc/7830296/Elevador-de-4-Niveles>. Fecha de consulta: 17 Febrero, 2010
- Dou L, Zong Q y Wei L, 2004, Modelling and analysis of elevator system based on timed-colored Petri Net. Intelligent Control and Automation. IEEE WCICA 2004.
- Dugarte C, 2011, Diseño e Implementación de un prototipo de ascensor para fines didácticos en Automatización. Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero de Sistemas, Escuela de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Gómez C, 1995, Diseño y construcción de un automatismo secuencial (problema del ascensor). Tesis de grado para la obtención del título de Ingeniero de Sistemas, Escuela de Sistemas, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.
- Huseinbegovic S, Kreso S y Tanovic O, 2010, Development of a distributed elevator control system based on the microcontroller PIC 18F458. Computational Technologies in Electrical and Electronics Engineering (SIBERCON), 2010 IEEE Region 8 International Conference.
- Tutorial Visual C# 2008 Express Edition. <http://msdn.microsoft.com/esve/vcsharp/dd919145.aspx>.
- Kruglinski D, 1998, Programación avanzada con Microsoft Visual C++. Madrid: Mc Graw Hill.
- Palacios E, Dominguez F y López L, 2004
- Kuo-Ming C y Chung-Kai F, 2001, Elevator dynamic simulation using Petri nets. Systems Analysis Modelling Simulation, Vol. 40, Issue 2, Gordon and Breach Science Publishers, USA.
- MingWei T, Wen S y Jie H 2009, Analysis and Modeling of the Elevator System Based on Colored Cyber Net. Software Engineering. IEEE WCSE 2009.
- Rodríguez M y Estrella G, 2009, Montaje y mejoras de prototipo de ascensor de carga usando metodología de diseño de sistemas a eventos discretos mediante redes de Petri. Tesis. <http://repositorio/usfq.edu.ec/handle/23000/1105>.

**Recibido:** 21 de octubre de 2012

**Revisado:** 21 de enero de 2013

**Aguirre-Gil, Iñaki:** Doctor Ingeniero Industrial (España). Profesor Asociado en el Departamento de Sistemas de Control (ULA).

**Gómez, Claudia:** Doctora en Automática e Informática Industrial (Francia). Profesora Asociado en el Departamento de Sistemas de Control (ULA). Correo electrónico: [claudiag@ula.ve](mailto:claudiag@ula.ve).

**Dugarte, Carlos:** Ingeniero de Sistemas (en ejercicio) egresado de la Universidad de Los Andes, por la opción Control y Automatización. Correo electrónico: [cdlogix@gmail.com](mailto:cdlogix@gmail.com).

