



Ciencia e Ingeniería Neogranadina

ISSN: 0124-8170

revistaing@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada

Colombia

Rosso Mateus, Andrés Enrique; Soriano, José Jairo  
SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE PARA UN GRUPO DE ELEVADORES  
Ciencia e Ingeniería Neogranadina, vol. 18, núm. 2, diciembre, 2008  
Universidad Militar Nueva Granada  
Bogotá, Colombia

Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=91100207>

- Cómo citar el artículo
- Número completo
- Más información del artículo
- Página de la revista en redalyc.org

redalyc.org

Sistema de Información Científica  
Red de Revistas Científicas de América Latina, el Caribe, España y Portugal  
Proyecto académico sin fines de lucro, desarrollado bajo la iniciativa de acceso abierto

## SISTEMA DE CONTROL INTELIGENTE PARA UN GRUPO DE ELEVADORES

### SYSTEM OF INTELLIGENT CONTROL FOR A GROUP OF ELEVATORS

*Andrés Enrique, Rosso Mateus*

*Ingeniero De Sistemas, Universidad Distrital Francisco José de Caldas  
Laboratorio De Automática, Microelectrónica e Inteligencia Computacional, LAMIC  
Bogotá, Colombia, andresrosso@gmail.com*

*José Jairo, Soriano*

*Ingeniero Electrónico Universidad Distrital, Ingeniero Químico Universidad Nacional de Colombia,  
Magíster en Ingeniería Eléctrica con énfasis en Control Automático Universidad de los Andes,  
Doctorando Programa de Ingeniería Química Universidad Nacional de Colombia. Docente Universidad  
Distrital Francisco José De Caldas de Bogotá, Colombia, josoriano@udistrital.edu.co*

**Fecha de recepción:** 29 de septiembre de 2008

**Fecha de aprobación:** 15 de diciembre de 2008

## RESUMEN

En este artículo se trata el problema del tráfico vertical en edificios de gran altura y se describe el análisis, diseño y evaluación de un sistema de control para un grupo elevadores que busca mejorar el desempeño respecto a un sistema de control tradicional. El controlador propuesto busca asignar de una forma inteligente las llamadas que se generan a los ascensores que hacen parte del grupo, el desempeño del sistema se traduce en una reducción de los tiempos de servicio y de la energía que invierte el sistema. El controlador propuesto está basado en lógica difusa y las reglas de inferencia expresan el conocimiento de un experto orientado hacia la obtención de los objetivos mencionados. El controlador inteligente se evalúa en un simulador gráfico desarrollado para este fin, este simulador permite ingresar parámetros de configuración para que se adapte y represente una edificación real. Se corrieron dos simulaciones, una usando un controlador convencional y otra usando el controlador inteligente, esto con el fin de comparar su desempeño y cuantificar valores como tiempo de esperar de los usuarios y energía consumida por el sistema.

**Palabras clave:** Simulación, controlador de grupo de elevadores, controlador de grupo inteligente, lógica difusa, controlador difuso.

## ABSTRACT

This paper shows the problem of the vertical traffic in buildings of great height and describes the analysis, design and evaluation of a control system for an elevator group that seeks to improve the performance with regard to a system of traditional control. The proposed controller seeks to assign in an intelligent way the calls which are generated to the elevators that are part of the group. The performance of the system is translated in a reduction of the service time and the inverted energy. The proposed controller is based on fuzzy logic, and the inference rules express the knowledge of an expert orientated towards to obtain the mentioned aims. The intelligent controller is evaluated in a graphical simulator developed for this purpose, this simulator allows inputting parameters of configuration in order to represents a real building. To test the controller two simulations were made, the first one was using a conventional controller and the second was using an intelligent controller, this in order to compare the performance and to quantify the values like, time of waiting by the users and the energy consumed by the system of each controller.

**Key words:** Simulation, elevator group controller, intelligent group controller, fuzzy logic, fuzzy controller.

## INTRODUCCIÓN

Debido al precio del terreno y a la densidad de población en las grandes ciudades, el uso de construcciones verticales ha ido aumentando drásticamente. Un ejemplo de este tipo de edificaciones es la torre del edificio “Taipei 101”, ésta con sus 101 pisos puede llegar a albergar oficinas para 12.000 personas, permitiendo así un mejor aprovechamiento del terreno y dándole un respiro a los problemas de sobrepoblación en ciudades como Taiwán.

Pero esta expansión vertical genera la siguiente pregunta ¿Cómo transportar eficazmente un número tan elevado de usuarios? El transporte de estos tiende a complicarse debido a la gran demanda del sistema y a la considerable distancia que deben recorrer los ascensores para atender las llamadas de los usuarios.

Si se trasladara un sistema de ascensores convencional –como el usado en oficinas o en viviendas- a un escenario como el de la torre “Taipei 101” se encontraría que es ineficiente para atender las llamadas de este número elevado de usuarios, además de esto, llévase este escenario a una hora en la que todos los usuarios se dirijan en su mayoría a un mismo destino, como por ejemplo la hora del medio día -hora de almuerzo-, a esta hora la mayoría de las llamadas se dirigen hacia el primer piso y existen llamadas desde casi cada piso del edificio, en estas condiciones muy probablemente el sistema

colapsaría haciendo muy elevados los tiempos de espera de los usuarios, dando como resultado que la mayoría de las llamadas se pierdan por abandono del usuario.

Por este motivo se hace necesario buscar métodos alternativos para el control de tráfico en edificaciones de una altura considerable, 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. Pero este servicio debe ser prestado de una forma eficiente, tres criterios que se tuvieron en cuenta en este trabajo de investigación para garantizar la eficiencia, son [5]:

- a) **Tiempo de espera:** Es el tiempo que el pasajero debe esperar desde que hace la llamada hasta que el ascensor lo recoge.
- b) **Tiempo de viaje:** Es el tiempo que gasta el pasajero hasta llegar a su piso destino.
- c) **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 tres criterios se convierten en los objetivos del sistema y se intentaran minimizar con la ayuda de la lógica difusa, como herramienta de la inteligencia artificial.

## 1. MATERIALES Y MÉTODOS

La complejidad combinatorial y la naturaleza estocástica que se encuentran en el problema de controlar un grupo de elevadores, han hecho que investigadores dirijan su esfuerzo hacia esta área.

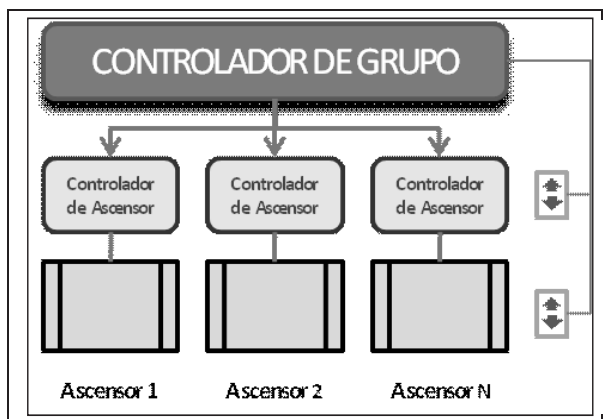
Los controladores convencionales usan el principio de aproximación, en el cual el ascensor más cercano y que va en la misma dirección es el encargado de atender la llamada. El resultado de este método de control es que todos los ascensores tienden a agruparse y a competir por las mismas llamadas, lo que se observa es que los elevadores terminan llegando al mismo piso casi en el mismo instante de tiempo.

Otros controladores se especializan en los patrones de tráfico de la edificación, por ejemplo el algoritmo de zona dinámica permite responder adecuadamente a patrones de tráfico de tipo Pico De Subida y Pico de Bajada, en donde la mayoría de las llamadas se dirigen del primer piso a uno más alto y de los pisos más altos al piso primero respectivamente, el problema con estos algoritmos es que no se pueden adaptar a otros patrones de tráfico.

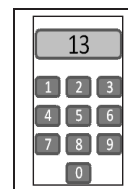
Actualmente se usan técnicas como Aprendizaje Reforzado [10] que se aproxima a la programación dinámica (DP) pero son necesarias cerca de 60.000 simulaciones para hacer converger los resultados hacia un patrón de tráfico –por ejemplo Pico de Bajada-, los Algoritmos Genéticos [9] son otra técnica usada para resolver el problema haciendo uso de cromosomas y que con operaciones como la selección, el cruce y la mutación hacen evolucionar el sistema para mejorar el desempeño del controlador, pero con un costoso desempeño computacional.

### 1.1. SISTEMA DE CONTROL PARA UN GRUPO DE ELEVADORES

La estructura general del sistema de control para grupo de ascensores está ilustrada en la figura 1. En el sistema de elevador hay dos tipos de llamadas: llamadas de piso y llamadas de ascensor. La llamada de piso se registra en cada piso del edificio y solo indica la dirección a la que se dirige el usuario. La llamada de ascensor registra el piso al que se dirige el pasajero que está en el ascensor.



**Figura 1.** Estructura general de un sistema de control para un grupo de ascensores.



**Figura 2.** Matriz de botones para registrar llamada en piso.

En el sistema de la Figura 1 hay dos tipos de controlador, el controlador de ascensor que es el encargado del movimiento del ascensor y el controlador de grupo que basado en la información del sistema determina cual ascensor podría atender mejor la llamada. Pero el sistema tiene la desventaja que cuando se hace una llamada de piso sólo se conoce la dirección de esta y el piso origen, haría falta conocer el piso destino para tener la información completa. Para obtener esta información se propone en lugar de tener dos botones para indicar la dirección del pasajero, tener una matriz de botones similar a la usada en los teléfonos (Figura 2), en la cual el pasajero pueda indicar el piso destino antes de ingresar al ascensor y que con esta información el controlador

determine cual ascensor atenderá la llamada de una forma mas apropiada teniendo en cuenta el recorrido que debe hacer.

### 1.2. ALGORITMO DE CONTROL CONVENCIONAL

El algoritmo de control convencional es el más usado en las edificaciones debido a la sencillez de su implementación, un algoritmo de este tipo se encuentra fácilmente en edificios residenciales y en algunos edificios de oficinas. Este algoritmo sigue el principio de proximidad, es decir que si dos ascensores compiten por una llamada el que la atienda será aquel que se encuentre más cerca de la misma y que además lleve la misma dirección que el pasajero.

Desde esta perspectiva el único criterio de desempeño para el algoritmo de control convencional es 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.

### 1.3. ALGORITMO BASADO EN LÓGICA DIFUSA

El algoritmo basado en lógica difusa busca mejorar el desempeño que se obtiene con un algoritmo de control convencional, de este modo se intentan corregir las siguientes debilidades encontradas en el controlador convencional:

- a) El algoritmo no tiene en cuenta otros criterios de desempeño que ayudarían a mejorar la eficiencia del sistema, como por ejemplo consumo de energía y tiempo de viaje.
- b) Teniendo en cuenta solamente la posición del ascensor no es posible determinar cual elevador del grupo podría atender mejor la llamada.

Lo anteriormente expuesto supone una serie de objetivos y además unos criterios de decisión que deben ser evaluados en un mismo momento para determinar cual ascensor podría atender eficientemente la llamada generada en el sistema.

La lógica difusa permite la inclusión de varios objetivos que serán evaluados simultáneamente como reglas de decisión, los objetivos que se consideran en este caso son:

- Minimizar el tiempo de espera de los pasajeros.
- Minimizar el tiempo de viaje de los pasajeros.
- Minimizar el consumo de energía de los elevadores.

#### 1.4. INTRODUCCIÓN A LA LÓGICA DIFUSA

La mayoría de los fenómenos que se encuentran a diario son imprecisos, es decir, tienen implícito un cierto grado de difusidad en la descripción de su naturaleza. Esta imprecisión puede estar asociada con su forma, posición, momento, color, textura.

Un día cálido en invierno no es exactamente lo mismo que un día cálido en primavera. La definición exacta de cuando la temperatura va de templada a caliente es imprecisa [1]. La idea de una lógica multi-valuada ha estado presente desde principios del siglo XX. Charles Sanders Pierce (1839-1914) fue uno de los primeros pensadores que se interesaron en la vaguedad o incertidumbre, él no creía en la separación entre verdad y falsedad y postuló que la incertidumbre era un grado entre estos dos estados.

Posteriormente en 1965, Lotfi Zadeh, profesor de la Universidad de California en Berkley, presentó una publicación en donde formalmente definía la teoría de conjuntos difusos a partir de la cual derivó la lógica difusa. Zadeh extendió la clasificación lógico-Aristotélica del “Todo o Nada”, con una lógica que permite grados entre verdad y falsedad. [2]. Esta generalización de la lógica clásica, hace que la pertenencia de un objeto a un conjunto no se restrinja a 0 o 1, sino que pueda tomar valores intermedios, permitiendo que los valores de verdad de una proposición sean un número que pertenece al intervalo  $[0, 1]$ , esta generalización hace posible realizar razonamiento aproximado permitiendo acercar la matemática al lenguaje impreciso del hombre, que contiene términos vagos como “mucho”, “poco”, “tibio”, etc.

El razonamiento difuso esta descrito en reglas de este tipo: “Si X es A Entonces Y es B” [7], este lenguaje es simple y se asemeja al usado cotidianamente, al utilizar este lenguaje es posible describir las reglas de decisión que evalúa el sistema para obtener la eficiencia deseada. Estas reglas de inferencia se combinan no de manera igual, sino que cada una tiene asociado un peso que es la importancia de dicha regla, el proceso para desarrollar el controlador difuso se expone a continuación.

#### 1.5. PROPIEDADES DEL CONTROLADOR BASADO EN LÓGICA DIFUSA

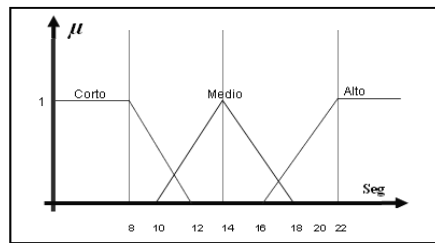
Para el desarrollo del controlador difuso se requiere inicialmente definir los conjuntos de entrada y de salida del sistema que proporcionan las correspondientes funciones de membresía, estas están representadas por conjuntos de tipo trapezoidal debido a su eficiencia computacional.

Teniendo en cuenta que el objetivo del controlador es reducir el tiempo de espera y aumentar el ahorro de energía del sistema, se identifican los siguientes conjuntos de entrada de acuerdo a un procedimiento heurístico que definió los valores de estos:

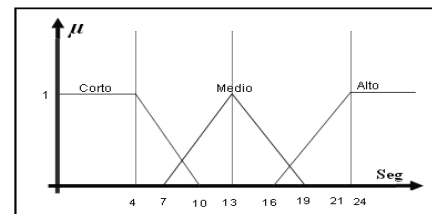
### 1.5.1. Conjuntos de Entrada

**Tiempo de espera (W):** Representa el tiempo que debe esperar el pasajero para que llegue el ascensor a atender su llamada, ver Figura 3.

**Tiempo de viaje (R):** Comprende el tiempo que permanece un pasajero dentro del ascensor, hasta ser transportado a su piso destino, ver Figura 4.



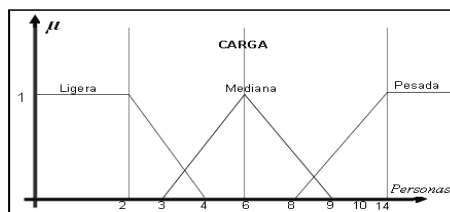
**Figura 3.** Función de pertenencia; Tiempo de espera



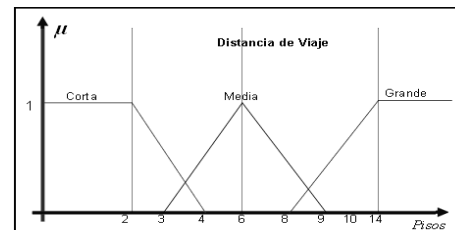
**Figura 4.** Función de pertenencia; Tiempo de Viaje.

**Carga (L):** Entendido como el número de pasajeros que se encuentran dentro del ascensor en determinado momento, ver Figura 5.

**Distancia de viaje (T):** Distancia que existe entre la posición actual del elevador y el piso en el que se generó la llamada, está dada en términos de pisos, ver Figura 6.



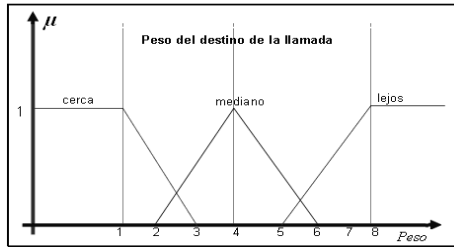
**Figura 5.** Función de pertenencia; Carga



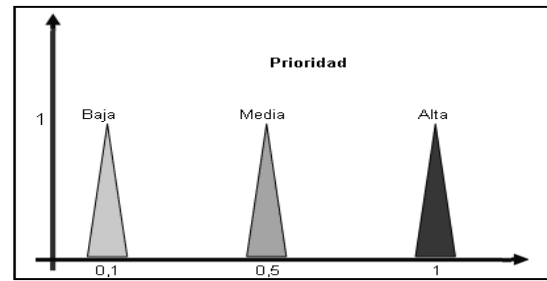
**Figura 6.** Función de pertenencia; Distancia de Viaje

**Peso del destino de la llamada (D):** Teniendo en cuenta que cada ascensor compite por tomar la llamada, el peso de destino de ésta es la importancia que cada ascensor le da al destino de llamada, por ejemplo si un ascensor tenía encolada una llamada a este mismo piso, el peso de esta llamada va a ser alto, ver Figura 7.





**Figura 7.** Función de pertenencia; Peso del destino de la llamada.



**Figura 8.** Función de pertenencia; Prioridad de la llamada.

### 1.5.2. Conjuntos de Salida

Los conjuntos de salida del controlador, son la prioridad que cada ascensor le da a una llamada específica, el ascensor que tenga la prioridad más alta, será el que al final se haga cargo de ésta, Figura 8.

**Prioridad (P):** Representa la importancia de la llamada respecto a un ascensor específico, esta importancia mide la eficacia con la que el ascensor puede atender la llamada, Figura 8.

### 1.5.3 Reglas de Inferencia

Las reglas de inferencia difusas son las que avalúan la conveniencia en cada ascensor para tomar la llamada de acuerdo a los objetivos que se plantean en un principio, estas reglas escritas en lenguaje humano representan el conocimiento de un experto, tabla

**Tabla 1.** Reglas de inferencia difusas

REGLAS DE INFERENCIA		PESO
R1	Si el Tiempo de espera es CORTO entonces la prioridad es ALTA	0,7
R2	Si el Tiempo de espera es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA	0,7
R3	Si el Tiempo de espera es ALTO entonces la prioridad es BAJA	0,7
R4	Si el Tiempo de viaje es CORTO entonces la prioridad es ALTA	0,4
R5	Si el Tiempo de viaje es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA	0,4
R6	Si el Tiempo de viaje es ALTO entonces la prioridad es BAJA	0,4
R7	Si la Carga es LIGERA entonces la prioridad es ALTA	0,5
R8	Si la Carga es MEDIANA entonces la prioridad es MEDIA	0,5
R9	Si la Carga es PESADA entonces la prioridad es BAJA	0,5
R10	Si la Distancia de Viaje es CORTA entonces la prioridad es ALTA	0,5
R11	Si la Distancia de Viaje es MEDIA entonces la prioridad es MEDIA	0,5
R12	Si la Distancia de Viaje es GRANDE entonces la prioridad es BAJA	0,5
R13	Si el Peso del destino de la llamada es CERCA entonces la prioridad ALTA	0,4
R14	Si el Peso del destino de la llamada es MEDIANO entonces la prioridad ALTA	0,4
R15	Si el Peso del destino de la llamada es LEJOS entonces la prioridad BAJA	0,4

#### 1.5.4. Defusificación

Una vez evaluadas las reglas de inferencia y obtenido el resultado es necesario llevar esta salida difusa a un valor numérico para saber cual de los elevador tiene la prioridad mas alta. El proceso por el cual se halla la salida del controlador se llama defusificación [7], entre los numerosos métodos que existen se escogió el Método Del Centro de Área (ecuación 1) por eficiencia computacional.

$$Z^* = \frac{\sum_{j=1}^q z_j \mu_c(z_j)}{\sum_{j=1}^q \mu_c(z_j)} \quad (1)$$

En donde q es el número de niveles de cuantización de salida,  $Z_j$  es la suma de las salidas de control en el nivel de cuantización j y  $\mu_c(Z_j)$  representa los valores de la función de membresía en c. Este método asigna el centro del área de la salida difusa final al valor defusificado. El centro de área también es llamado centro de gravedad o centroide [7].

## 2. RESULTADOS Y ANÁLISIS

Para evaluar el comportamiento del controlador difuso propuesto, se desarrolló un programa de simulación gráfico adaptable a cualquier tipo de edificio y con parámetros configurables [4] –ver Figura 10-. El interés del simulador es representar de una manera sencilla y adaptable las características más importantes de una edificación con respecto al tráfico existente en su interior [6], se define el tráfico en una edificación como la dinámica de pasajeros que existe en la edificación a través del tiempo.

Debido a la necesidad de probar el algoritmo de control en edificaciones reales, se modeló el edificio de la Tour Europe - en Paris- [3], los datos estadísticos que representan el patrón de tráfico en la edificación fueron obtenidos de una investigación realizada en Finlandia [3], estos datos se tabulan y se ingresan como parámetros al simulador.

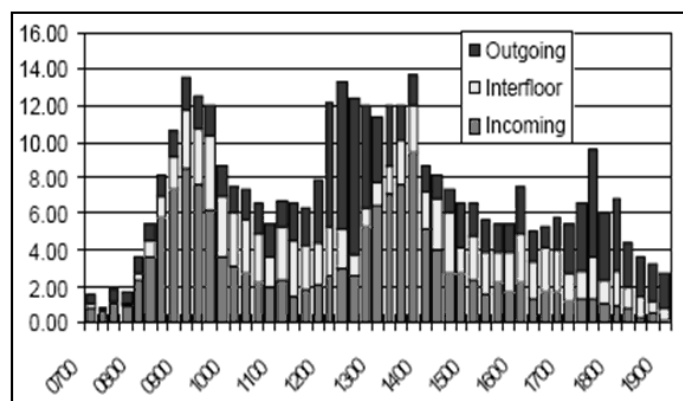
### 2.1. PATRONES DE TRÁFICO TOUR EUROPE -PARIS-

Los patrones de tráfico datos muestran la tendencia que hay en los desplazamientos de las personas dentro de un edificio a lo largo de un día. Los patrones de tráfico son divididos como se muestra en la Figura 9.

**Tráfico de entrada (incoming):** Es el tráfico que se presenta cuando la tendencia es desplazarse desde los pisos por los que se entra a la edificación, hacia los pisos altos.

**Tráfico de salida (outgoing):** Cuando la tendencia es desde los pisos altos hacia los pisos de salida.

**Tráfico entrepisos (interfloor):** Cuando la tendencia es movilizarse entre pisos intermedios.



**Figura 9.** Tráfico Consolidado

**Fuente:** Elevator Simulation and Control. KONE Elevators 2004

La figura 9 muestra la intensidad de tráfico de pasajeros medida cada 20 minutos en el edificio de la Tour Europe, las franjas de cada barra representan el patrón de tráfico presente y su porcentaje sobre el total del tráfico característico en el intervalo de tiempo dado.

## 2.2. SIMULACIÓN

Teniendo el modelo de un sistema real se ejecuta la simulación tanto para el controlador convencional como para el controlador propuesto –Controlador Basado en Lógica Difusa– y los resultados estadísticos arrojados en cada simulación se comparan entre sí para verificar la eficiencia de los controladores, a continuación en la figura 10 se muestra como se ejecutaría la simulación .

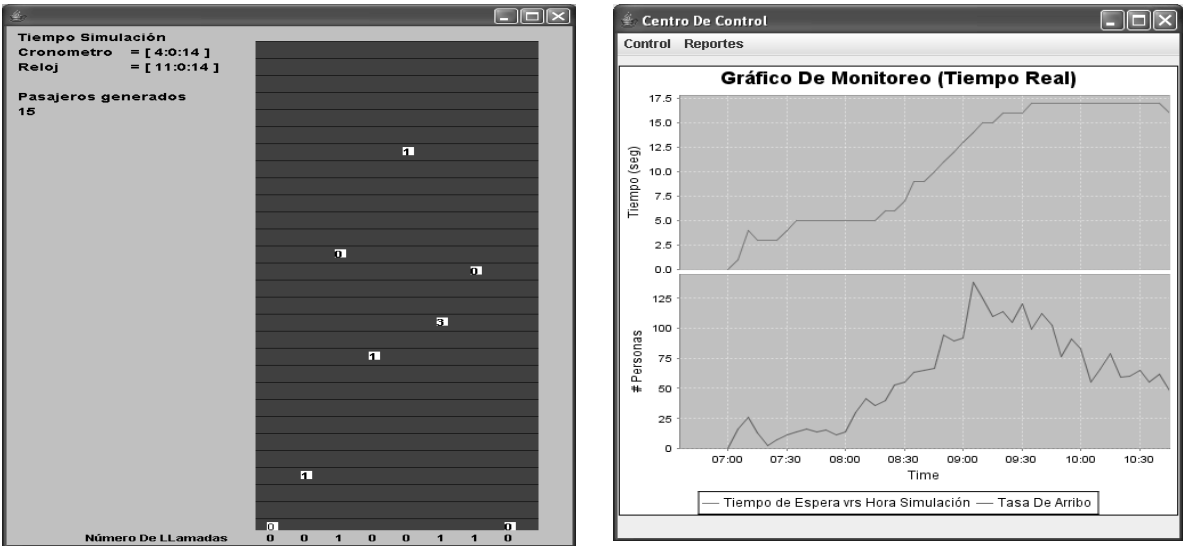


Figura 10. Simulador de Edificio.

El proceso por el cual el controlador difuso hace la elección del ascensor más indicado para atender las llamadas sigue las reglas de la lógica difusa expuestas en la tabla 1, para demostrar cómo se ejecuta esta lógica y comparar esta elección con la elección que tendría un controlador convencional, se presentan los siguientes ejemplos.

**Ejemplo 1.** En las figuras 11 y 12 las flechas indican la dirección del ascensor, el círculo negro indica las llamadas que cada ascensor debe atender, y el triángulo blanco indica que una llamada nueva se ha generado con el piso destino marcado con el círculo blanco. Por ejemplo en la figura 11 se puede observar que el elevador 1 está en el piso 3, y se mueve hacia arriba, este ascensor tiene dos llamadas dentro del ascensor en el piso 8 y 9. Y una nueva llamada de piso es iniciada en el piso 5 donde el destino es el piso 14.

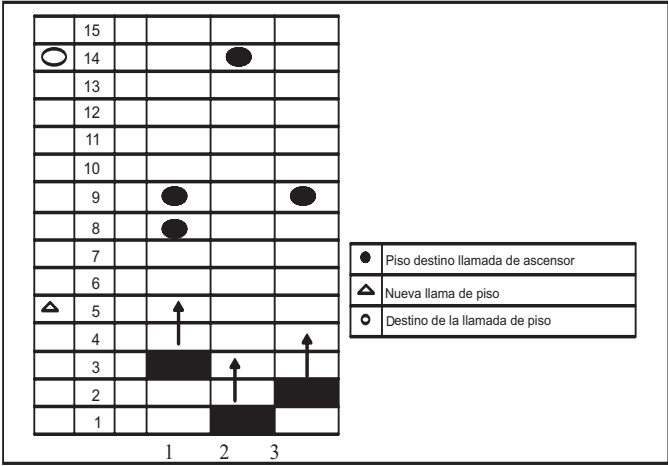


Figura 11. Condiciones iniciales ejemplo 1.

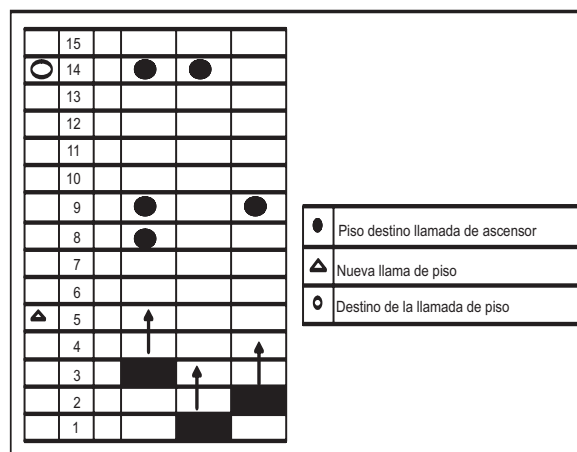
Teniendo estas condiciones el controlador convencional el cual es orientado por distancia, asignará la llamada al ascensor que se encuentre más cerca, que en este caso es el ascensor 1.

Por otro lado el controlador basado en lógica difusa la asignará al elevador 2, debido a que al avaluar la regla 13 “Si el Peso del destino de la llamada es CERCA entonces la prioridad ALTA” tendrá un valor mayor para este ascensor que el ascensor 1, debido a que el ascensor 2 se dirige hacia el piso 14 de todas formas.

En términos de distancia de viaje se ve una reducción considerable comparada con la lógica convencional. Ya que el elevador 1 solo se detendrá en el piso 9 y no el 14, obteniendo así también un ahorro de energía apreciable.

**Ejemplo 2.** Las condiciones iniciales en este ejemplo son las mismas excepto que el elevador 1 tiene tres llamadas de ascensor en los pisos 8,9,14 - ver figura 12-. Si una nueva llamada es generada en el piso 5 y su destino es el piso 14, el controlador convencional seleccionará al elevador 1 (por proximidad), en cambio el controlador difuso al evaluar las reglas de control encontrará que el peso destino de la llamada es igual para el elevador 1 y 2, y que de acuerdo con la regla 4 “Si el Tiempo de viaje es CORTO entonces la prioridad es ALTA” es más efectivo enviar la llamada al elevador 2, al final el ascensor con más prioridad es el 2.

Como se ve el elevador 1 tiene 3 paradas antes de llegar al piso 14, esto hace que se demore más tiempo en llegar a su destino, pero el elevador 2 no tendría sino que recoger al nuevo pasajero y lo llevaría hasta su piso destino sin parar en ningún otro piso. Esto se traduce en un tiempo de viaje más corto para el pasajero comparado con el que tendría si se usara el elevador 1.



**Figura 12.** Condiciones iniciales ejemplo 2

Después de correr la simulación durante 3 horas 15 minutos con la edificación modelada, se obtuvo el siguiente desempeño para cada uno de los controladores, los resultados se muestran en la tabla 2.

**Tabla 2.** Resultados obtenidos

Ítem	C. Convencional	C. Inteligente	Ahorro
Tiempo De Espera	16.72seg	7.62seg	56%
Energía Consumida	20.486 pisos	14.734 pisos	28%
Tiempo De Viaje	70.24seg	61.37seg	12%

### 3. CONCLUSIONES

En este artículo se desarrolló y evaluó bajo simulación un algoritmo de control para un grupo de elevadores basado en lógica difusa. El desempeño de este algoritmo se comprobó haciendo uso del simulador gráfico desarrollado [4] y se comparó con el desempeño presentado por un controlador convencional.

Se logró reducir el tiempo de espera de los pasajeros, el tiempo de viaje de éstos y también hubo un ahorro en la energía consumida por el sistema, esta mejora en la eficiencia del sistema se obtuvo gracias a que el algoritmo de control propuesto trabaja sobre una base de reglas que incluyen implícitamente los objetivos de control: 1) Minimizar el tiempo de espera de los pasajeros, 2) Minimizar el tiempo de viaje de los pasajeros, 3) Minimizar el consumo de energía de los elevadores.

El controlador basado en lógica difusa debe conocer el piso origen y el piso destino de la llamada para hacer una estimación mas acertada y poder cumplir los objetivos de control. Para obtener el piso destino de la llamada de cada pasajero se propone colocar en cada piso en donde el usuario llame el ascensor una matriz de botones para que éste indique el piso hacia el que se dirige.

El ahorro de energía cuantificado en el edificio simulado es de 720.000 KW/Año, lo que corresponde a un ahorro de más o menos 70 millones de pesos si se usara el controlador basado en lógica difusa en lugar de un controlador convencional, esto teniendo en cuenta que el valor del KW/Año es de \$262 pesos para Colombia en el año 2007.

El controlador presentó además un buen desempeño computacional que no impediría llevar este algoritmo a la práctica.

Como trabajo futuro se propone desarrollar una red neuronal que permita adaptar las reglas de inferencia a las condiciones del sistema o los objetivos de control. Por ejemplo sería importante detectar el patrón de tráfico del edificio y con esta información

modificar la base de conocimiento para mejorar aun más el desempeño. También se podría definir qué objetivo de control es más importante dependiendo de la hora del día, digamos después de las 5pm cuando el tráfico es bajo, puede ser más útil reducir el consumo de energía que el tiempo de viaje de los pasajeros, la red neuronal tomaría las condiciones del sistema y la prioridad del objetivo de control como entradas y con base en esto definiría la prioridad de cada regla de inferencia para alcanzar este objetivo.

El proyecto está disponible para toda la comunidad [8], allí se encuentra la implementación hablada en este artículo.

### REFERENCIAS

- [1] CALVIÑO HERNÁNDEZ, MANUEL. Aclarando la Lógica Borrosa (Fuzzy Logic). Revista Cubana de Física, Vol. 20, N°. 2, 2003.
- [2] DRIANKOV D., HELLENDORF H. An Introduction to Fuzzy Control (context). Pages 316, 1996.
- [3] MARJA-LIISA, SIIKONEN. Elevator Simulation and Control. KONE Elevators 2004.
- [4] ROA SYLVIA, ANDRES ROSSO. Diseño Desarrollo E Implementación De Un Sistema De Control Inteligente Para Un Grupo De Elevadores Y Simulador Para Edificio. Tesis de Grado en Ingeniería de Sistemas Universidad Distrital F. J. C.
- [5] SIIKONEN MARJA-LIISA. Planning And Control Models For Elevators In High-Rise Buildings. Doctoral thesis, Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research Reports A68 October 1997.
- [6] WIENER NORBERT, ROSENBLUTH ARTURO,. The Role of Models in Science. Philosophy of Science, XII Nro 4 (Octubre 1945) 316-321.
- [7] WANG, L.X. A Course In Fuzzy Systems And Control. Prentice Hall 1997.
- [8] WEB SITE ELEVATOR. <http://sourceforge.net/projects/elevator/>
- [9] YLINEN, TYNI. Improving the performance of Genetic Algorithms with aGene Bank. Proceedings of EUROGEN99, Report A2/1999, University of Jyväskylä, Finland, pages 162-170, 1999.
- [10] ZUTTON R.S. BARTO A.G., 1998. Reinforcement learning: An introduction. MIT press.