

TESIS DE MAESTRÍA

**Diseño y Desarrollo de un
Controlador de Grupo Ascensor
Inteligente Basado en Sistemas
MultiAgente**

ANDRES ENRIQUE ROSSO MATEUS

16 de Enero de 2013

Dean

Prof. Dr. Julian Mauricio Angel

Referees

Prof. Dr. aaa bbb

Prof. Dr. xxx yyy

Date of the graduation (optional)

xx.yy.zzzz

Dedication, cite from a famous person, or whatever you like
(optional)

Contents

Abstract	1
1 Introducción	3
1.1 Definición del Problema	4
1.2 Objetivos	5
1.2.1 Objetivo General	5
1.2.2 Objetivos Específicos	5
2 Marco Teórico	7
2.1 Controladores	7
2.1.1 Controlador Basado en Lógica Difusa (CBLD)	7
2.1.2 Controlador Basado en Optimización Robusta (CBOR)	7
2.1.3 Optimización Por Colonia De Hormigas (OCH)	7
2.1.4 Controlador Híbrido Para Grupo De Ascensores (CHGA)	8
2.1.5 Control Mediante aprendizaje reforzado (CMAF).	8
2.2 Simulación	8
2.2.1 Técnicas de Simulación	9
2.3 Simuladores de Tráfico Vertical	11
2.3.1 Tráfico Vertical	12
2.3.2 Determinación y Predicción de Tráfico	13
2.4 Controladores de Grupo de Elevadores	14
2.4.1 Criterios de Optimización en el Transporte Vertical	15
2.4.2 Técnicas De Control	16
2.5 Sistemas Multi Agente	18
3 Simulador	21
3.1 Diseño de la Simulación	22
3.1.1 Análisis Sistémico	22
3.1.2 Componentes del Sistema	23
3.1.3 Consideraciones de Diseño	23
3.1.4 Técnica de Simulación Escogida	24
3.1.5 Proceso General De La Simulación	24
3.1.6 Variables de Simulación	25
3.1.7 Valores Comunes Para la Simulación	29
3.1.8 Componentes del Simulador	29

3.2	Implementación de la Simulación	30
3.2.1	Principios de Diseño	30
3.2.2	Componentes de Software del Simulador	31
3.2.3	Modelo de Clases	38
3.2.4	Dinámica de Arribo de Pasajeros	38
3.2.5	Diseño del Controlador de Grupo de Elevadores	39
3.2.6	Criterios De Desempeño	40
4	Modelo Multi Agente	43
4.0.7	Descripción General De Los Agentes	43
4.0.8	Descripción de Entidades Externas	44
4.0.9	Descripción del Ambiente	44
4.0.10	Descripción Detallada de Agentes	45
4.0.11	Interacciones	48
5	Resultados	61
5.0.12	Introducción	61
5.0.13	Parámetros de la Simulación	61
5.0.14	Asignador de LLamada EGCS Basado en IA	62
5.0.15	Resultados de la Simulación	65
6	Conclusiones y Trabajo Futuro	71
6.1	Conclusiones	71
6.2	Trabajo Futuro	71
	Acknowledgments	73
7	Apendix	75
7.1	Código fuente	75
7.2	Definiciones Principales	75
7.3	The next section	75
	Bibliography	77

Abstract

Abstract/Summary text

1 Introducción

Actualmente las edificaciones de gran altura enfrentan el problema de transportar satisfactoriamente a los usuarios entre los pisos. Este transporte tiende a complicarse debido a la gran demanda que tiene el sistema y la considerable distancia que deben recorrer los ascensores. Entre los factores más importantes que impulsan el aumento de construcciones de gran altura están:

- Escasez de terrenos disponibles.
- Alto precio de los terrenos.
- Densidad poblacional.
- Nuevas tendencias.

Las edificaciones de gran altura existen gracias a la eficiencia de los sistemas de elevadores y no viceversa. En un contexto funcional el sistema de elevadores es la arteria principal del edificio.

Fue después que Elijah Graves Otis inventó el sistema de gobierno de velocidad para elevadores y el sistema seguro de frenado para elevadores en el año de 1857 [Bar03], que los sistemas de elevadores se convirtieron en una opción viable para transportar personal. Este fue un factor determinante para que la altura en las construcciones dejara de ser un factor limitante.

La primera construcción de gran altura que usaba el sistema de Otis fue instalada en la tienda Haughwout&Company en New York. Los sistemas de elevadores para este entonces funcionaban con bombas de agua presurizada y grandes motores, uno de estos sistemas fue presentado en la feria de exposición universal de París que debía mover la cabina del elevador sobre los 321 metros que constituyen la torre Eiffel.

Para el año de 1880 Werner von Siemens introdujo la utilización de fuentes eléctricas para los sistemas de elevadores. El desarrollo de la energía eléctrica le proporcionó un nuevo ímpetu en el uso de construcciones de gran altura.

A partir de entonces las construcciones eran cada vez más altas, y en países como Estados Unidos y Asia se marcaba una clara tendencia a preferir este tipo de edificaciones en ciudades con alta densidad poblacional. Un ejemplo de estas edificaciones son la torre Taipei 101 con una altura de 509 metros o la torre Burj Khalifa en Dubai con 828 metros de altura y 163 pisos, siendo hasta el momento la construcción habitable más alta del mundo [EMP12].

En rascacielos o edificaciones de gran altura los sistemas de control tradicional son ineficientes para cubrir la necesidad de transporte de pasajeros. Es por esto que grandes multinacionales constructoras de elevadores como por ejemplo MITSUBISHI y OTIS entre otras, gastan millones de dólares en investigaciones tendientes a solventar esta creciente necesidad, la investigación aislada sobre este campo es reducida y la información disponible de esta área es también escasa.

El presente trabajo de grado tiene como finalidad ofrecer un nuevo mecanismo de control para grupo de elevadores que mejore el rendimiento en el transporte de pasajeros en edificaciones de gran altura comparado con otros mecanismos de control convencionales. Se ofrece además un entorno de simulación de código abierto para el fenómeno estudiado; lo cual permite que la comunidad académica investigue sobre nuevos algoritmos de control para grupos de elevadores sin necesidad de tener que construir para este fin un simulador.

1.1 Definición del Problema

Se ha observado que el servicio prestado por los elevadores, en la mayoría de los casos es deficiente. Bajo condiciones de alto tráfico las personas tienen que esperar mucho tiempo para ser atendidas. En edificios pequeños no implican mayores inconvenientes, sin embargo, en una construcción de gran altura, el transporte de los pasajeros debe hacerse de una manera ágil, eficiente y por qué no decirlo; de una manera inteligente, en donde se economice tanto el tiempo del pasajero, como la energía que usa el elevador.

Los sistemas de control tradicional son ineficientes para cubrir esta necesidad debido a que su diseño solo contempla reglas simples de control como la dirección en la que dirige el ascensor, o el número de pasajeros [MLdZCPSSdP96]. La creciente necesidad hizo que nuevas técnicas más complejas empezaran a ser aplicadas a este problema. A partir del desarrollo de la inteligencia artificial han ido apareciendo controladores basados en técnicas inteligentes que aumentan considerablemente la efectividad en la asignación de llamadas.

La mayoría de las técnicas usadas tienen arquitectura centralizada. Se propone replantear el problema desde la perspectiva distribuida en donde cada una de las cabinas compita por la llamada teniendo en cuenta el estado de las demás cabinas y el de sí misma.

Las cabinas actúan como agentes inteligentes que cooperan para atender eficientemente las llamadas de los usuarios. Existe además un agente intermediador, que resuelve los conflictos cuando hay varias cabinas compitiendo por la misma llamada. Este agente conciliador decide a favor de aquella cabina que tenga más posibilidad de atender la llamada de acuerdo a los objetivos de control.

1.2 Objetivos

El trabajo presentado es un aporte a la academia en el estudio del tráfico vertical, promueve además la investigación en esta área al ofrecer un simulador de código abierto. Los objetivos planteados para siguiente trabajo se enuncian a continuación.

1.2.1 Objetivo General

Diseñar un método distribuido de control para asignar de manera eficiente el tráfico de personas presente en una edificación, haciendo uso de técnicas de inteligencia artificial (I.A.).

1.2.2 Objetivos Específicos

1. Modelar matemáticamente el problema de tráfico presentado en las edificaciones de gran altura.
2. Diseño del método distribuido de control para la asignación de ascensores, haciendo uso de técnicas de control inteligente.
3. Evaluar la técnica de control desarrollada y comparar su eficiencia respecto a una técnica tradicional en un ambiente simulado.

2 Marco Teórico

En esta sección se hará una revisión de las técnicas de simulación existentes y cuales han sido utilizadas en el presente trabajo. Así mismo se realizará un recorrido por las técnicas de Inteligencia Artificial y su uso en el control para grupos de elevadores.

2.1 Controladores

A lo largo de la historia se han desarrollado diferentes métodos de control, entre los principales se encuentran:

2.1.1 Controlador Basado en Lógica Difusa (CBLD)

El control difuso puede tratar las imposiciones de los sistemas para dar soluciones en condiciones más reales y menos ideales, además es posible mejorar aún más el rendimiento, optimizando los conjuntos difusos y la ponderación de las reglas.

2.1.2 Controlador Basado en Optimización Robusta (CBOR)

En los modelos de programación matemática aplicados a fenómenos reales se suele suponer que los datos que intervienen son conocidos y constantes, lo que permite abordar su planteamiento y resolución. Sin embargo, esta hipótesis de constancia no suele ser cierta puesto que normalmente los datos pueden ser erróneos o incompletos [CANOSMJ], para lo cual la CBOR es muy buena opción ya que garantiza convergencia al óptimo, además de ello es tolerante a pequeñas variaciones en las condiciones iniciales de optimización, entre las desventajas se encuentra que la implementación computacional de este algoritmo es muy compleja y el tiempo de ejecución será muy pobre finalmente la eficiencia de la solución obtenida con este método es alta, más es costoso su tiempo de ejecución.

2.1.3 Optimización Por Colonia De Hormigas (OCH)

Los algoritmos de optimización por hormigas son buenos para resolver problemas de optimización combinatoriales. Tienen gran velocidad de convergencia para encontrar

la solución óptima. Consiste en un mecanismo control basado en el mejor camino -menos costo- que un enjambre de hormigas pueda encontrar. Los resultados de la simulación muestran que la eficiencia del controlador es mayor a los otros dos métodos presentados. La principal desventaja es que al ser tan elevado el tiempo de respuesta del algoritmo es difícil implementarlo en la realidad ya que la respuesta debería ser casi inmediata.

2.1.4 Controlador Híbrido Para Grupo De Ascensores (CHGA)

Los sistemas de elevadores operan sobre un espacio altamente dimensional tanto en espacio continuo como discreto. El estado de este no es observable fácilmente, por lo tanto la solución de control no puede usar técnicas de optimización tradicionales. En esta subsección se presenta un método de control híbrido -Red Neuronal y PSO-. La convergencia a la solución óptima es lenta, sin embargo al usar una red neuronal de base radial se obtiene un mejor resultado. Tiene la ventaja que una vez entrenada la red neuronal el desempeño en producción irá a ser mejor.

2.1.5 Control Mediante aprendizaje reforzado (CMAF).

Inspirado por el comportamiento psicológico de los individuos el aprendizaje reforzado permite a una máquina aprender por medio de recompensas. Este método pertenece a los métodos no supervisados, por lo tanto no se hace necesario presentarle a la máquina la respuesta correcta.

2.2 Simulación

El proceso de simulación puede ser definido como la imitación de la operación en un proceso real o un sistema sobre el tiempo. [J00]

El proceso de simulación comprende tres elementos fundamentales: Sistema real, Modelo, Ordenador. Estos elementos están conectados como se aprecia en la siguiente figura 2.1. [J00]

Este modelo representa una versión simplificada del sistema real, permitiendo así, facilitar su estudio y análisis. Un edificio tiene características que varían en el tiempo, ejemplo de ellas son; la tasa de arribo de pasajeros por piso y el piso destino de las llamadas. Debido a estas características el sistema tiene un comportamiento no lineal. Durante el modelado del sistema a simular se llevan a cabo operaciones de verificación y validación del sistema, estas hacen parte del proceso iterativo para la simulación de un sistema real, según Banks [J00] como se muestra en la figura 2.2.

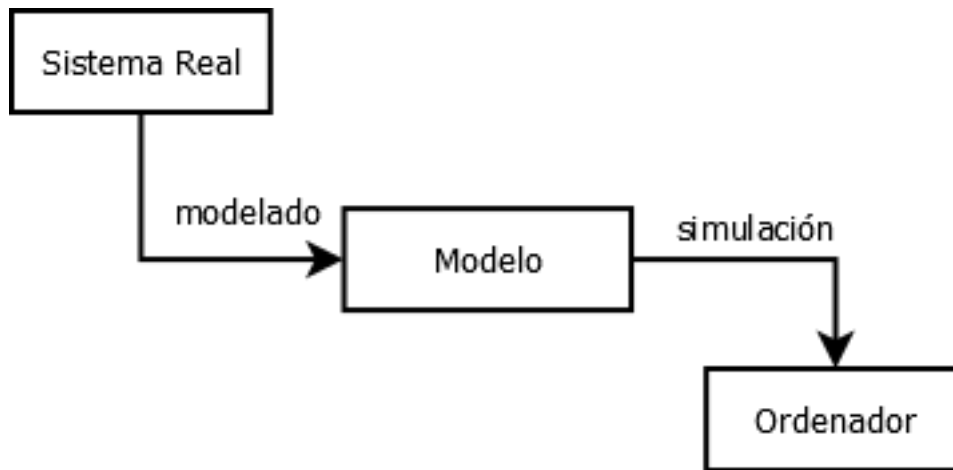


Figura 2.1: Modelo de simulación de BANKS

2.2.1 Técnicas de Simulación

De acuerdo a la naturaleza del sistema en estudio y los objetivos de la simulación se hace necesario categorizar la simulación. En la siguiente sección se explicaran las diferentes técnicas de simulación enunciando sus ventajas.

2.2.1.1 Simulación de eventos discretos

El proceso de simulación de eventos discretos comprende; emular el flujo de un sistema a través del tiempo, donde las variables de interés son discretas, cada hilo del proceso general tiene asociado una línea de tiempo diferente, las cuales deben ser sincronizadas de alguna manera.

2.2.1.2 Avance por Eventos

Esta técnica esta basada en el principio que el estado del sistema cambia cada vez que un evento ocurre. Durante el tiempo transcurrido entre un evento y otro el sistema permanece inalterado [PER09]. El sistema por lo tanto desliza el tiempo entre eventos, yendo de un evento a otro en el tiempo sin hacer pausas.

Los eventos deben ser enlazados de acuerdo al momento en el que se van a ejecutar. Para almacenar estos eventos se pueden usar estructuras como listas enlazadas, doblemente enlazadas. Las cuales deben mantener un orden cronológico de los eventos, es decir, si se genera un evento que ocurre en un tiempo que no es el último, la estructura debe mover los nodos de tal manera que no quede desordenada la lista.

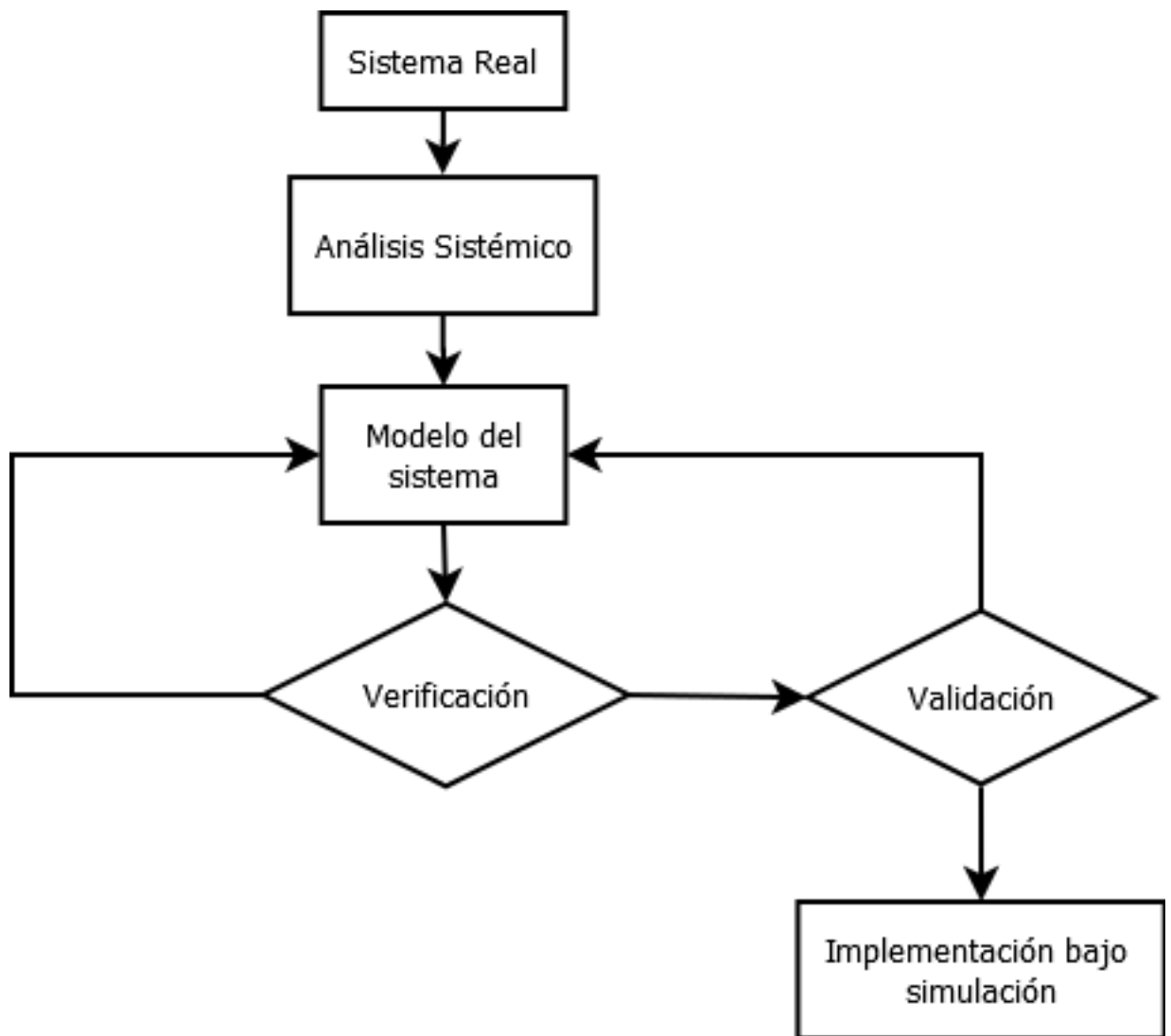


Figura 2.2: Proceso de simulación de BANKS

2.2.1.3 Avance por Unidad de Tiempo

Esta técnica mantiene un reloj interno del sistema que avanza un intervalo de tiempo definido en cada iteración. En cada avance de tiempo se valida si hay eventos que ocurran en ese preciso instante o y se ejecutan las tareas necesarias [PER09].

Esta técnica es usada principalmente en simulaciones de fenómenos físicos que ocurren durante un tiempo no muy largo, es decir en simulaciones que no tienden a infinito.

2.2.1.4 Simulación Basada en Actividades

En una simulación de este tipo, el sistema modelado es una colección de actividades o procesos. Por ejemplo para un típico ejemplo de teoría de colas las actividades serían: a) Arribo del objeto b) Servicio del objeto c) Entrega del objeto atendido [PER09]. En estas simulaciones es importante conocer cuando la actividad empieza y cuando termina, además de controlar que ocurre después de cada actividad.

2.2.1.5 Simulación Estocástica o Determinística

El sistema puede tener un comportamiento estocástico debido a que existen componentes aleatorios. Una de las variables aleatorias que podemos encontrar es la tasa de arribo en la cola de servicio, por lo general los sistemas a simular son estocásticos pero en algunas ocasiones, como en algunos sistemas físicos los fenómenos a simular son determinísticos, podríamos hablar de un circuito electrónico.

2.3 Simuladores de Tráfico Vertical

En el año de 1970 fue desarrollado el primer simulador de tráfico con el fin de verificar el comportamiento de los elevadores en la que era para ese entonces la edificación de mayor altura, el WORLD TRADE CENTER. Este simulador híbrido consistía en un componente análogo y otro digital, las tarjetas de control que se ubicaban en los pisos de la edificación se debían conectar al simulador digital. De esta manera todo el tráfico se debía ingresar por medio de los botones reales que se ubican en los pisos de la edificación. Era un procedimiento tedioso ya que era necesario modelar todo el tráfico manualmente y la verificación del modelo simulado debía pasar por múltiples iteraciones que implicaban un gran trabajo manual [Bar03].

En el año de 1988 se desarrolló el primer simulador para PC, estos simuladores solo contemplaban un elevador y el algoritmo de control para la asignación de llamadas seguía unas reglas simples basadas en la posición del elevador y la ubicación de la llamada. Los algoritmos de control fueron avanzando en su complejidad y las compañías grandes ya podían verificar el funcionamiento en los avances sobre el control que iban teniendo. Los simuladores son desarrollados principalmente por y para las empresas fabricantes de sistemas de elevadores [OTI99][Sii04a]. Solamente Peters Research, empresa de investigación en planificación de edificaciones de gran altura cuenta con un simulador de licencia comercial [Res].

Los simuladores de tráfico vertical son útiles, no solamente para verificar algoritmos de control, estos también son usados para determinar el número de elevadores necesarios para servir en determinada edificación. Así mismo el simulador es útil para recrear situaciones de emergencia en un edificio y por ejemplo conocer el tiempo

que tardaría una edificación en ser evacuada por medio de los elevadores. Son muchas más las aplicaciones que se le pueden dar al simulador al ser un componente fundamental de cualquier edificación.

2.3.1 Tráfico Vertical

Se entiende por tráfico en una edificación; el movimiento o tránsito de personas dentro del edificio, este tráfico tiene dos componentes tasa de arribo y probabilidad de destino, en donde:

Tasa de Arribo: Es el número de usuarios que llegan al sistema en determinado espacio de tiempo. La tasa de arribo en una edificación cambia de acuerdo a dos factores, uno es el tiempo en el que se mide y otro es el piso.

Probabilidad Destino: Es la probabilidad que tiene un pasajero de dirigirse del piso p_o , al piso p_d , en determinado instante de tiempo.

El tráfico que se presenta en una edificación tiene un comportamiento probabilístico que sigue un proceso de Poisson. Un ejemplo del tráfico en una edificación real se muestra en la siguiente imagen [L.97]. Este patrón pertenece a la Tour Europe en París, el tráfico fue medido usando foto celdas en las puertas de los ascensores y el tráfico resultante fue dividido en tres patrones de tráfico

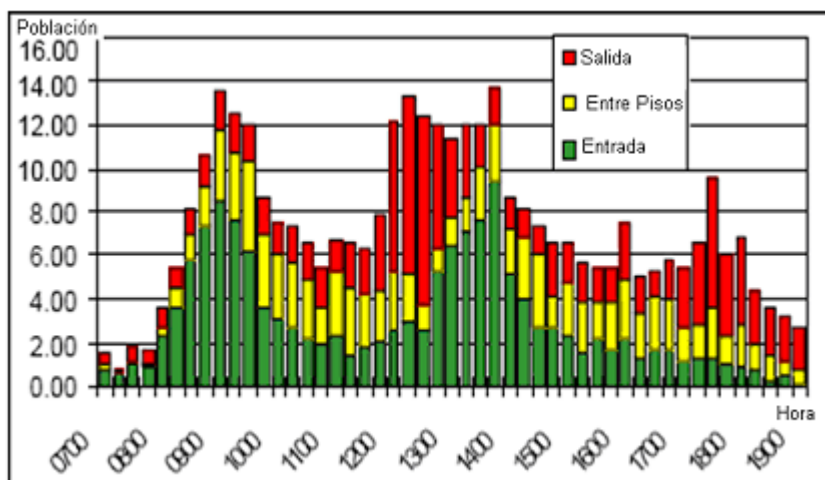


Figura 2.3: Patrón de tráfico [L.97]

Debido a que existen diferentes tipos de edificios como son; hospitales, edificios de oficinas, universidades, edificios residenciales, se debe tener en cuenta que no es igual el tráfico existente dentro de ellos. Por ejemplo, en un edificio residencial existe un tráfico recurrente entre el primer piso y otros pisos superiores, pero es casi nulo el tráfico entre pisos; caso contrario ocurre con un hospital en donde el tráfico entre pisos es más común.

Tradicionalmente se identifican tres patrones de tráfico, que ocurren durante el día [MLS01]:

- **Entrada** (incoming): se refiere al tramo horario coincidente con el acceso al edificio, y por tanto se producen viajes de subida desde la planta baja.
- **Bajada** (outgoing): se refiere al tramo horario coincidente con el salida del edificio, y por tanto se producen viajes de bajada desde las diferentes plantas a los pisos más bajos.
- **Entre pisos** (interfloor): se refiere al resto de tramos horarios donde existe la probabilidad de viajes entre plantas (este patrón sólo se produciría en edificios destinados a uso profesional y en ese tramo horario específico).

2.3.2 Determinación y Predicción de Tráfico

La determinación de los patrones de tráfico resulta un problema complejo. Para estimar el flujo de personas se ha usado la observación directa y datos procedentes de macro-encuestas realizadas por centros de investigación. Centros que sirven este tipo de información son el CIBSE (The Chartered Institution of Building Services Engineers) y el BRE (Building Research Establishment).

A parte del método por observación directa aparece el “SP Inverso”. Este estima el número de pasajeros que usan el ascensor basándose en el número de llamadas y en los movimientos del mismo, tiene comprobada efectividad cuando el patrón de tráfico es de subida y de bajada, pero para el tráfico entre pisos no es muy acertado. Otro método es “Estimación del flujo de tráfico completo de Peters” [Pet00], que obtiene información de tráfico haciendo uso de métodos estadísticos, mediante el establecimiento de los intervalos de tiempo en los que el tráfico es más intenso.

La inteligencia artificial también ha sido usado en la predicción y determinación de tráfico. Se encuentra el Modelo de reconocimiento del patrón de tráfico mediante reglas de lógica difusa [L.97], el cual se basa en 8 conjuntos difusos que representan 8 patrones de tráfico diferentes.

Las redes neuronales también has sido usadas para esta tarea, está el modelo de predicción mediante redes neuronales [Imr00]. Este trata de acoplar una red neuronal de predicción de tráfico en el sistema de control de un grupo de ascensores para mejorar la actuación del controlador del grupo. De esta manera la red neuronal proporciona un mecanismo de aprendizaje dinámico del comportamiento del edificio y realiza la predicción de futuros eventos basándose en lo que ha aprendido a lo largo del tiempo.

El estudio en la determinación de tráfico sigue avanzando, existen hoy soluciones RFID, radares de personas y visión por computador como nuevas tecnologías que apoyan esta importante tarea.

2.4 Controladores de Grupo de Elevadores

La investigación de nuevos modelos de control es poco tratada en nuestro país ya que no contamos con rascacielos, los cuales si abundan en Japón, China o Dubai. Las técnicas de control no-tradicionales para asignar las llamadas de un grupo de elevadores, empezaron a aparecer en los años 90 y fueron desarrolladas por empresas privadas que contaban con la colaboración de centros de investigación y universidades[MR88, Tha89].

La colaboración universidad-empresas para esta materia ha sido muy activa. En España por ejemplo se realiza investigación orientada al mejor funcionamiento de estos sistemas mancomunadamente entre la Universidad de Sevilla y MAC PUAR S.A. [LJ01]. Otro ejemplo está en Berlín, el centro académico el Konrad-Zuse-Zentrum für Information stechnik de Berlin colabora con la multinacional del transporte vertical Schindler [HD99] o el Systems Analysis Laboratory de la Universidad Tecnológica de Helsinki con KONE Corporation [L.98].

La arquitectura típica de un sistema de control para grupo de elevadores se presenta en la Figura No. 2.4. El controlador de grupo de elevadores es el cerebro del sistema, este sistema asigna las llamadas a cada controlador de elevador optimizando la función de costo. El controlador de elevador existe para cada uno de los elevadores del grupo, este solo tiene la responsabilidad de almacenar las llamadas hechas por los usuarios y mover el elevador dentro de sistema. Los controladores de elevador no están en comunicación unos con otros, estos son coordinados por el controlador de grupo [Bar03].

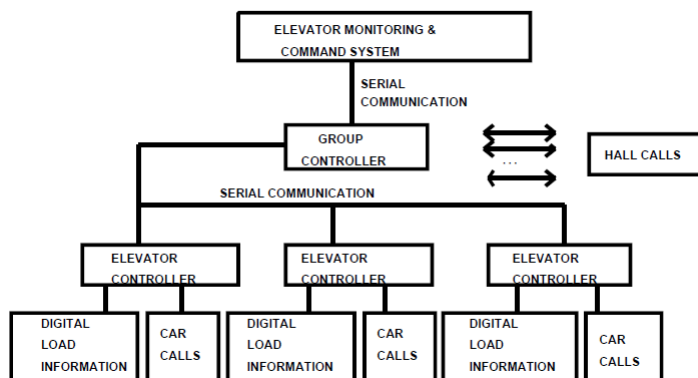


Figura 2.4: EGCS Arquitectura Típica

Actualmente los controladores de grupo de ascensores cuentan con más información que la que se tenía antes. En las nuevas edificaciones se colocan matrices de botones que sirven para que el pasajero introduzca el piso hacia donde se dirige [Sii04a], por esta razón ya no es necesario introducir botones de destino dentro de la cabina del elevador.



Figura 2.5: Matriz de botones para registro de llamadas de elevador

2.4.1 Criterios de Optimización en el Transporte Vertical

El problema de asignación de elevadores para atender las llamadas se puede ver como un problema de optimización. El objetivo del controlador es asignar las llamadas a los ascensores que tienen mayores posibilidades de atenderla eficientemente. El problema es si es una combinación de programación no lineal en tiempo real, distribución de recursos y control estocástico [HMHL04].

Como ya se ha dicho el controlador de grupo busca asignar las llamadas a los elevadores optimizando la función de costo. La optimización más usual es minimizar el tiempo de espera de los pasajeros. Se ha encontrado también que optimizando el tiempo de viaje de los pasajeros, se reduce el número de paradas del elevador. Lo cual hace que los elevadores viajen con más carga dentro de sí.

Es común que los controladores para grupo de ascensor manejen los mismos criterios de optimización, los cuales recopilando todos los criterios vistos se pueden dividir en dos grupos: funcionamiento del sistema y servicio ofrecido al usuario.

2.4.1.1 Funcionamiento del Sistema

- Consumo energético del sistema: El cual se debe minimizar haciendo que el ascensor pare lo menos posible y evite los desplazamientos innecesarios.
- Capacidad del grupo de ascensores (volumen de viajeros transportados): También se le conoce como carga, entre más persona se logre llevar en la misma cabina mucho mejor.

2.4.1.2 Servicio ofrecido al usuario

- Tiempo De Espera: Promedio del tiempo de espera de los pasajeros para ser atendidos. Representa el tiempo que un elevador necesita para viajar desde

su posición actual hasta el piso en el que se genera la llamada. El objetivo es llevar este tiempo al mínimo.

- Tiempo de viaje: Tiempo que el pasajero dura dentro del ascensor hasta que llegue al piso objetivo. El objetivo es minimizar este tiempo.
- Tiempo de esperas muy largos: Minimizar el porcentaje de largas esperas por la llegada de un ascensor, es conocido que psicológicamente las personas pierden la paciencia pasados 3 minutos sin ser atendidas [MLdZCPSSdP96].

2.4.2 Técnicas De Control

La asignación de llamadas en una edificación de gran altura requiere de técnicas modernas de control que basándose en el estado del sistema tome la mejor decisión tendiente a minimizar la función de costo. La asignación de llamadas a los ascensores ocupa gran parte del trabajo de compañías como MITSUBISHI, KONE, SCHINDLER. El control de este tipo de sistemas no es sencillo, presenta un comportamiento dinámico, variante en el tiempo. Los factores que dificultan el control, entre otros son:

- Falta de certeza en los parámetros que definen el problema, muchas veces estos son tomados de un predictor.
- Combinación muy alta de posibilidades en el espacio de búsqueda, lo que lo hace muchas veces intratable computacionalmente.
- Variables estacionales en los patrones de tráfico con cierta incertidumbre.

Las técnicas más usadas para tratar con este tipo de problema se pueden agrupar de la siguiente manera.

- Técnicas tradicionales [R.71][MLdZCPSSdP96]:
 - Maniobra Universal Por Pulsadores.
 - Maniobra Duplex.
 - Maniobra Colectiva selectiva en los dos sentidos.
- Técnicas no tradicionales:
 - Lógica difusa [TKK96]
 - Optimización robusta [LD]
 - Optimización por colonia de hormigas [ZJI]
 - Optimización Híbrida. [JLZ10]
 - Aprendizaje reforzado. [Cri98]
 - Algoritmos genéticos.
 - Redes neuronales. [Imr00]
 - Optimización por enjambres. [Bra00]

2.4.2.1 Métodos De Control Tradicionales

El diseño de controladores convencionales en el campo de tráfico de pasajeros en edificaciones está orientado por reglas de tráfico fijas en las cuales no se tiene en cuenta la optimización del servicio. Para el control de tráfico vertical, nos enfrentamos con diferentes situaciones, que implican parámetros de operación cambiantes, al experimentar patrones de tráfico diferentes y fluctuaciones en el transcurrir normal de los mismos.

Las reglas por las que se guían los controladores convencionales se numeran a continuación. [R.71]

1. El elevador no llevara a un pasajero dentro del ascensor en la dirección contraria a la que se dirige.
2. La capacidad de cada ascensor son k personas, y si el cupo esta lleno no atenderá llamadas.
3. Un elevador viaja a una velocidad constante de n pisos por segundo.
4. Atender cada piso toma i segundos. Durante este tiempo la persona entrara o saldrá del ascensor.
5. Si el número de personas es mayor que v se necesitaran de w segundos.
6. Un ascensor no ignorará alguna llamada, a no ser que este ejecutando una de las restricciones anteriormente mencionadas.

A continuación se describen brevemente los métodos básicos de control más empleados.

Maniobra Universal Por Pulsadores Cuando el ascensor esta desocupado, y es el primero en recibir la orden irá a atender la llamada. Si durante el funcionamiento se solicita el ascensor desde cualquier otro piso la llamada será ignorada y el carro seguirá obedeciendo la orden que ha iniciado la llamada. [MLdZCPSSdP96]

Maniobra Duplex Cualquier llamada es atendida por el elevador que se encuentre libre; pero si están libres dos elevadores, acudirá a la llamada el que esté mas próximo al piso origen del llamado. Solamente acude un elevador a cualquier llamado. [MLdZCPSSdP96]

Maniobra Colectiva selectiva en los dos sentidos El elevador registra únicamente los llamados que se generen en el sentido que va el ascensor. Es decir si el ascensor va hacia arriba solo se registrarán los llamados que se hagan en los pisos superiores, y si va hacia abajo solo registrará los que se generen en pisos inferiores. El sentido se invierte cuando llegue el elevador al último piso, ya sea por una llamada de piso o una llamada de ascensor. [MLdZCPSSdP96]

2.5 Sistemas Multi Agente

Un agente es un componente de software que tiene autonomía y flexibilidad en su funcionamiento sobre un medio ambiente en particular. Este medio ambiente por lo general está habitado por otros agentes [WJ95]. En un sistema multi agente (MAS), cada agente actúa individualmente o en cooperación con otros agentes para conseguir los objetivos trazados.

Flexible en el contexto MAS significa, que el agente es:

- **Reactivo**, reacciona al entorno en el cual se encuentra.
- **Pro-activo**, es capaz de cumplir su propio plan, tienen un carácter emprendedor.
- **Social**, es capaz de comunicarse con otros agentes a través de algún lenguaje común.
- **Racionalidad**, un agente puede razonar acerca de datos percibidos a fin de calcular una solución óptima.
- **Adaptabilidad**, esta característica está relacionada con el aprendizaje que un agente puede lograr y con su capacidad para cambiar su propio comportamiento basado en este aprendizaje.
- **Movilidad**, es la capacidad de un agente para moverse a través de una red.
- **Veracidad**, un agente no puede comunicar información falsa de manera deliberada.
- **Benevolencia**, un agente está dispuesto a ayudar a otros agentes si esto no está en contra de sus propios objetivos.

Conceptos Básicos

- **Agente**, un agente es un sistema computacional autónomo que ejecuta acciones con el fin de cumplir sus objetivos. Está inmerso en un ambiente dado, del cual obtiene información mediante y al cual puede modificar mediante sus acciones [Wei99].
- **Sistema Multiagente**, se define como una colección de agentes racionales y autónomos, insertos en un ambiente en común, capaces de coordinar su conocimiento, objetivos, habilidades y estrategias a fin de resolver un cierto problema [Wei99].
- **Proactividad**, es la capacidad de tomar la iniciativa para realizar las acciones necesarias para cumplir con los objetivos para los que son diseñados [WJ95].
- **Capacidad de reacción**: es la capacidad de responder a los estímulos del ambiente con las respuestas adecuadas y en el tiempo adecuado, de forma activa [WJ95].

- **Habilidades sociales:** es la habilidad de interactuar con otros agentes, inclusive humanos cuando es necesario para cumplir con sus objetivos. Las dos habilidades básicas son las habilidades de cooperación y de negociación[WJ95].

2.5.0.2 LÓGICA DIFUSA

INTRODUCCIÓN La mayoría de los fenómenos que encontramos cada día 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, o incluso en la semántica que describe lo que son.

En muchos casos el mismo concepto puede tener diferentes grados de imprecisión en diferentes contextos o tiempo. 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 -no podemos identificar un punto simple de templado, así que emigramos a un simple grado, la temperatura es ahora considerada caliente. Este tipo de imprecisión o difusidad asociado continuamente a los fenómenos es común en todos los campos de estudio: sociología, física, biología, finanzas, ingeniería, oceanografía, psicología, etc [Cal03].

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. Pero fue Lukasiewicz, quien dio el primer paso hacia la definición formal de la incertidumbre, al introducir en 1920 la idea de una lógica tri-valuada basada en verdadero, posible y falso.

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. 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. Usualmente estos términos no tienen cabida en la lógica y la matemática convencional [Dri96].

Estructura Básica De Un Controlador Difuso Un controlador basado en lógica difusa realiza tres acciones básicas. La primera, corresponde al procedimiento denominado fuzificar, que implica el asignar un valor lingüístico a una variable utilizando funciones de membresía. La fusificación convierte el valor real de una variable de

entrada a un valor difuso, que podrá ser manipulado en el bloque de base de reglas de inferencia.

La segunda, corresponde a la inferencia lógica que consiste en definir las reglas del tipo Si - Entonces para evaluar las variables lingüísticas. La base de reglas almacena el conocimiento en forma de un conjunto de reglas, que contienen el conocimiento heurístico y cualitativo en el que se basarán las acciones de control. El mecanismo de inferencia, se encarga de evaluar las reglas e infiere una conclusión que se convertirá en la acción de control que se pasará a través del módulo de defusificación.

La tercera, se denomina defuzificar, que consiste en normalizar un valor difuso a su equivalente en salida de control nítida. El proceso de defusificación, convierte la variable difusa que se obtuvo como salida en el bloque del mecanismo de inferencia, a un valor real. Este valor real o nítido será la acción de control que se aplicará al proceso de asignación de elevadores en el controlador propuesto.

Básicamente, se debe ver el control difuso como un tomador de decisiones artificial que opera en un sistema de lazo cerrado en tiempo real. La siguiente figura muestra los componentes principales de un controlador difuso, a saber: interfaz de fusificación, base de conocimiento, motor de inferencia e interfaz de defusificación [Dri96].

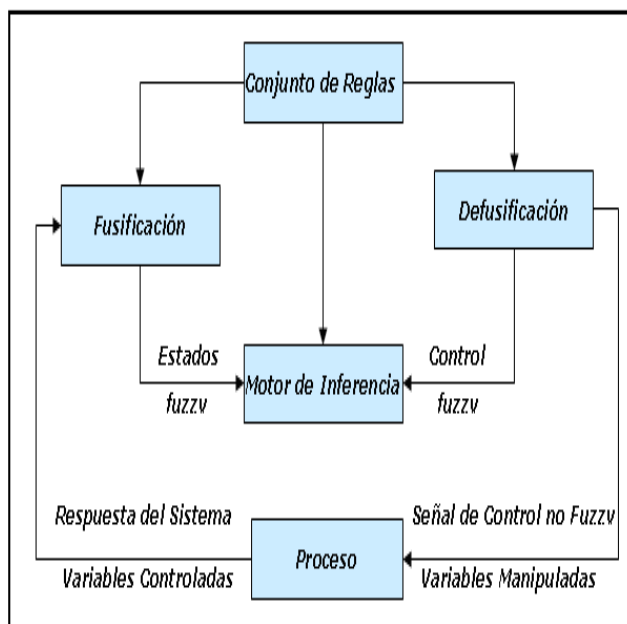


Figura 2.6: Proceso de un controlador difuso

3 Simulador

Validar el desempeño del controlador y su eficiencia respecto a las técnicas tradicionales requiere manipular las condiciones del sistema y efectuar un gran número de pruebas. Realizar estas pruebas en una edificación real sería bastante complicado y costoso. Las grandes compañías cuentan con simuladores propios y por obvios motivos no son compartidos para fines académicos, ejemplo de estos simuladores son el Building Traffic Simulator, de la empresa finlandesa KONE [MLS01]. Otros más lo tienen OTIS, SCHINDLER, MITSUBISHI.

Debido a la necesidad de mejorar la eficiencia en el transporte de personas sobre edificaciones de gran altura, compañías líderes en ésta área han desarrollado diversas técnicas de control [HH08, Sii04b] invirtiendo recursos financieros para investigación. Sus avances y nuevos algoritmos de control para grupo de elevadores son verificados en simuladores contruidos *ad-hoc* que reproducen con precisión el tráfico de pasajeros y que miden con exactitud los tiempos invertidos por los usuarios para movilizarse dentro de la edificación. Algunos de estos ambientes de simulación son OtisPlan de Otis Corporation [OTI99], Building Traffic Simulator (BTS) de la empresa finlandesa KONE [Sii04a], Elevate desarrollado por Peter Research ltd.

Estas herramientas de simulación sofisticadas tienen en común que son propietarias, en el caso de BTS y OtisPlan su uso está restringido a personal de la compañía únicamente y para el caso de Elevate existe una licencia comercial de usuario único con un costo de 2900 dolares [Res].

Para evitar la construcción del simulador se buscó en la comunidad académica opciones libres, pero no se encontró ningún ambiente de simulación. Por consiguiente, se debió construir un simulador sencillo siguiendo el flujo descrito por Banks [BANKS2000] en el que partiendo de un sistema real se llega a un modelo por computador.

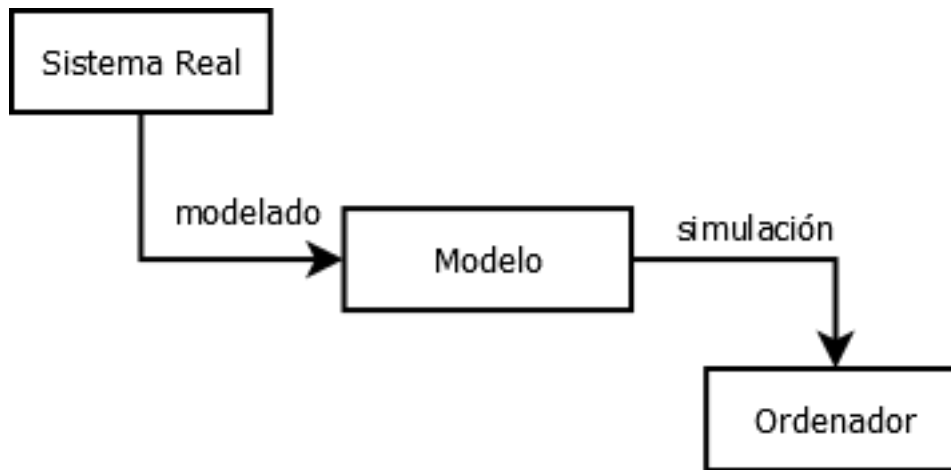


Figura 3.1: Modelo simulación, flujo Banks [BANKS2000]

3.1 Diseño de la Simulación

El simulador a desarrollar permitió tener un ambiente controlado que representó las características más importantes de una edificación y simplificó su representación, facilitando así, el mantenimiento, adaptación y reutilización

- El objetivo general de la simulación es simular una edificación real en la cual el estudio de tráfico se haya hecho previamente y el número de ascensores sea suficiente para servir correctamente a los usuarios.
 - Se busca medir el desempeño de diferentes estrategias de control para grupo de elevadores.
 - Se desea medir el tiempo que toma una evacuación por medio de los elevadores. Esto depende de la naturaleza de la emergencia [COU11].
 - Se debe poder determinar si la configuración del sistema de ascensores es suficiente para servir la población del edificio.
 - Se desean simular situaciones de emergencia, como por ejemplo que un elevador quede fuera de servicio.

3.1.1 Análisis Sistémico

Un sistema puede verse como un objeto en el cual interactúan variables de diferentes clases para producir señales observables denominadas; salidas. Las señales externas también pueden afectar e influir en el comportamiento del sistema, pero estas señales son susceptibles de manipulación. El sistema además, puede presentar perturbaciones que pueden ser clasificadas en observaciones medibles y aquellas

que solamente pueden observarse. Todas estas señales son fundamentales para poder determinar el modelo de un sistema.

Para el desarrollo del presente estudio, se ha identificado el sistema edificio, éste constituye un ejemplo de los sistemas abiertos. Así mismo, se ha identificado el subsistema elevador. Un sistema abierto “puede considerarse como un conjunto de partes en constante interacción constituyendo un todo sinérgico orientado hacia determinados propósitos y en permanente relación de interdependencia con el ambiente externo” [DRI00].

3.1.2 Componentes del Sistema

Del análisis sistémico realizado se encontraron estos como componentes principales:

- **Edificio:** Espacio dentro del cual se movilizan personas u objetos, es el ente contenedor de los elevadores del sistema.
- **Ascensor:** Es el objeto que se encarga de recorrer el edificio transportando a las personas entre sus diferentes pisos.
- **Piso(s):** Objeto componente del edificio, a través de los cuales se desplaza el elevador transportando a las personas.
- **Pasajero:** Es el objeto a transportar entre las diferentes plantas o pisos de la edificación, presenta un comportamiento aleatorio en cuanto a la tasa de arribo.

3.1.3 Consideraciones de Diseño

Antes de diseñar el sistema se deben considerar algunas reglas básicas que condicionarán el diseño del simulador:

- Las llamadas generadas en los pisos son hechas a través de una matriz de botones, esto permite que el sistema conozca con anterioridad el piso destino de cada pasajero antes de ser embarcado [Sii04b].
- Una vez las llamadas son asignadas no pueden ser reasignadas.
- Una vez el ascensor sirva todas sus llamadas y quede libre, regresará a su piso reposo.
- Los pasajeros que arriban al sistema, siguen un proceso de Poisson, sobre esto se detallará más adelante.
- La política de asignación de llamadas del sistema es de tipo colas FIFO, primera llamada que entra al sistema, primera llamada en ser atendida.

3.1.4 Técnica de Simulación Escogida

Al tener eventos con separación entre ellos corta, el tiempo de ocio de sistema es bajo. Esto hace que el mejor método de simulación para este caso sea el diseño basado en “Avance por Unidad de Tiempo” con comportamiento estocástico [Kel00].

En la figura No. 3.2 diagrama siguiente ilustra el flujo que por lo general sigue una simulación de este tipo.

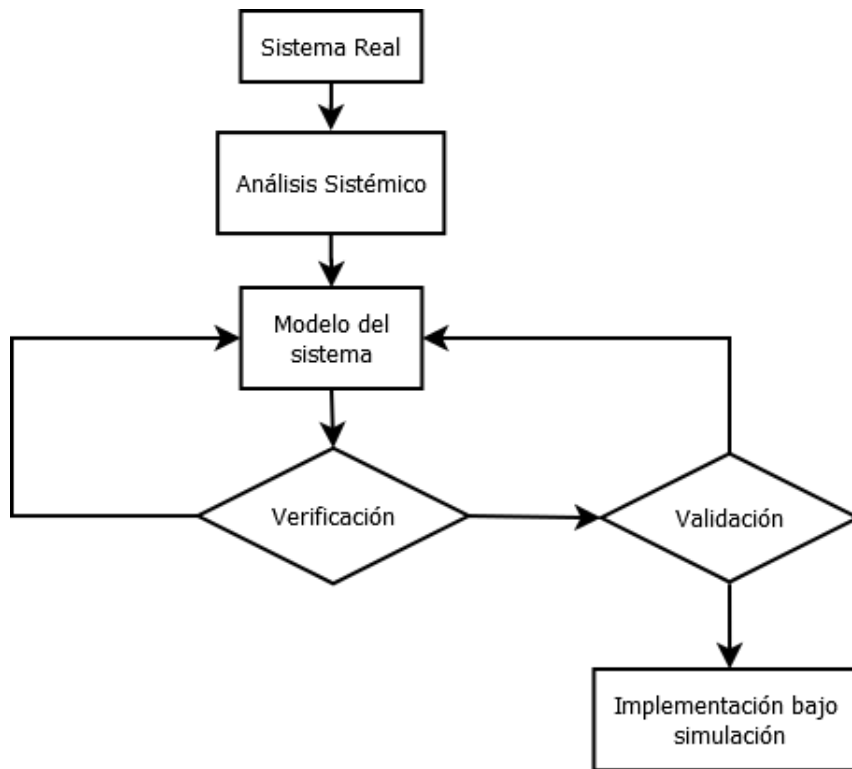


Figura 3.2: Proceso simulación Banks [BANKS2000]

3.1.5 Proceso General De La Simulación

La simulación como metodología de análisis de sistemas está basada en la construcción de un modelo que describe el comportamiento del sistema [DRI00], en este caso implementado en un ordenador.

Pese a la gran variedad de modelos de simulación existentes todos estos se adaptan al siguiente esquema simplificado de Schmeiser, para este trabajo se usará esta simplificación .

1. Obtener observaciones básicas de una fuente de números aleatorios. En la simulación de este trabajo es necesario generar los usuarios del sistema y comportamientos dentro de el, esta generación estará basada en observaciones de la realidad identificada en otros trabajos académicos.

2. Transformar las observaciones básicas de entradas al modelo, según las especificaciones del mismo. Es necesario por lo tanto asignar a estos datos aleatorios un significado real dentro de la simulación, por ejemplo el momento de ingreso de un usuario al sistema según la variable temporal de la simulación, o el piso al que se dirige según el patrón de tráfico presente.
3. Transformar las entradas, a través del modelo, en salidas. Esto se logra simulando de acuerdo a los datos de entrada y cuantificando las salidas medidas del sistema.
4. Calcular estadísticas a partir de salidas, para estimar las medidas de comportamiento. Una vez corrida y finalizada la simulación es necesario medir estadísticamente el desempeño del sistema.

3.1.6 Variables de Simulación

El modelo de la realidad, en nuestro caso el edificio, es una representación del sistema, sus componentes y la dinámica que este supone. Este modelo puede tomar la forma de cualquier sistema real si se tienen en cuenta las características comunes al sistema. Las características identificadas pasan a ser parte del modelo computacional, el cual puede ser manipulado según la necesidad de simulación. En la siguiente sección se presentan las características del modelo identificadas, categorizadas según su naturaleza dinámica y los componentes a las que pertenece.

3.1.6.1 Variables Independientes

Simulación

- **Cronómetro de la simulación** (t): Tiempo actual de la simulación.

Edificio

- **Número de pisos** (f): Número de pisos de la edificación a simular.
- **Pisos portal** ($g_i = 1$ si es portal, 0 en otro caso. Para todo $i \in 0 \leq i \leq f$): Pisos por los cuales están entrando nuevos usuarios al sistema.
- **Pisos reposo de ascensor** (r_j . Para todo $j \in 0 \leq j \leq e$): Pisos a donde va cada ascensor e una vez que no tenga llamadas de servicio.
- **Distancia entre pisos** (d_f): Distancia que hay entre 2 pisos adyacentes.
- **Población en cada piso** (P_i , en donde $i \in [0, f]$): Población que alberga cada piso.

Sistema de Ascensores

- **Número de elevadores** (e): Número de ascensores con los que se correrá la simulación.
- **Capacidad del elevador** (CC_i , para todo $i \in [0, e]$): Cantidad máxima de pasajeros para el ascensor i .
- **Aceleración del elevador** (A_i , para todo $i \in [0, e]$): Aceleración de cada elevador.
- **Velocidad del ascensor** (v_i , para todo $i \in [0, e]$): Velocidad promedio con la que el ascensor i recorre el edificio, medida en metros por segundo.
- **Tiempo de viaje entre dos pisos adyacentes** (t_{fi} , para todo $i \in [0, e]$): Tiempo que tarda un ascensor en llegar de un piso a otro adyacente cuando tiene que parar.
- **Tiempo cierre puerta ascensor** (c_i , para todo $i \in [0, e]$): Tiempo medido en segundos que dura la puerta del ascensor i en cerrarse.
- **Tiempo apertura puerta ascensor** (o_i , para todo $i \in [0, e]$): Tiempo medido en segundos que dura la puerta del ascensor i en abrirse.
- **Tiempo de transferencia por pasajero** (t_p): Tiempo que dura un pasajero en entrar o salir del ascensor.

Dinámica de la Cabina de Elevador Idealmente los valores de frenado y arranque de la cabina del elevador se toma siguiendo el diagrama de velocidad de expuesto en [SMBB06], esto facilita la implementación de la simulación. Para poder modelar esta dinámica se hace necesario involucrar las variables: distancia entre pisos h , aceleración máxima y velocidad máxima.

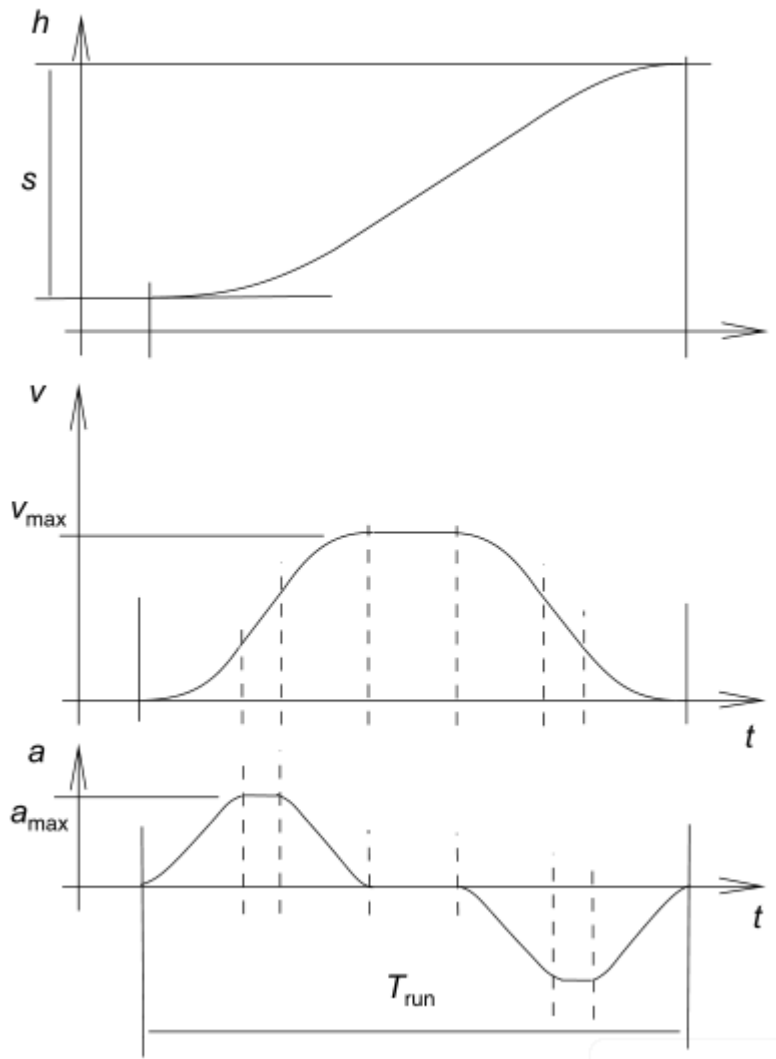


Figura 3.3: Dinámica del ascensor

3.1.6.2 Variables Dependientes

- **Densidad de arribo** ($\lambda(t)$): Número de personas esperadas por unidad de tiempo, sigue un proceso de Poisson [SMBB06].
- **Tasa de servicio** ($\mu(t)$): Número de personas que pueden ser servidas por unidad de tiempo, sigue un proceso de Poisson [SMBB06].
- **Tasa de utilización** ($\rho(t) = \frac{\lambda(t)}{\mu(t)}$): Tasa que muestra el estado de utilización del sistema, se desea que este vamos sea $\rho < 1$ [SMBB06].
- **Población de pasajeros del sistema** ($P = 0,8CC$) : Promedio de de pasajeros cargados en cada viaje del sistema. Para evitar que queden pasajeros sin atender en la cola del sistema se asume que el factor de utilización es menor

que el 100 % de la capacidad del sistema[Bar03], aunque en algunos sistemas lo pasajero son encolados en los sistemas de grupos de ascensor esto no se considera. Generalmente se toma un valor del 80 % como promedio de utilización de la capacidad del sistema, esto se puede ver en la gráfica.

- **Tiempo de transito entre dos pisos adyacentes** ($t_{ti} = \frac{d_{fi}}{v_i}$, para todo $i \in [0, e]$): Tiempo que tarda un ascensor en pasar por un piso adyacente cuando NO tiene que parar.

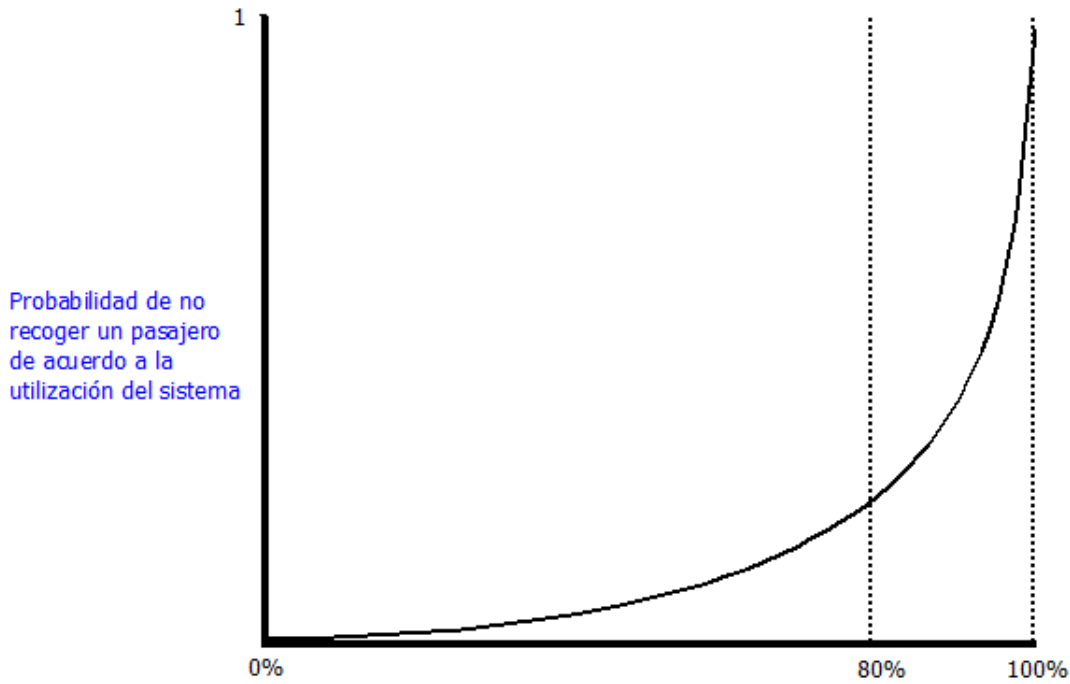


Figura 3.4: Probabilidad de no recoger un pasajero

- **Tiempo de viaje del pasajero** (TT_i , para todo $i \in P$) : Tiempo que dura un pasajero desde que toma el ascensor hasta que llega al piso destino.

$$- TT_i = 2H \frac{d_f}{v_i} + (S + 1)(c_i + o_i + t_{fi} - t_{ti}) + 2Pt_p, \text{ en donde:}$$

- * P : Cantidad de pasajeros en la cabina.
- * S : Promedio de paradas que hace el ascensor en el viaje completo.
- * H : Promedio del piso más alto alcanzado.

- **Tiempo de transferencia de pasajeros** ($C(i, j)$, en donde i es el número de pasajeros que entran al ascensor y j los que salen. La constante de entrada KI y salida de pasajeros KO) : Tiempo que dura la entrada y salida de pasajeros viene dado por la formula.

$$- C(i, j) = \sum_i KI + \sum_i KO$$

Pasajero

- **Numero de pasajeros que arriban en un tiempo t ($N(t)$):** Número de pasajeros que arriban a la edificación en el tiempo t . Depende de la población en el edificio.
- **Número de pasajeros viajando en el tiempo t ($Q(t)$):** Total de personas que están dentro de alguna cabina y no han llegado a su piso destino. Depende de la población en el edificio.
- **Número de pasajeros sin atender en el tiempo t ($P(t)$):** Número de personas que esperan ascensor en el pasillo. Depende de la población en el edificio.
- **Número de pasajeros atendidos desde $t=0$ hasta un t actual ($R(t)$):** Total de pasajeros que ya llegaron y se bajaron del ascensor en el tiempo t .
- **Tiempo de espera por pasajero atendido en el tiempo t ($W_k(t)$), para todo $k \in R(t)$):** Tiempo de espera de los pasajeros que ya fueron atendidos.
- **Tiempo de viaje por pasajero atendido en el tiempo t ($T_k(t)$), para todo $k \in R(t)$):** Tiempo de viaje de los pasajeros que ya fueron atendidos.
- **Tiempo de espera por pasajero sin atender ($Q_k(t)$), para todo $k \in P(t)$):** Tiempo de espera por pasajero sin atender.

3.1.7 Valores Comunes Para la Simulación

Para simular de una manera más cercana a la realidad, se toman como valores comunes los expuestos por [SMBB06].

Item	Lower values	Higher values	Unit
Rated capacity	6	24	persons
Contract speed	0.5	6.0	m s^{-1}
Acceleration/deceleration	0.7	0.9	m s^{-2}
Door opening/closing times	2.0	3.0	s
Passenger transfer times	0.8	1.5	s

Figura 3.5: Common ranges of elevator operating parameters

3.1.8 Componentes del Simulador

Los componentes de la simulación discreta basada en avance de tiempo se majean como lo propone Averill para este tipo de sistemas a simular [Kel00].

- **Estado de Sistema:** Son el conjunto de variables necesarias para describir el sistema en un tiempo particular.
- **Reloj de la Simulación:** Es la variable que da el tiempo actual de la simulación.
- **Lista de Eventos:** Lista que contiene el tiempo en el que cada tipo de evento va a ocurrir.
- **Rutina de Inicialización:** Rutina programada para iniciar la simulación en el tiempo 0.
- **Rutina para Manejo del Tiempo:** Es un subprograma que determina el siguiente evento a ocurrir en la lista de eventos.
- **Ruta para Evento:** Rutina que actualiza el estado del sistema cuando un tipo de evento ocurre, hay una rutina para cada tipo de evento.
- **Rutinas de Librería:** Son el conjunto de subprogramas usados para generar observaciones de acuerdo a distribuciones de probabilidad.
- **Generador de Tráfico:** Este componente generará de manera aleatoria los pasajeros que arriban al sistema, la generación de pasajeros se hará usando el modelo de un proceso de Poisson y la aproximación por número de ocurrencias. Un modelo de Poisson es un proceso estocástico en donde no se tiene certeza del momento en el que ocurrirán los eventos y estos eventos independientes.
- **Generador de Reportes:** Es un subprograma que mide el desempeño del sistema produciendo un reporte una vez la simulación termina.
- **Programa Principal:** Es un subprograma que invoca la rutina de tiempo para determinar el siguiente evento y transferir el control a la correspondiente rutina de evento y actualizar el estado del sistema apropiadamente. El programa principal verifica de igual manera la terminación de la simulación y llama la visualización del reporte estadístico.

3.2 Implementación de la Simulación

3.2.1 Principios de Diseño

- El simulador debe ser parametrizable en los aspectos que tienen mayor relevancia en la simulación.
- La aplicación debe correr en cualquier sistema operativo, debe desarrollarse bajo un lenguaje portable.
- No se desarrollarán rutinas matemáticas o utilitarias si existe una librería de código libre que se pueda usar.
- El simulador debe ser de código libre y abierto para la comunidad científica.

- Es de gran valor presentar la dinámica del sistema gráficamente, con esto cualquiera podría decir si el sistema es eficiente o no.
- Al final de cada simulación debe mostrarse un informe estadístico del desempeño del sistema.

3.2.2 Componentes de Software del Simulador

De acuerdo al análisis realizado y siguiendo los principios de diseño, se contemplan los siguientes módulos del simulador.

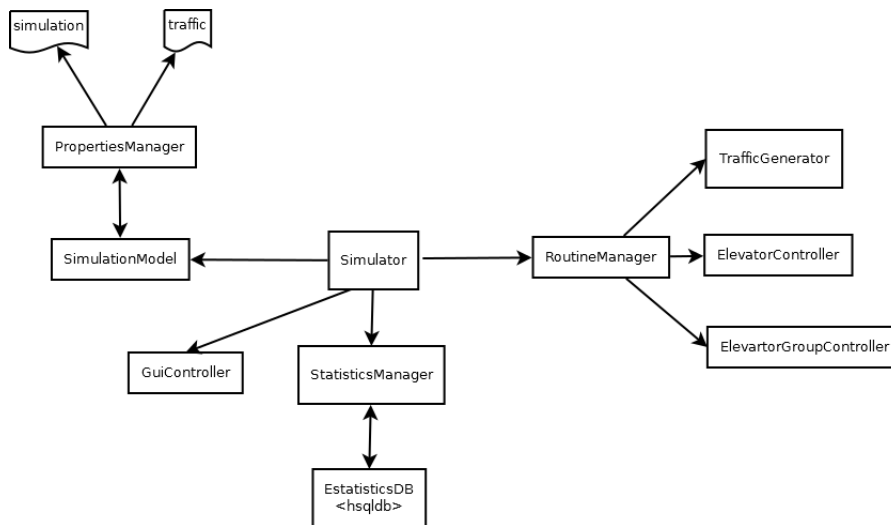


Figura 3.6: Módulos del Simulador

3.2.2.1 Properties Manager

Debido a que el simulador está diseñado para adaptarse a cualquier tipo de edificación así como a los diferentes patrones de tráfico que se experimenten en la misma, es necesario que los parámetros de un sistema en particular puedan ser ingresados en el sistema y el simulador se adapte a tales condiciones imitando de una forma cercana el sistema modelado. Cuando se busca modelar un sistema es necesario reunir un número importante de parámetros que lo representen, estos parámetros por lo general son difíciles de identificar, para obtenerlos puede ser necesario un estudio muy riguroso del mismo, así como contar con una logística apropiada, el sistema analizado será traducido en datos que podrán ingresarse en el sistema, éste debe permitir ingresar los datos de una manera fácil y ágil, además debe permitir exportar estos datos para que sean compartidos con otros usuarios, permitiendo así que un estudio pueda ser incluido en diferentes ordenadores, proporcionando a la comunidad académica datos confiables. Este módulo será el encargado de establecer las datos con los cuales se ejecute la simulación, por nombrar algunos:

Del Ascensor

- Número De Pisos
- Número De Ascensores
- Piso Portal
- Velocidad De Ascensor
- Retardo Ingreso en Ascensor
- Máximo Número de Pasajeros dentro del Ascensor

De la simulación

- Tiempo de simulación
- Factor de avance
- Número de fracciones de la simulación
- Fuente de tráfico
- Controlador
- Base de datos

3.2.2.2 Traffic Generator

Se entiende por tráfico en una edificación; el movimiento o tránsito de personas dentro del edificio, este tráfico tiene dos componentes tasa de arribo y probabilidad de destino, en donde:

- **Tasa de Arribo:** Es el número de usuarios que llegan al sistema en determinado espacio de tiempo. La tasa de arribo en una edificación cambia de acuerdo a dos factores, uno es el tiempo en el que se mide y otro es el piso en el que se realice la correspondiente medición, este tráfico podemos representarlo como un vector de dos dimensiones, en el cual la tasa de arribo ingresada es el número de pasajeros que entran al sistema cada 5 minutos, se escogió un espacio de tiempo de cinco minutos ya que es representativo para la simulación [Hak03].
- **Probabilidad de destino:** Es la probabilidad que estando en el piso P_o el pasajero se dirija al piso destino P_d , esta probabilidad se puede representar como un vector de tres dimensiones en donde los componentes son: $\langle P_o, P_d, \text{Probabilidad} \rangle$.

3.2.2.3 Simulation Model

Este artefacto representa la edificación simulada con sus pisos, cabinas de ascensor y sus dinámica de movimiento, pasajeros, llamadas. Estas características fueron cargadas del archivo de configuración correspondiente por el componente `properties manager`.

Este modelo de la simulación va a ser modificado por el modulo principal que ya se explica a continuación y que es el Simulator. A lo largo que toda la simulación este componente será una representación de la edificación la cual servirá para conocer el estado de la simulación.

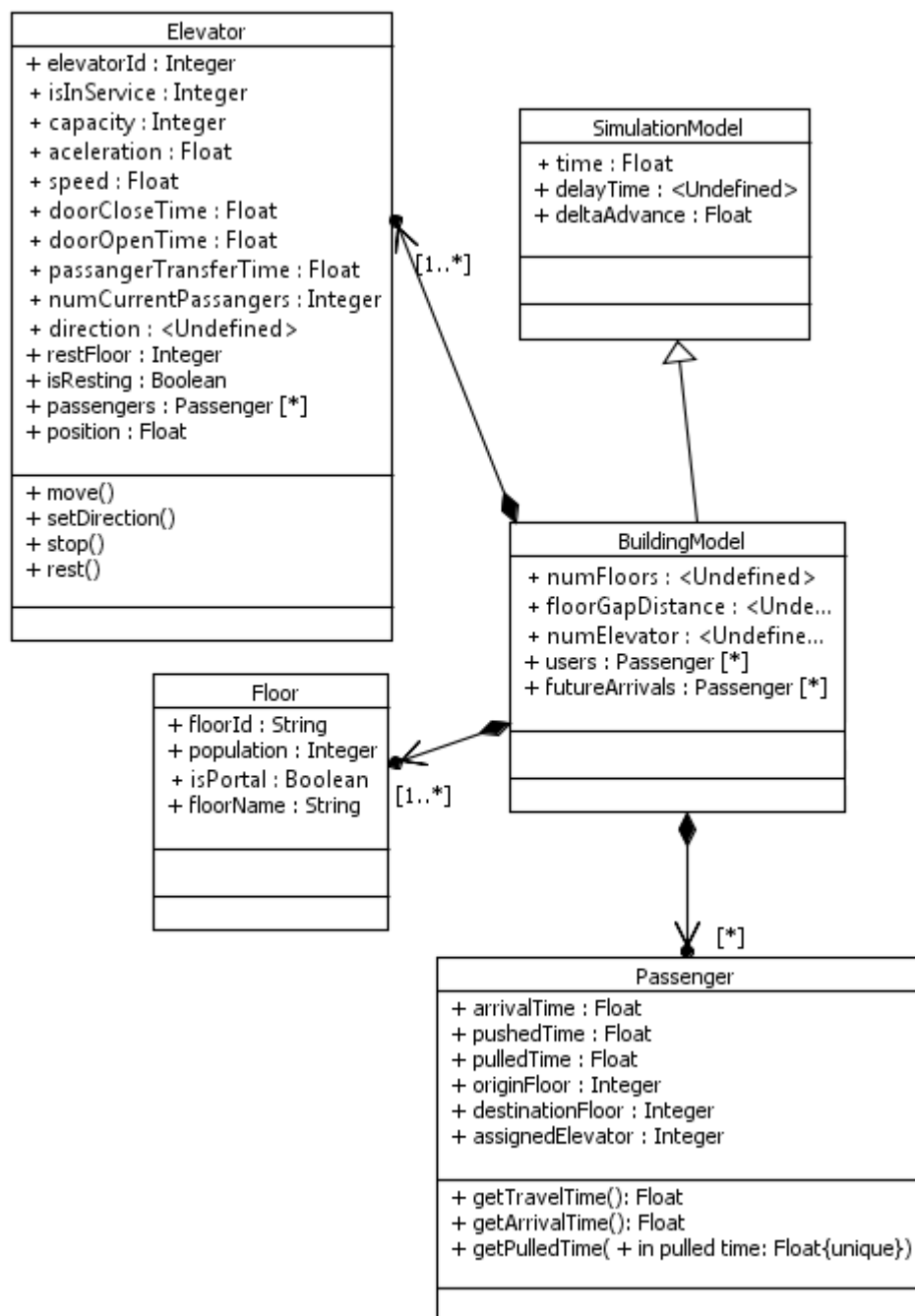


Figura 3.7: Diagrama de clases simulation model

3.2.2.4 Building Simulator

Este componente es el encargado de coordinar las tareas necesarias que se ejecutan durante del ciclo de vida de la simulación lo hace por medio del componente RoutineManager. Es el componente central de la simulación y tiene comunicación con todos los demás componentes de la simulación.

En la siguiente figura se presenta un diagrama de flujo detallando los pasos que ocurren durante la simulación, la coordinación de estas tareas es responsabilidad del componente central BuildingSimulator.

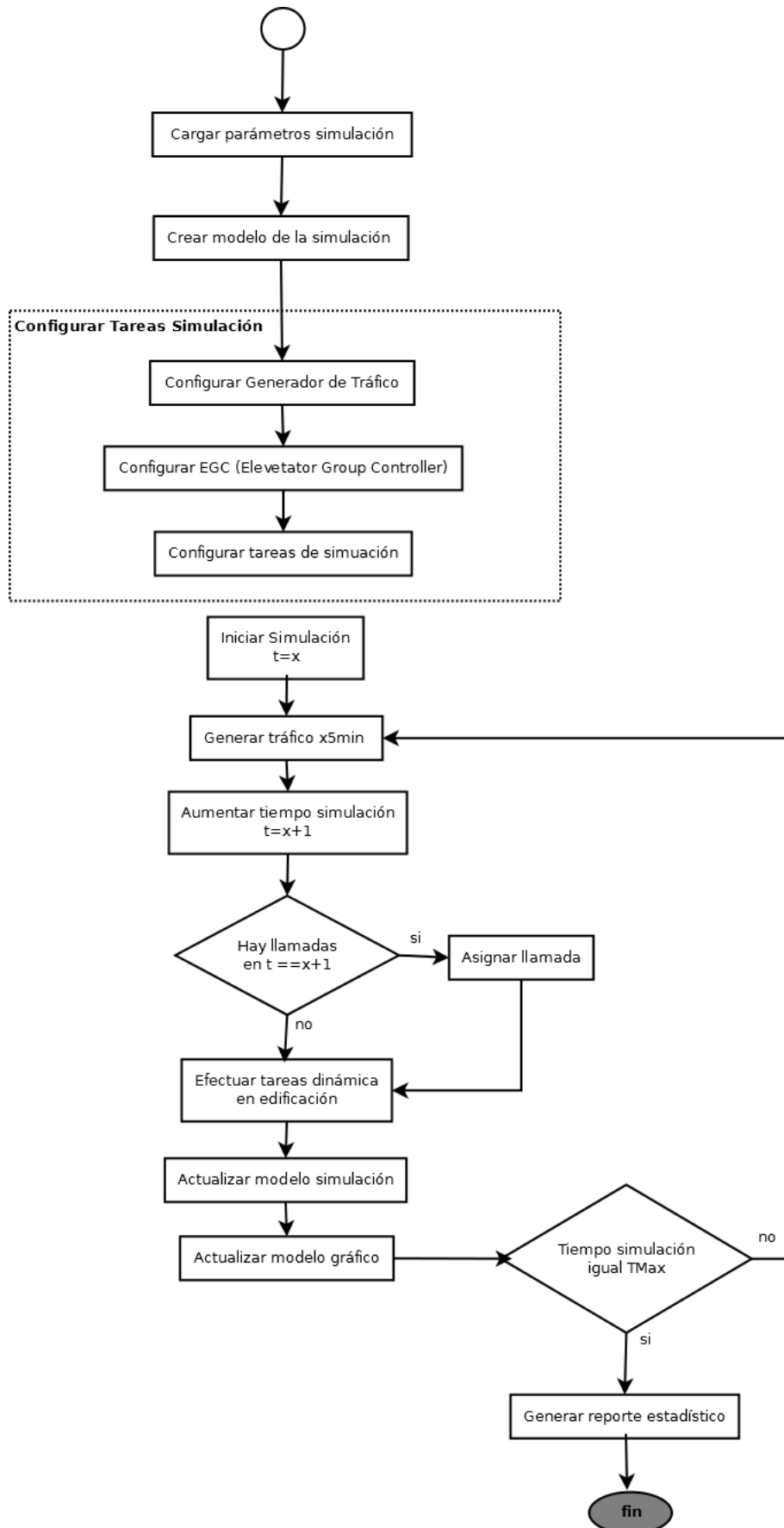


Figura 3.8: Diagrama de flujo resumido simulación

3.2.2.5 Routine ManagerRoutine Manager

Este componente gestiona en un solo hilo de ejecución las tareas: TrafficGeneratos, Elevator Group Controller (Rutina para asignar las llamadas) y Elevator Controller (Rutina que ejecuta la dinámica de cada cabina de ascensor). Se decide ejecutarlo en un solo hilo para no perder la sincronización entre las tareas y no introducir error en la simulación por los tiempos de procesamiento que tiene cada una de as tareas que en algunos casos pueden ser significantes.

Este componente gestiona el inicio, ejecución y muerte de cada una de las rutinas que se configuren. Ya que la arquitectura lo permite se podría en cualquier momento introducir una nueva rutina de manera fácil.

3.2.2.6 GUI Controller

Este componente será el encargado de mantener un modelo visual 2d de edificación simulada. Además incorporará un componente tipo linea de comandos para poder introducir llamadas al sistema de manera manual. Este componente se ejecuta en un hilo separado del hilo de la simuación, esto para mejorar el desempeño de la aplicación, ya que en este caso no es tan crítico perder algo sincronía con la simulación es posible mantenerlo en un hilo independiente.

3.2.2.7 Statistics Manager

El fin de de la simulación es poder verificar el desempeño de los diferentes tipos de controladores para grupo de ascensores en un ambiente similar al ambiente real, para saber si determinado algoritmo de control presenta una rendimiento superior en cuanto a los objetivos trazados (tiempo de viaje, tiempo de espera, energía consumida).

La verificación de esta tesis se hará mediante un estudio de los resultados obtenidos durante la ejecución de la simulación, este estudio incluirá el tiempo de espera de cada pasajero generado por el sistema, así como la energía consumida por los ascensores medida respecto a la distancia recorrida por los mismos. Sería posible realizar este estudio manualmente, y mostrar las cifras que avalen tales resultados, pero con el fin de automatizar este proceso y de hacerlo más entendible y vistoso al usuario final, se creó el módulo de reportes con el cual se generarán los reportes definidos una vez culminada la simulación. El Módulo de Reportes es el encargado de generar y visualizar los reportes generados con los datos obtenidos de la simulación, este módulo contiene 2 componentes.

1. Motor Base De Datos: HsqlDB es una base de datos embebida en el software , se escogió este motor por su alto desempeño de acceso y además por que puede ser embebida en la aplicación, permitiendo así que el software pueda ser ejecutado sin previa instalación de otros productos.

2. Gráficas Estadísticas: JasperReports motor de reportes opensource desde el cual se puede exportar el reporte a formatos PDF, EXCEL, HTML.

3.2.3 Modelo de Clases

La siguiente imagen muestra el diagrama de clases del simulador, detallando las relaciones que existen entre las clases que usa el simulador.

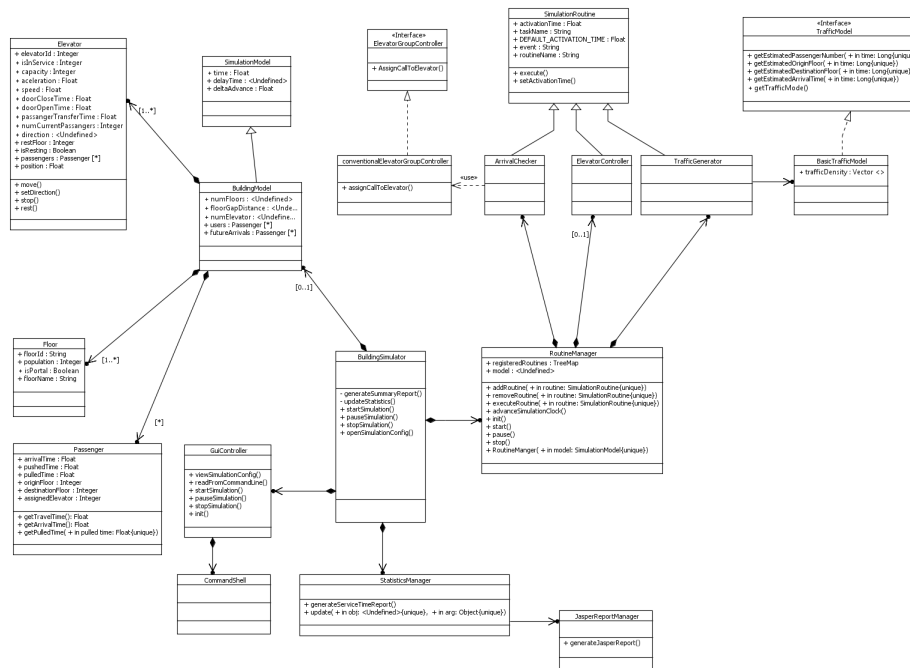


Figure 3.9: Diagrama de clases

3.2.4 Dinámica de Arribo de Pasajeros

Los usuarios arribaran al sistema siguiendo un proceso de Poisson, esto es aceptado en generalmente en las investigaciones de este tipo [Bar03]. La distribución de Poisson ha sido también usada para describir otros fenómenos como: la generación de partículas radioactivas o la cantidad de llamadas que son recibidas por una central telefónica.

La probabilidad de tener n pasajeros en el intervalo de tiempo T para una tasa de arribo obtenida de la experiencia de λ (en llamadas por segundo) es:

$$p_r(n) = \frac{(\lambda T)^n}{n!} e^{-\lambda T}$$

3.2.5 Diseño del Controlador de Grupo de Elevadores

- El elevador no llevara a un pasajero dentro del ascensor en dirección contraria a la que él se dirige.
- La capacidad de cada ascensor son n personas, y si el cupo está lleno no atenderá llamadas.
- Un elevador viaja a una velocidad constante de n pisos por segundo.
- Atender cada piso toma n segundos. Durante este tiempo entran y salen del ascensor α personas, por lo tanto el tiempo que el ascensor está detenido en cada piso es: $n + \alpha(\rho)$, en donde ρ es un factor multiplicador.
- Un ascensor no ignorará ninguna llamada, a no ser que esté ejecutando una de las restricciones anteriormente mencionadas.

3.2.5.1 Controlador Convencional

El diseño de controladores convencionales en el campo de tráfico de pasajeros en edificaciones está orientado por reglas de tráfico fijas en las cuales no se tienen en cuenta la optimización del servicio. Esta aproximación no tiene en cuenta la naturaleza dinámica del problema que implica parámetros de operación cambiantes -por patrones de tráfico diferentes y fluctuaciones en el transcurrir normal de los mismos-.

En la actualidad se han normalizado un grupo de algoritmos para el control de elevadores, éstos se programan en microprocesadores y se convierten en soluciones generalizadas al problema del control de tráfico [MLdZCPSSdP96]. A continuación se describen brevemente los principios básicos de los algoritmos más empleados.

- **Maniobra Universal Por Pulsadores:** Cuando el ascensor está desocupado, y es el primero en recibir la orden ira a atender la llamada. Si durante el funcionamiento se solicita el ascensor desde cualquier otra planta la llamada será ignorada y el carro seguirá obedeciendo la orden que ha iniciado la llamada.
- **Maniobra Duplex:** Cualquier llamada es atendida por el elevador que se encuentre libre; pero si están libre dos elevadores, acudirá a la llamada el que esté mas próximo al piso origen del llamado. Solamente acude un elevador a cualquier llamado.
- **Maniobra Colectiva selectiva en los dos sentidos:** El elevador va a registrar únicamente los llamados que se generen en el sentido que va el ascensor. Es decir si el ascensor va hacia arriba sólo se registrarán los llamados que se hagan en los pisos superiores, y si va hacia abajo sólo registrará los que se generen en pisos inferiores. El sentido se invierte cuando el elevador llega al último piso, ya sea por una llamada de piso o una llamada de ascensor.

Reglas Básicas

El control convencional usualmente atiende las llamadas hechas por los pasajeros siguiendo ciertas reglas básicas:

- El elevador no llevara a un pasajero dentro del ascensor en dirección contraria a la que él se dirige.
- La capacidad de cada ascensor son n personas, y si el cupo está lleno no atenderá llamadas.
- Un elevador viaja a una velocidad constante de n pisos por segundo.
- Atender cada piso toma n segundos. Durante este tiempo la persona entrara o saldrá del ascensor. Si el número de personas es mayor que n se necesitaran de $n+2$ segundos.
- Un ascensor no ignorará ninguna llamada, a no ser que esté ejecutando una de las restricciones anteriormente mencionadas.

3.2.6 Criterios De Desempeño

Para medir la eficiencia del sistema de control usado, usualmente se tienen criterios de desempeño orientados al servicio. Estos criterios buscan reducir la insatisfacción del cliente en cuanto al tiempo que invierte para movilizarse desde su piso origen hasta el piso destino. El criterio de desempeño más usado en cualquier tipo de edificación diurna va en busca de reducir el tiempo de espera que el pasajero gasta desde que oprime el botón de llamada y el tiempo que el ascensor toma para llevar el pasajero a su piso destino [HH08].

Se tendrán en cuenta como criterios de optimización de servicio el “Tiempo de Espera” y el “Tiempo de Viaje”.

- **Tiempo de Espera:** Uno de los factores que justifica como objetivo el tiempo de espera es que psicológicamente una pasajero pierde la paciencia después de esperar 60 segundo en promedio [Bar03].
- **Tiempo de Viaje:** Es también comprobable que psicológicamente una persona espera a lo sumo que el tiempo desde que toma el ascensor hasta que llega a su piso destino no debe ser mayor a los 90 segundos [Bar03].
- **Situación de emergencia:** por medio de estudios realizados se determinó que el tiempo en el que se debe efectuar una evacuación completa de una edificación esta entre los 15 y 30 minutos [Hak03].

3.2.6.1 Desempeño dado por el Tiempo De Espera

En un sistema de elevadores con buen desempeño se observa que el tiempo de espera sigue una distribución exponencial [Bar03], de esta forma:

$F_t = \exp(-t/T_{av})$, en donde T_{av} , es el promedio de tiempo de espera y F_t muestra las fracciones de tiempos de espera que exceden el tiempo t .

Service level	Average waiting time	% of passengers served within		
	(s)	30 s	60 s	90 s
Excellent	< 20	75%	95%	99%
Good	20 – 30	65%	85%	95%
Satisfactory	30 – 40	50%	75%	90%
Acceptable	40 – 60	40%	60%	75%

Figura 3.10: Criterio de desempeño <Tiempo de Espera>

3.2.6.2 Desempeño dado por el Tiempo De Viaje

Para el “Tiempo de Viaje” se usa una distribución Gamma. Los límites de esta se encuentran en la Figura.

Service level	Average time to destination	% of passengers served within		
	(s)	90 s	120 s	150 s
Excellent	< 80	70%	85%	95%
Good	80 – 100	40%	75%	90%
Satisfactory	100 – 120	15%	50%	80%
Acceptable	120 - 150	5%	20%	55%

Figura 3.11: Criterio de desempeño <Tiempo de Viaje>

4 Modelo Multi Agente

Un Sistema Multi-Agente (Multi-Agent Systems, MAS) es una sociedad organizada compuesta por agentes autónomos que interactúan entre sí, ya sea para colaborar en la solución de un conjunto de problemas o en la consecución de una serie de objetivos individuales o colectivos [Sto00].

4.0.7 Descripción General De Los Agentes

Debido a la complejidad del sistema simulado, se hace importante el modelado de las entidades por medio de agentes. Estos agentes interactúan entre ellos para cooperar y ofrecer un mejor servicio.

Hay agentes que simplemente ofrecen funcionalidad de dinámica dentro del simulador, otros de estos agente tienen tareas de estimación y un agente central que es el que se encarga de asignarle a agente controladores de cabinas de ascensor las llamadas de acuerdo a las condiciones que éstos tengan para servir en mejor medida la llamada.

4.0.7.1 Agente Controlador de Cabina

Este agente es el encargado de ejecutar las acciones de control con el fin de movilizar los pasajeros del ascensor desde su piso de origen hasta su piso destino

4.0.7.2 Agente Asignador de Llamadas

Este agente tiene como función recibir de los agentes controladores de cabina las apuestas en términos de características de servicio y de acuerdo a una heurística asignar la llamada al elevador que de mejor manera pueda servirla

4.0.7.3 Agente Estimador Patrón de Tráfico

La función de este agente es medir las variables ambientales y determinar el tipo de tráfico presente en la edificación, esta información que provee el agente sirve como criterio de decisión en el momento de la asignación de la llamada

4.0.7.4 Agente Generador de Tráfico

La función de este agente es determinar el número de pasajeros que arriban al sistema en un espacio de tiempo dt , este agente también tiene la responsabilidad de determinar el piso origen y el piso destino basandose en datos de tráfico estadísticos propios de la edificación

4.0.7.5 Agente Estimador Tiempo W

Este agente tiene como función estimar el tiempo en que tarda la cabina en llegar desde su piso origen hasta el piso donde se encuentra la llamada

4.0.7.6 Agente Estimador Tiempo S

La función de este agente es estimar el tiempo que tarda en llegar un pasajero desde su piso origen hasta su piso destino

4.0.8 Descripción de Entidades Externas

Nombre Entidad	Descripción	Tipo
Edificio	Espacio dentro del cual se movilizan personas u objetos, es el ente contenedor de los elevadores del sistema.	Entidad Pasiva
Ascensor	Es el objeto que se encarga de recorrer el edificio transportando a las personas entre sus diferentes pisos	Entidad Pasiva
Piso(s)	Objeto componente del edificio, a través de los cuales se desplaza el elevador transportando a las personas	Entidad Pasiva
Pasajero	Es el objeto a transportar entre las diferentes plantas o pisos de la edificación, presenta un comportamiento aleatorio en cuanto a la tasa de arribo	Actor

4.0.9 Descripción del Ambiente

El ambiente está compuesto por la edificación simulada, el cual es un sistema abierto integrado por pisos, pasajeros, llamadas, cabinas de ascensor, y la dinámica tanto de tráfico como la cinemática de los elementos físicos usados para transportar los usuarios del sistema

4.0.10 Descripción Detallada de Agentes

Nombre	Agente Controlador de Cabina	
Sensores	Sensor de peso	Determina el número de personas presentes en la cabina, basandose en el peso de estas
	Sensor de Puerta	Identifica si la puerta del ascensor se encuentra abierta o cerrada
	Sensor de Piso	Detecta si el ascensor a llegado a un piso
Actuadores	Actuador de puerta	Se encarga de abrir o cerrar la puerta para el ingreso o salida de pasajeros
	Actuador de Cabina	Hace que la cabina del ascensor se diriga en una dirección determinada (arriba, abajo)
Meta	Movilizar a un pasajero de un piso origen a un piso destino en el menor tiempo posible	

Nombre	Agente Asignador de llamadas	
Sensores	Sensor de llamada generada	Determina en que piso se esta generando la llamada
Actuadores	Actuador asignador de llamada	Basandose en los criterios establecidos el actuador identifica una cabina de ascensor que pueda atender eficientemente la llamada
Meta	Asignar de manera eficiente las llamadas generadas dentro de la edificación. El agente contará con un algoritmo de control especializado para estimar cual cabina puede atender más rápidamente y de mejor manera la llamada generada.	

Nombre	Agente Estimador Patrón de Tráfico	
Sensores	Sensor Cantidad de llamadas por piso	Identifica el número de llamadas generadas en cada piso así como su piso de destino
Actuadores	Actuador Patrón de tráfico	Se encarga de enviar un mensaje indicando el tipo de tráfico presente en la edificación (Subida, bajada y entre pisos)
Meta	Identificar el tipo de tráfico que se esta presentando en la edificación (Subida, bajada y entre pisos)	

Nombre	Agente Generador de Tráfico	
Sensores	Sensor Cronómetro	Identifica la hora o espacio de tiempo de la simulación
Actuadores	Generador de llamadas	Determina el número de llamadas que estadísticamente se presentan en una edificación en determinado espacio de tiempo. Además determina su piso origen y piso destino para cada una de ellas
Meta	Replicar el comportamiento de tráfico presente en una edificación real basandose en información estadística sobre el flujo de usuarios en el edificio	

Nombre	Agente Estimador Tiempo W	
Sensores	Sensor Posición del elevador	Determina el piso en el que se encuentra el elevador en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Pasajeros en el elevador	Determina el número de pasajeros en el elevador en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico de Entrada	Determina el porcentaje de tráfico de entrada en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico de Salida	Determina el porcentaje de tráfico de salida en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico entre Pisos	Determina el porcentaje de tráfico entre pisos en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Dirección del elevador	Determina la dirección del elevador en el momento en el que se genera la llamada
Actuadores	Estimador de Tiempo	Se encarga de estimar el tiempo que debe esperar un pasajero desde el momento en que ingresa la llamada hasta que la cabina llega al piso en el que se encuentra para atenderla
Meta	Estimar de manera acertada la cantidad de tiempo que debe esperar un pasajero desde el momento en que ingresa la llamada hasta que la cabina llega al piso en el que se encuentra para atenderla	

Nombre	Agente Estimador Tiempo S	
Sensores	Sensor Pasajeros en el elevador	Determina el número de pasajeros en el elevador en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico de Entrada	Determina el porcentaje de tráfico de entrada en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico de Salida	Determina el porcentaje de tráfico de salida en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Porcentaje Tráfico entre Pisos	Determina el porcentaje de tráfico entre pisos en el momento en el que se genera la llamada
	Sensor Dirección del elevador	Determina la dirección del elevador en el momento en el que se genera la llamada
Actuadores	Estimador de Tiempo	Se encarga de estimar el tiempo que debe esperar un pasajero desde que es recogido en su piso origen hasta que es llevado a su piso de destino
Meta	Estimar de manera acertada la cantidad de tiempo que debe esperar un pasajero desde que es recogido en su piso origen hasta que es llevado a su piso de destino	

4.0.11 Interacciones

Las diferentes interacciones entre los agentes se muestran en la siguiente figura. De estas interacciones se detallará sobre 3 de ellas que importantes para el control del grupo de elevadores y que internienen directamente sobre el rendimiento en el objetivo de control, el cuál se recuerda que es reducir el tiempo de espera y de viaje de los pasajeros así como la energía consumida.

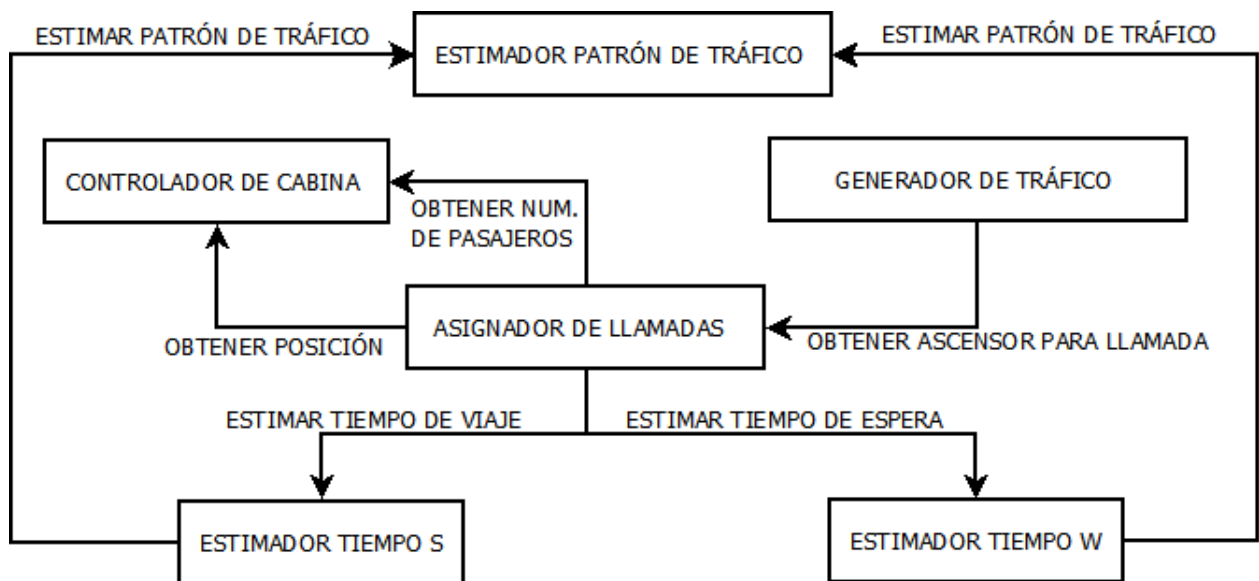


Figure 4.1: Diagrama Interacciones

ID	NOM BRE	DATOS	DESCRIPCIÓN
IN 1.	ESTIMAR PATRÓN DE TRÁFICO	1. Número de pasajeros entrando a la edificación	Información del patrón de tráfico presente en la edificación (Subida, bajada y entre pisos)
		2. Número de pasajeros saliendo de la edificación	
		3. Número de pasajeros moviéndose entre pisos en la edificación	
		4. Tiempo en el que se encuentra la simulación	
IN. 2	OBTENER NUM. PASAJEROS	1. Número de pasajeros viajando en el ascensor	Información del número de pasajeros que estan viajando en la cabina de ascensor
		2. Tiempo en el que se encuentra la simulación	
IN. 3	OBTENER POSICIÓN	1. Tiempo en el que se encuentra la simulación	Información acerca del piso en el que se encuentra el elevador
		2. Identificador del elevador al que se le calcula la posición	
IN. 4	OBTENER ASCENSOR PARA LLAMADA	1. Estado del elevador	Elevador que pueda atender en mejor medida de acuerdo a los criterios de desempeño la llamada generada. La desición se toma usando reglas de desición difusas.
		2. Estimado de tiempo para atender la llamada	
		3. Estimado de tiempo para servir la llamada	

IN. 5	ESTIMAR TIEMPO DE ESPERA	4. Tiempo en el que se encuentra la simulación	Pronóstico del tiempo que puede tardar el ascensor en llegar al piso origen de la llamada, este agente utiliza un estimador basado en redes neuronales.
		5. Peso de la llamada	
		6. Capacidad ocupada del elevador	
		1. Piso en el que se encuentra el elevador	
		2. Carga del elevador	
		3. Porcentaje de la población de la edificación que se dirige desde un piso portal hacia pisos superiores	
		4. Porcentaje de la población de la edificación que se dirige desde los pisos superiores hacia el piso portal	
		5. Porcentaje de la población de la edificación que se esta trasladando entre los pisos superiores de la edificación	
IN. 6	ESTIMAR TIEMPO DE VIAJE	6. Dirección en la que se dirige la cabina de ascensor	Pronóstico del tiempo que tarda el pasajero en la cabina de ascensor desde el piso origen hasta el piso destino, este agente utiliza un estimador basado en redes neuronales.
		1. Carga del elevador	
		2. Porcentaje de la población de la edificación que se dirige desde un piso portal hacia pisos superiores	
		3. Porcentaje de la población de la edificación que se dirige desde los pisos superiores hacia el piso portal	
		4. Porcentaje de la población de la edificación que se esta trasladando entre los pisos superiores de la edificación	

		5. Dirección en la que se dirige la cabina de ascensor	
--	--	--	--

4.0.11.1 ESTIMAR TIEMPO DE ESPERA y EL EL TIEMPO DE VIAJE

El tiempo que un pasajero debe esperar desde el momento en que presiona el botón para registrar la llamada hasta que el ascensor pasa a recogerlo no es preciso. No es posible conocerlo con anticipación ya depende de las futuras llamadas que se hagan al ascensor y de los desplazamientos que deba hacer. Debido a esta naturaleza de incertidumbre en la determinación del tiempo de espera es necesario hacer una predicción teniendo como principal criterio el tráfico que se está generando en la edificación.

Este mismo caso ocurre con el tiempo de viaje que debe hacer un pasajero, la naturaleza de éste es incierta pero se podría determinar un valor cercano haciendo uso de un estimador basado en redes neuronales. A continuación se presenta la arquitectura de red para los 2 casos.

Las entradas en ambos casos se presentan de manera normalizada para que la convergencia a la solución sea más rápida, las salidas de la red neuronal son una estimación en cuanto al tiempo que debe esperar o viajar un pasajero, esta salida también está normalizada.

Para el entrenamiento SUPERVISADO se usó la técnica de BACKPROPAGATION, y consistió en minimizar el error a lo largo de 8000 iteraciones. Debido a que una tasa de aprendizaje muy pequeña haría lento el aprendizaje y una tasa muy alta haría oscilar mucho el error, por experimentación el valor con mejor resultado fue usar una tasa de aprendizaje de 0.6.

Arquitectura Red Estimador Tiempo de Viaje La red neuronal artificial encargada de estimar el tiempo de viaje que tarda un pasajero desde que llega a recogerlo la cabina, hasta que llega a su piso destino. La red está compuesta de 5 neuronas de entrada, 50 neuronas en la capa oculta y 1 neurona de salida. Las entradas son obtenidas mediante la comunicación con otros agentes.

- **Pasajeros dentro del elevador:** es el número de pasajeros que se encuentran el elevador, esta entrada se obtiene del agente controlador de cabina.
- **% Tráfico de entrada de entrada:** es el porcentaje de tráfico que cumple con un patrón de ENTRADA, es decir que está llegando a la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.
- **% Tráfico de entrada de salida:** es el porcentaje de tráfico que cumple con un patrón de SALIDA, es decir que abandonando la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.

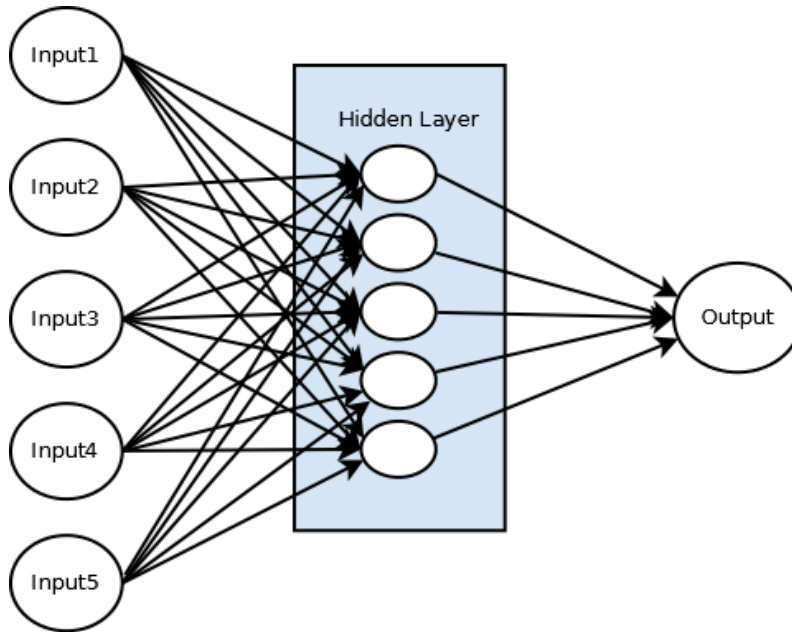


Figure 4.2: Arquitectura ANN Tiempo de Espera

- **% Tráfico de entrada de entre pisos:** es el porcentaje de tráfico que cumple con un patrón de ENTRE PISOS, es decir el porcentaje de la población en la edificación que se está moviendo entre los pisos de la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.
- **Dirección del elevador:** esta la dirección en la que se dirige la cabina ARRIBA o ABAJO, esta entrada se obtiene del agente controlador de cabina.

El entrenamiento de esta red neuronal se hace de manera supervisada, proveiendo a la red de ejemplos de tiempos de viaje obtenidos en el simulador. La evolución por épocas de la red neuronal con un coeficiente de aprendizaje de 0.6 y un momentum de 0.1, se muestra a continuación.

Arquitectura Red Estimador Tiempo de Espera La red neuronal artificial está encargada de estimar el tiempo que un pasajero debe esperar para que determinado ascensor llegue a recogerlo. Esta compuesta de 6 neuronas de entrada, 50 neuronas en la capa oculta y 5 neuronas de salida. Las entradas son obtenidas mediante la comunicación con otros agentes.

- **Posición del elevador:** es el piso en el que se encuentra el elevador, esta entrada se obtiene del agente controlador de cabina.
- **Pasajeros dentro del elevador:** es el número de pasajeros que se encuentran el elevador, esta entrada se obtiene del agente controlador de cabina.
- **% Tráfico de entrada de entrada:** es el porcentaje de tráfico que cumple

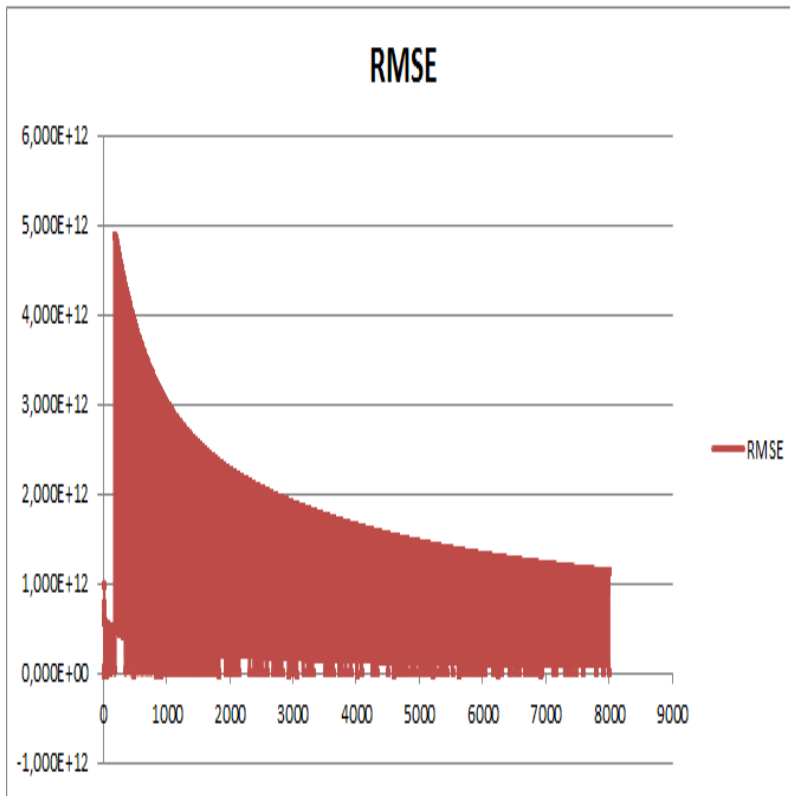


Figure 4.3: Raíz del error cuadrático para el estimador Tiempo Viaje

con un patrón de ENTRADA, es decir que está llegando a la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.

- **% Tráfico de entrada de salida:** es el porcentaje de tráfico que cumple con un patrón de SALIDA, es decir que abandonando la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.
- **% Tráfico de entrada de entre pisos:** es el porcentaje de tráfico que cumple con un patrón de ENTRE PISOS, es decir el porcentaje de la población en la edificación que se está moviendo entre los pisos de la edificación. Se obtiene del agente Estimador Patrón de Tráfico.
- **Dirección del elevador:** esta la dirección en la que se dirige la cabina ARRIBA o ABAJO, esta entrada se obtiene del agente controlador de cabina.

Como en el caso anterior esta red neuronal en entrenada de manera supervisada con ejemplos de tiempos de espera obtenidos en el simulador. El coeficiente de aprendizaje de 0.6 y un momentum de 0.1, en la siguiente figura se grafica la evolución en el aprendizaje.

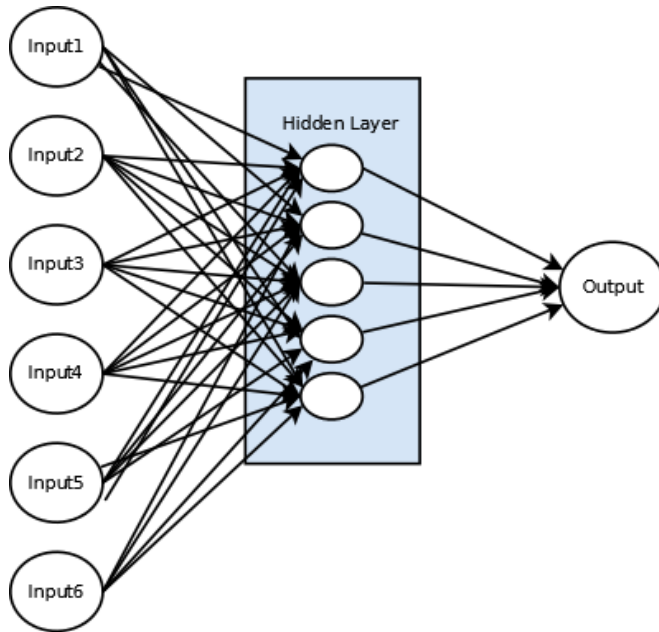


Figure 4.4: Arquitectura ANN Tiempo de Espera

4.0.11.2 OBTENER ASCENSOR PARA LLAMADA

Determinar que ascensor puede atender en una mejor medida una llamada es una decisión compleja. Está sujeta a muchas variables del ambiente que cambian en el tiempo y que tienen naturaleza estocástica. Por esta razón no es posible calcular con algoritmo de optimización la mejor opción de elevador para atender la llamada.

Por en este trabajo se propone tomar la decisión usando redes neurales (para estimar datos con incertidumbre) y reglas de inferencia difusas para tener en cuenta los objetivos de control trazados. Las reglas difusas se alimentan de datos que pueden ser calculados y otros que simplemente son estimados estadísticamente o por medio de las redes neuronales antes mencionadas.

Este tipo de controlador permite que la solución se robusta y que el control no se vea afectado ante el ruido que puedan presentar las variables de control.

Entradas Difusas Agente OBTENER ASCENSOR PARA LLAMADA Las entradas para el motor de inferencia difuso son tomadas como conjuntos Gaussianos, y por cada una estas entradas se definen 5 conjuntos difusos.

- **Estimación Tiempo de Espera:** Representa la estimación del tiempo que requiere un ascensor para viajar desde su posición actual hasta el piso en el que se genera la llamada, este datos se obtiene del agente estimador tiempo de espera. Esta entrada está normalizada $[0,1]$.

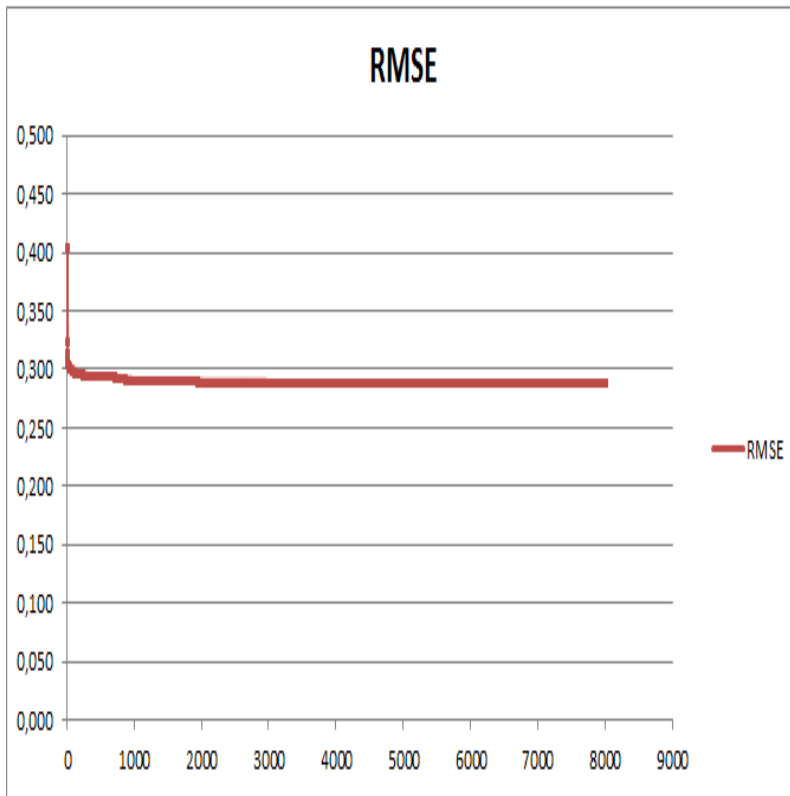


Figure 4.5: Raiz del error cuadrático para el estimador Tiempo Espera

- **Estimación Tiempo de Viaje:** Representa la estimación del tiempo que requiere un pasajero para ser transportado de su piso origen a su piso destino. Esta entrada está normalizada $[0,1]$.
- **Porcentaje de Ocupación del Elevador:** Porcentaje de ocupación de la cabina de ascensor, este dato se obtiene del agente Cabina de Ascensor. Esta entrada está normalizada $[0,1]$.
- **Paradas en Piso Origen:** Determina que tantas llamadas tiene el ascensor asignadas para el piso origen de la llamada en cuestión. Esta entrada está normalizada $[0,1]$.
- **Paradas en Piso Destino:** Determina que tantas llamadas tiene el ascensor asignadas para el piso destino de la llamada en cuestión. Esta entrada está normalizada $[0,1]$.

Salida Difusa Agente OBTENER ASCENSOR PARA LLAMADA La salida del motor de inferencia difuso es la prioridad que tiene el ascensor para la llamada, esta prioridad puede ser muy alta, alta, media, baja, muy baja.

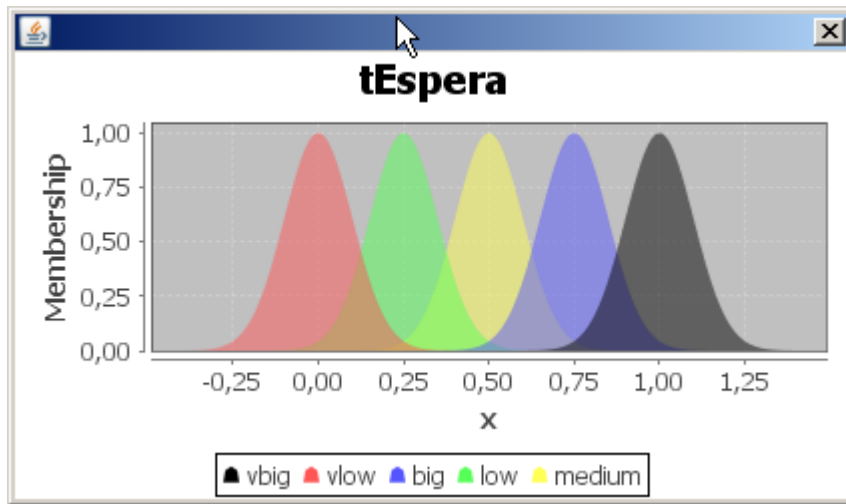


Figure 4.6: Conjuntos Difusos Tiempo de Espera

Reglas de Inferencia Difusas Agente OBTENER ASCENSOR PARA LLAMADA

Las reglas que determinan la prioridad de un ascensor para atender una llamada son 23. En estas reglas están plasmados los objetivos de control, cada una de estas reglas tiene un peso asociado que puede ser modificado por el agente de acuerdo al objetivo que tenga más importancia en el momento de la decisión.

Estas reglas se toman de acuerdo a los factores que tiene más importancia para cumplir con los objetivos de control.

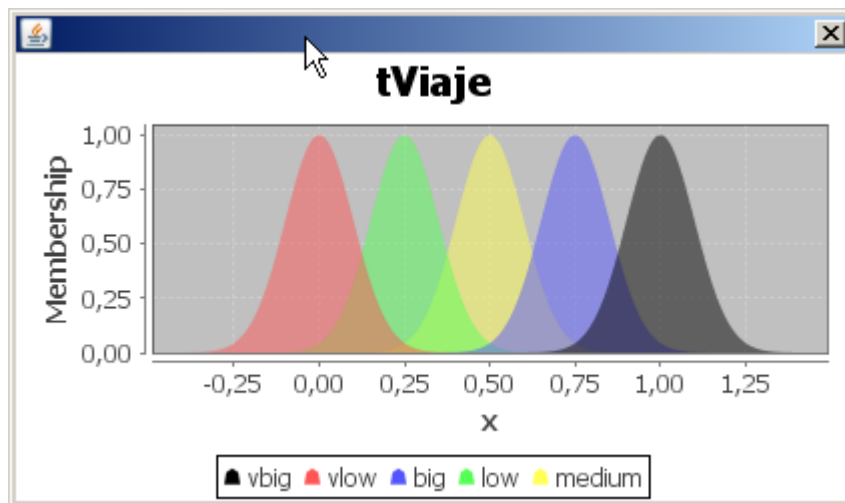


Figure 4.7: Conjuntos Difusos Tiempo de Viaje

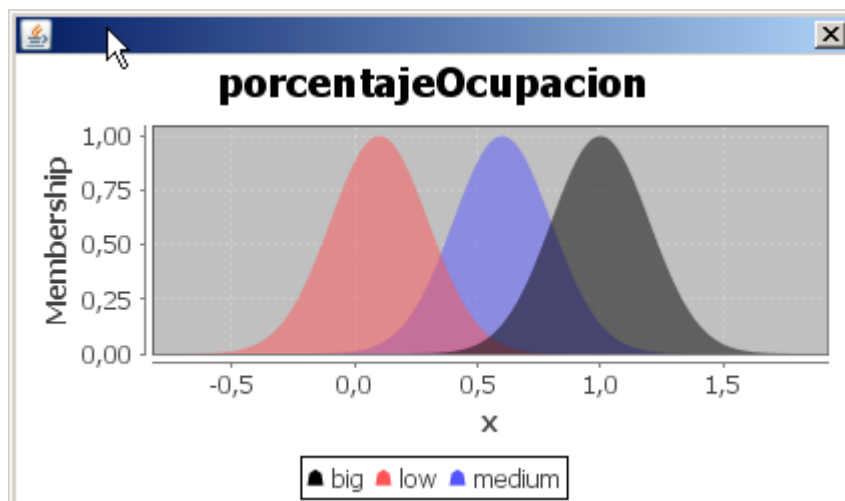


Figure 4.8: Conjuntos Difusos Porcentaje de Ocupación

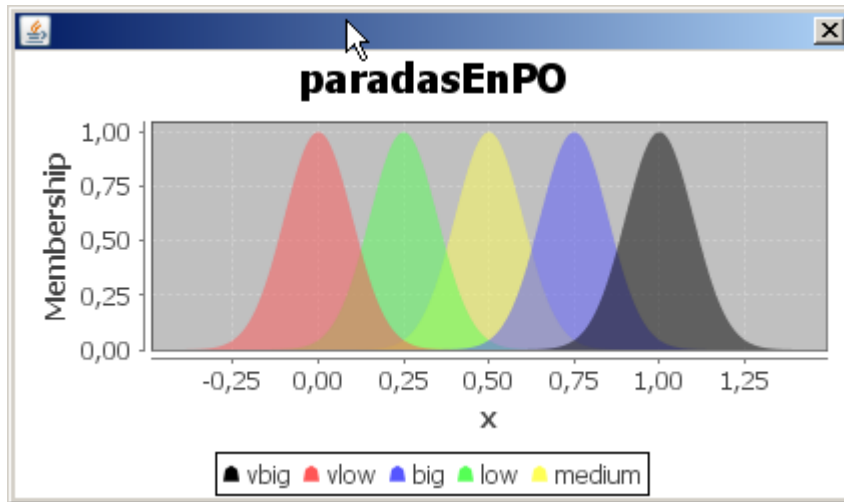


Figure 4.9: Conjuntos Difusos Paradas en Piso Destino

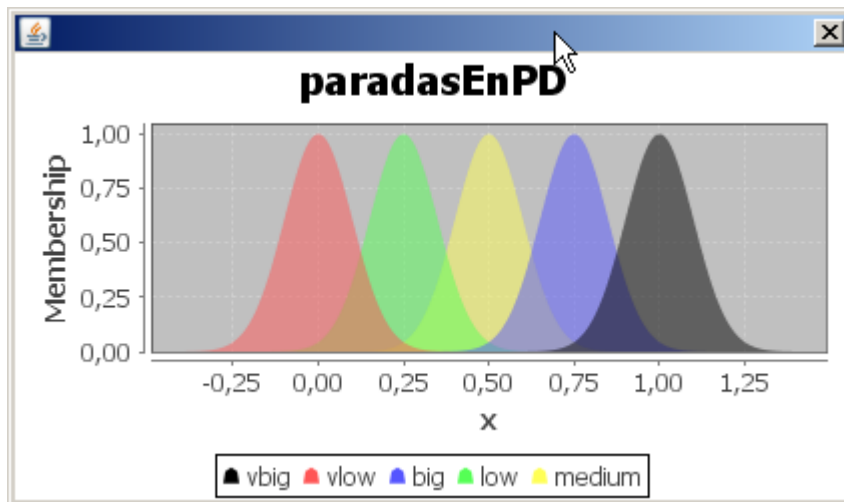


Figure 4.10: Conjuntos Difusos Paradas en Piso Destino

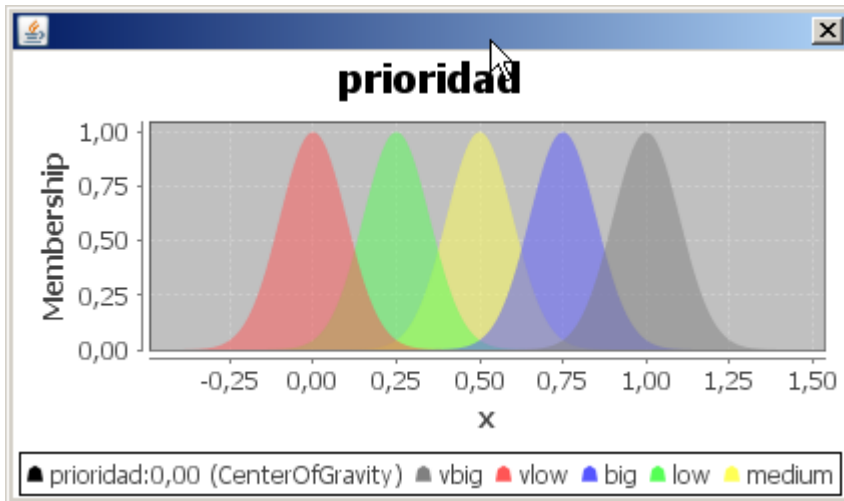


Figure 4.11: Salida Prioridad

Id	Regla de Inferencia
R1	Si “Estimación Tiempo de Espera” es MUY BAJO entonces la prioridad es MUY ALTA
R2	Si “Estimación Tiempo de Espera” es BAJO entonces la prioridad es ALTA
R3	Si “Estimación Tiempo de Espera” es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA
R4	Si “Estimación Tiempo de Espera” es ALTO entonces la prioridad es BAJA
R5	Si “Estimación Tiempo de Espera” es MUY ALTO entonces la prioridad es MUY BAJA
R6	Si “Estimación Tiempo de Viaje” es MUY BAJO entonces la prioridad es MUY ALTA
R7	Si “Estimación Tiempo de Viaje” es BAJO entonces la prioridad es ALTA
R8	Si “Estimación Tiempo de Viaje” es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA
R9	Si “Estimación Tiempo de Viaje” es ALTO entonces la prioridad es BAJA
R10	Si “Estimación Tiempo de Viaje” es MUY ALTO entonces la prioridad es MUY BAJA
R11	Si “Porcentaje de Ocupación” es BAJO entonces la prioridad es ALTA
R12	Si “Porcentaje de Ocupación” es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA
R13	Si “Porcentaje de Ocupación” es ALTO entonces la prioridad es BAJA
R14	Si “Paradas en Piso Origen” es MUY BAJO entonces la prioridad es MUY BAJA
R15	Si “Paradas en Piso Origen” es BAJO entonces la prioridad es BAJA
R16	Si “Paradas en Piso Origen” es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA
R17	Si “Paradas en Piso Origen” es ALTO entonces la prioridad es ALTA
R18	Si “Paradas en Piso Origen” es MUY ALTO entonces la prioridad es MUY ALTA
R19	Si “Paradas en Piso Destino” es MUY BAJO entonces la prioridad es MUY BAJA
R20	Si “Paradas en Piso Destino” es BAJO entonces la prioridad es BAJA
R21	Si “Paradas en Piso Destino” es MEDIO entonces la prioridad es MEDIA
R22	Si “Paradas en Piso Destino” es ALTO entonces la prioridad es ALTA
R23	Si “Paradas en Piso Destino” es MUY ALTO entonces la prioridad es MUY ALTA

Table 4.2: Tabla reglas de inferencia

5 Resultados

5.0.12 Introducción

Para verificar el desempeño del controlador desarrollado se tomo una edificación real y los parámetros de ésta se ingresaron en la simulación. Los detalles de cómo se ingresaron y el proceso de simulación que se muestra como ejemplo de presentan en el apendice del libro.

La torre simulada tiene una altura de 40 pisos, se usaron 4 ascensores y la población de la edificación se estableció en 3350 personas, con 3 distribuciones de tráfico presentes (ENTRADA, SALIDA, ENTREPISOS) y discretizada la entrada de pasajeros en segmentos de tiempo de 300 segundos. Los pasajeros arriban siguiendo un proceso de Poisson [Kel00], como se explicó en capítulos anteriores.

5.0.13 Parámetros de la Simulación

Para verificar el asigandor de llamada basado en inteligencia artificial y comparar su rendimiento respecto al controlador convencional se parametrizó el simulador de acuerdo a los siguientes valores.

Parámetro	Valor
Pisos	40
Elevadores	4
Capacidad Elevadores	8 personas
Aceleración	$2m/s^2$
Velocidad	$1m/s$
Tiempo Abrir puerta	1 segundo
Tiempo Cerrar puerta	1 segundo
Tiempo transferencia de pasajeros	1 segundo x pasajero
Distancia entre pisos	2 metros
Algoritmo de control para asignar llamada EGCS (Sim1)	Convencional
Algoritmo de control para asignar llamada EGCS (Sim 2)	AI
Tiempo de avance de la simulación	1 segundo = 10 milisegundos
Modelo de tráfico de entradas	Poisson

Table 5.1: Parámetros de la simulación

5.0.14 Asignador de LLamada EGCS Basado en IA

El ASIGNADOR DE LLAMADAS elige entre los ascensores que compiten por ésta, aquel que pueda prestar un mejor servicio. Esta decisión la toma con base en 5 criterios de decisión que són para él las entradas del motor de inferencia difuso. Recordemos brevemente las entradas.

1. **Estimación del tiempo de espera (TE):** este valor es entregado por el agente estimador W, él cual cuenta con una red neuronal ya entrenada que predice con certeza cuando se demorará en llegar el ascensor hasta el piso en donde aguarda el usuario.
2. **Estimación del tiempo de viaje (TV):** este valor es pronosticado por el agente estimador S, el cual usa una red neuronal entrenada para determinar de manera cercana cuando tiempo puede tardar un pasajero en llegar desde su piso origen hasta su piso destino.
3. **Porcentaje de ocupación del elevador (%O):** calculo del número de pasajeros sobre la capacidad del elevador. Entre más vacío esté más posibilidades tiene de atender el llamado.
4. **Paradas piso origen (PO):** si el ascensor tiene paradas en el piso origen del pasajero, tiene más posibilidad de atender la llamada.
5. **Paradas piso destino (PD):** si el ascensor tiene paradas en el piso destino del pasajero, tiene más posibilidad de atender la llamada.

Todas estas entradas son normalizadas a un valor entre $[0,1]$. Para tener una visión más clara de lo que hace el Agente asignador, se presentan los siguientes ejemplos.

5.0.14.1 Ejemplo 1

En el siguiente ejemplo se genera una llamada desde el piso 6 hasta el piso 12. El elevador 1 (transporta 1 pasajero) se encuentra en el piso 2 y tiene una parada en el piso 6. El elevador 2 (transporta 1 pasajero) está en el piso 5 y tiene una parada en el piso 17. El elevador 3 (transporta 2 pasajeros) está en el piso 2 y se dirige al piso 0. Veamos como procedería el agente asignador, usando el mecanismo tradicional y la lógica de control basada en redes neuronales y lógica difusa.

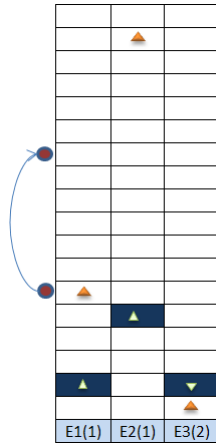


Figure 5.1: Ejemplo 1

- El mecanismo de decisión convencional le asignaría la llamada al elevador 2, debido a que se encuentra más cerca de la llamada.
- El mecanismo de decisión inteligente, tendría estos cálculos, por cada uno de los elevadores. Como se puede ver en la tabla, el elevador 1 tiene mayor prioridad a la hora de competir por la llamada, esto debido a que al evaluar la regla R16 que tiene que ver con las llamadas del elevador en el piso origen de la llamada tiene un valor superior a las demás evaluaciones. En este ejemplo queda claro que la lógica de control inteligente tiene mayor beneficio en términos de ahorro de energía porque está dejando de hacer una parada adicional.

	TE	TV	%O	PO	PD	Prioridad
Elevador 1	0.3	0.2	0.125	0.2	0	
Elevador 2	0.1	0.2	0.125	0	0	
Elevador 3	0.6	0.2	0.25	0	0	

5.0.14.2 Ejemplo 2

En el siguiente ejemplo se genera una llamada desde el piso 6 hasta el piso 12. El elevador 1 (transporta 2 pasajeros) se encuentra en el piso 6 y tiene una parada en el piso 17. El elevador 2 (transporta 3 pasajeros) está en el piso 9 y tiene una parada en el piso 14. El elevador 3 (transporta 4 pasajeros) está en el piso 6 y tiene una parada en el piso 17. Veamos como procedería el agente asignador en los casos.

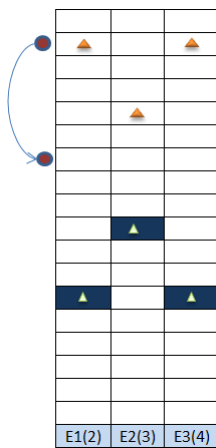
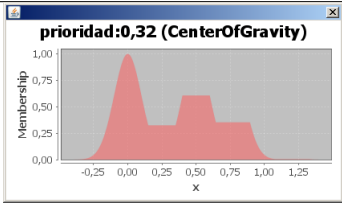
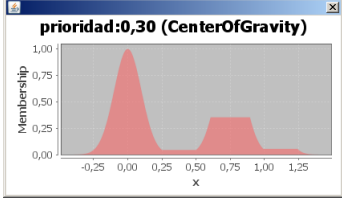
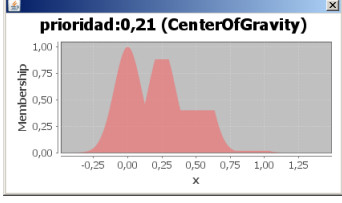


Figure 5.2: Ejemplo 2

- El mecanismo de decisión convencional le asignaría la llamada al elevador 2, debido a que se encuentra más cerca.
- El mecanismo de decisión inteligente, haría estos cálculos por cada elevador. Como se puede ver en la tabla, el elevador 1 tiene mayor prioridad a la hora de competir por la llamada. Se presenta en este caso un hecho de empate en cuando a la mayoría de las características, se podría pensar que tanto el elevador 1 como el 3 tienen las mismas posibilidades. Pero la regla 13 está hablando del porcentaje de ocupación y ya que el elevador 3 tiene más pasajeros, la evaluación de la regla permite el elevador 1 que está menos ocupado se quede con la llamada.

	TE	TV	%O	PO	PD	Prioridad
Elevador 1	0.6	0.3	0.125	0.2	0	
Elevador 2	0.2	0.2	0.25	0	0	
Elevador 3	0.6	0.3	0.5	0.2	0	

5.0.15 Resultados de la Simulación

Los resultados de la simulación revelan que haciendo uso de sistemas multiagente y usando la lógica de asignación basada en redes neuronales y lógica difusa se obtiene un mayor rendimiento en el sistema.

Ya que el simulador cuenta con reportadores estadísticos, los datos de desempeño arrojados por el simulador se presentan en forma de cuadro comparativo.

5.0.15.1 Tiempo de Espera

Como se puede constatar en los reportes estadísticos, el control convencional tuvo una media de espera de 148 seg, mientras que el controlador convencional tuvo una media de 108 segundos. Esto representa una mejora en el servicio prestado (27% menor), hay que notar que la varianza es mucho mayor en usando el control convencional, cerca de un 25%. Esto muestra una dispersión mayor en los resultados del controlador convencional.

5.0.15.2 Tiempo de Viaje

De acuerdo al tiempo de viaje de un pasajero, -desde que se sube al ascensor y hasta que se baja- se evidencia una reducción en los tiempo de servicio de un 25%. Esto muestra una dispersión mayor en los resultados del controlador convencional.

5.0.15.3 Energía Consumida

La energía consumida también logró ser reducida en cerca de un 10%, esta mejora a pesar de ser significativa si le permitirá a un edificio de gran altura ahorra millones de dolares en el consumo de energía.

Table 5.2: Comparación Tiempo de Espera

		Resultado Tiempo de Espera
AI	<div> <div> <div>Gráfico Tiempo de Servicio</div> </div> <div> <div>Gráfico Tiempo de Servicio</div> </div> </div>	<div> <div>Gráfico Tiempo de Servicio</div> </div> <div> <div>Gráfico Tiempo de Servicio</div> </div>

Table 5.3: Comparación Tiempo de Viaje

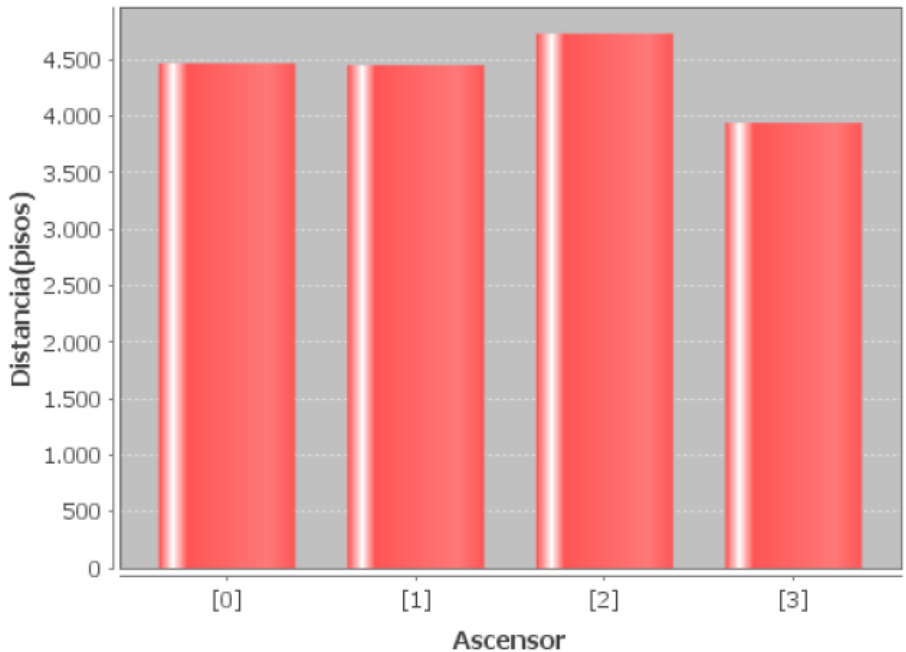
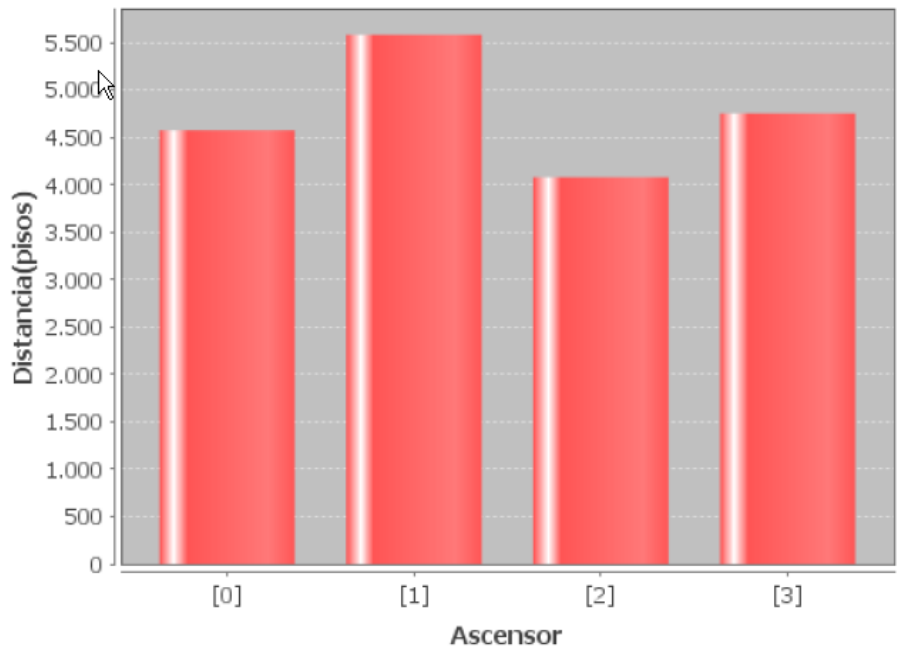
	Resultado Tiempo de Espera										
AI	<p>Comparación Energía Consumida</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ascensor</th> <th>Energía Consumida (pisos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[0]</td> <td>4,450</td> </tr> <tr> <td>[1]</td> <td>4,450</td> </tr> <tr> <td>[2]</td> <td>4,700</td> </tr> <tr> <td>[3]</td> <td>3,950</td> </tr> </tbody> </table> <p>Media: 4398.5 Varianza: 108927.0 Desviacion Estandar: 330.0409065555</p> <p>Energía total Consumida por el sistema: 17594.0</p>	Ascensor	Energía Consumida (pisos)	[0]	4,450	[1]	4,450	[2]	4,700	[3]	3,950
Ascensor	Energía Consumida (pisos)										
[0]	4,450										
[1]	4,450										
[2]	4,700										
[3]	3,950										
Convencional	<p>Comparación Energía Consumida</p>  <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ascensor</th> <th>Energía Consumida (pisos)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>[0]</td> <td>4,550</td> </tr> <tr> <td>[1]</td> <td>5,550</td> </tr> <tr> <td>[2]</td> <td>4,100</td> </tr> <tr> <td>[3]</td> <td>4,750</td> </tr> </tbody> </table> <p>Media: 4748.0 Varianza: 390466.666666 Desviacion Estandar: 624.8733204951</p> <p>Energía total Consumida por el sistema: 18992.0</p>	Ascensor	Energía Consumida (pisos)	[0]	4,550	[1]	5,550	[2]	4,100	[3]	4,750
Ascensor	Energía Consumida (pisos)										
[0]	4,550										
[1]	5,550										
[2]	4,100										
[3]	4,750										

Table 5.4: Comparación Energía Consumida

6 Conclusiones y Trabajo Futuro

6.1 Conclusiones

El presente trabajo mostró una propuesta para simular sistemas dinámicos usando agentes. Esta forma de representación hace más natural el modelado de la realidad y presenta ventajas en la arquitectura como el bajo acoplamiento entre los componentes del sistema.

Se logró demostrar que haciendo uso de técnicas inteligentes es posible mejorar el desempeño en el control para grupo de elevadores. La combinación de técnicas como: redes neuronales para la predicción de variables con bastante incertidumbre y lógica difusa para combinar objetivos de control así como para priorizar estos mismos, hacen que los modelos de control híbridos para este tipo de problemas tengan un gran potencial.

Se ofrece un entorno de simulación abierto, parametrizable y a la altura de los entornos empresariales para el problema de tráfico vertical. Este simulador permitirá a los investigadores centrarse en resolver el problema de asignación de llamadas, un problema que debido a su naturaleza dinámica, incierta es candidata a tratarse con técnicas de inteligencia computacional.

6.2 Trabajo Futuro

El simulador puede extenderse para usarlo en tareas de planificación de edificaciones gran altura, para determinar qué configuración de elevadores se debe tener (número de éstos, velocidad, capacidad, arquitectura, etc). Además de tareas de planificación es posible que se use para medir tiempos de evacuación, simulación de emergencias, etc.

El controlador desarrollado puede ser mejorado optimizando los parámetros de los conjuntos difusos, así como los pesos de las reglas aplicadas. Este algoritmo de optimización permitiría alcanzar un mejor resultado en cuanto a la eficiencia del controlador de acuerdo a los objetivos trazados.

Acknowledgments

Thank you, thank you, thank you

7 Apendix

7.1 Código fuente

7.2 Definiciones Principales

Se presentan los conceptos principales que serán usados a lo largo del libro, se recogen los conceptos que pueden ser interpretados ambiguamente.

- Tráfico vertical: Se entiende por tráfico en una edificación; el movimiento o tránsito de personas dentro del edificio, este tráfico tiene dos componentes tasa de arribo y probabilidad de destino.
- Tiempo de espera: es el tiempo comprendido entre la generación de la llamada de elevador y el arribo de este al piso origen de la llamada.
- Tiempo de viaje: es el tiempo comprendido desde que el pasajero entra al elevador hasta que llega a su piso destino.
- Tiempo total: es el tiempo que se comprende desde arribo del usuario al sistema hasta la llegada de este al piso destino, es la suma del tiempo de espera y el tiempo de viaje, es también llamado tiempo de servicio [Pow92] o tiempo a destino [Nak94].
- Tiempo de retorno de viaje (round trip time): Es el tiempo comprendido desde que un elevador recoge pasajeros en el primer piso (lobby), lleva los pasajeros a los pisos superiores y regresa a la primera planta (lobby) para volver a servir a los nuevos pasajeros.
- Capacidad del transporte del sistema: es el número de pasajeros que un grupo de elevadores puede transportar en una fracción de tiempo de cinco minutos.
- Patrón de tráfico: es la caracterización del comportamiento estocástico que se presenta en el arribo de pasajeros al sistema. Para este trabajo se consideran principalmente cuatro patrones: subida -uppeak-, entre pisos -interfloor-, bajada -downpeak-.

7.3 The next section

Bibliography

- [Bar03] G.C. Barney. *Elevator Traffic Handbook: Theory and Practice*. Spon Press, 2003.
- [Bra00] B. Baumgartner Brandstatter. Particle swarm optimization mass-spring system analogon. *IEEE Transaction*, 38: 997–1000, 2000.
- [Cal03] Manuel Hernández Calviño. Aclarando la lógica borrosa (fuzzy logic). *Revista Cubana de Física*, 20, 2003.
- [COU11] NATIONAL SAFETY COUNCIL. Evacuation systems for high-rise buildings. *NATIONAL SAFETY COUNCIL*, 2011.
- [Cri98] A.G. Crites, R.H. y Barto. Improving elevator performance using reinforcement learning. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 1998.
- [Dri96] Hellendoorn Driankov. *An Introduction to Fuzzy Control (context)*. Springer-Verlag, 1996.
- [DRI00] Jacinto Martín David Rios Insua, Sixto Rios Insua. *Simulacion Metodos y Aplicaciones*. AlfaOmega, 2000.
- [EMP12] EMPORIS. World’s tallest buildings - top 200, 2012.
- [Hak03] Henri Hakonen. Simulation of building traffic and evacuation by elevators. *Helsinki University of Technology*, 2003.
- [HD99] Rambau J. Hauptmeier D., Krumke. The online dial-a-ride problem under reasonable load. *Konrad-Zuse-Zentrumfür Informationstechnik Berlin*, 1999.
- [HH08] Marja-Liisa Siikonen Henri Hakonen. Elevator traffic simulation procedure. *International Congress on Vertical Transportation*, 2008.
- [HMHL04] Aiyong Rong Henri M. Hakonen and Risto Lahdelma. Multiobjective optimization in elevator group control. *European Congress on Computational Methods in Applied Sciences and Engineering*, 2004.
- [Imr00] G.C. Imrak, E. y Barney. Application of neural networks on traffic control. *Lift Report*, 2000.

- [J00] Banks J. *Discrete-Event System Simulation*. Prentice Hall, 2000.
- [JLZ10] Xin Wang Weize Wang Jian Liu, Chengdong WU and Ting Zhang. A hybrid control for elevator group system. *Third International Workshop on Advanced Computational Intelligence*, 2010.
- [Kel00] Averill M. Law David Kelton. *Simulation Modeling And Analysis*. McGraw Hill, 2000.
- [L.97] Siikonen M. L. Elevator group control with artificial intelligence. *Helsinki University of Technology, Systems Analysis Laboratory, Research Reports*, 1997.
- [L.98] Siikonen M. L. Planning and control models for elevators in high-rise buildings. *Doctoral thesis, Helsinki University of Technology*, 1998.
- [LD] Yuehui Ji. Liqian Dou, Qun Zong. A mixed robust optimization and multi-agent coordination method for elevator group control scheduling. *Tianjin University*.
- [LJ01] Cortés P. Larrañeta J. Optimización dinámica en sistemas de tráfico vertical. *AICIA Technical Report*, 2001.
- [MLdZCPSSdP96] A. Miravete, E. Larrodé, and Universidad de Zaragoza. Centro Politécnico Superior. Servicio de Publicaciones. *El libro del transporte vertical*. Universidad de Zaragoza, 1996.
- [MLS01] Henri Hakonen Marja-Liisa Siikonen, Tuomas Susi. Passenger traffic flow simulation in tall buildings. *Helsinki University of Technology*, 2001.
- [MR88] Abrego E. MacDonald Robert. Coincident call optimization in a elevator dispatching system, 1988.
- [Nak94] Kubo S. Imasaki N. Yoshitsuku T. Kiji J Endo T. Nakai, S. Elevator group control system with fuzzy neural network model. In *The Fourth IEEE International Conference on Fuzzy Systems*, 1994.
- [OTI99] OTIS. Otis elevator plan brochure. *Otis Elevator Company*, 1999.
- [PER09] HARRY PERROS. *Computer Simulation Techniques: The definitive introduction*. Computer Science Department, 2009.
- [Pet00] Mehta P. y Haddon J. Peters, R. Lift passenger traffic patterns: applications, current knowledge and measurement. *Elevator World*, 2000.
- [Pow92] B. A. Powell. Important issues in up peak traffic handling. *Elevator Technology*, Proceedings of ELEVCON 92, 1992.

- [R.71] Parker E. R. *ARQUITECTURA DEL ASCENSOR*. 1971.
- [Res] Peters Research. Peters research elevate simulator.
- [Sii04a] Marja-Liisa Siikonen. Elevator simulation and control. *KONE Elevators*, 2004.
- [Sii04b] Marja-Liisa Siikonen. Elevator simulation and control. *FORS Seminar*, 2004.
- [SMBB06] Hiroshi Kise Sandor Markon, Hajime Kita and Thomas Bartz-Beielstein. *Control of Traffic Systems in Buildings*. Springer-Verlag London Limited, 2006.
- [Sto00] Peter Stone. *Layered Learning in Multiagent Systems: A Winning Approach to Robotic Soccer*. MIT Press, 2000.
- [Tha89] Kandasamy Thangavelu. Queue based elevator dispatching system using peak period traffic prediction,, 1989.
- [TKK96] Rubiyah Yusof Tan Kok Khiang, Marzuki Khalid. Intelligent elevator control by ordinal structure fuzzy logic algorithm. *ICARCV 97*, 1996.
- [Wei99] Gerhard Weiss. *Multiagent systems: a modern approach to distributed artificial intelligence*. MIT Press, Cambridge, MA, USA, 1999.
- [WJ95] M. Wooldridge and N. Jennings. *Intelligent Agents: Theory and Practice. Knowledge*. Engineering Review, 1995.
- [ZJl] ZONG Qun ZHANG Jing-long, TANG Jie2. Energy-saving scheduling strategy for elevator group control system based on ant colony optimization. *IEEE. Changchun Institute of Optics, Fine Mechanics and Physics, Chinese Academy of Sciences*.

