

TESIS DE MAESTRÍA

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

ANDRES ENRIQUE ROSSO MATEUS

1 de Diciembre de 2012

Dean

Prof. Dr. xxx yy

Referees

Prof. Dr. aaa bbb

Prof. Dr. xxx yy

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	3
1.2 Objetivos	4
1.2.1 Objetivo General	4
1.2.2 Objetivos Específicos	4
1.3 Contenido del Libro	4
1.4 Definiciones Principales	4
2 Marco Teórico	7
2.1 Edificaciones de Gran altura	7
2.2 Simulación	8
2.2.1 Técnicas de Simulación	9
2.3 Simuladores de Tráfico Vertical	11
2.4 Tráfico Vertical	11
2.4.1 Determinación y Predicción de Tráfico	12
2.5 Controladores de Grupo de Elevadores	13
2.5.1 Criterios de Optimización en el Transporte Vertical	15
2.5.2 Técnicas De Control	15
2.6 Sistemas Multi Agente	17
3 Simulador	19
3.1 Diseño de la Simulación	20
3.1.1 Objetivos	20
3.1.2 Análisis Sistémico	20
3.1.3 Componentes del Sistema	20
3.1.4 Consideraciones de Diseño	21
3.1.5 Técnica de Simulación Escogida	21
3.1.6 Proceso General De La Simulación	21
3.1.7 Variables de Simulación	23
3.1.8 Componentes del Simulador	25
3.2 Implementación de la Simulación	26
3.2.1 Principios de Diseño	26
3.2.2 Módulos de Software del Simulador	27
3.2.3 Dinámica de Arribo de Pasajeros	27

3.2.4	Diseño del Controlador de Grupo de Elevadores	28
3.2.5	Criterios De Desempeño	29
4	Controlador Para Grupo De Elevadores	31
4.1	Definición del Problema	31
4.2	Objetivos	32
4.2.1	Objetivo General	32
4.2.2	Objetivos Específicos	32
4.3	Contenido del Libro	32
4.4	Definiciones Principales	32
	Bibliography	33
	Nomenclatura	37

Abstract

Abstract/Summary text

1 Introducción

El uso de las construcciones verticales experimenta un fenómeno de expansión debido al gran precio del terreno y la densidad poblacional de las grandes urbes.

El incremento de este tipo de construcciones trae el problema de transportar eficientemente el gran número de personas visitantes o residente de la edificación. Para el transporte en edificios de gran altura no existe un medio más adecuado que las cabinas de ascensor, pero su capacidad reducida, el alto flujo de pasajeros en horas pico y la considerable distancia que deben recorrer los ascensores hace que el sistema tienda a colapsar elevando el tiempo promedio que una persona debe esperar para ser transportada o llegar a su destino.

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.

1.1 Definición del Problema

En un sistema de transporte vertical de un solo elevador, este se encarga de atender todas las llamadas que se generen en el sistema. En el caso de varios elevadores el sistema de control debe tener en cuenta las condiciones de todos los elevadores para asignar aquel que pueda atender en mejor medida la llamada.

Debido a la importancia de transportar eficientemente las personas en edificaciones de gran altura las grandes compañías líderes en esta área, han presentado diversos algoritmos de control [HH08, Sii04a] que presentan una eficacia mayor medida en tiempo de servicio promedio de pasajeros. Estas compañías cuentan con los recursos financieros para investigación bastante altos. Sus avances y nuevos algoritmos de control para grupo de elevadores son verificados en simuladores construidos *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 [Sii04b], 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].

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.

1.3 Contenido del Libro

El libro está organizado

1.4 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 considerarán principalmente cuatro patrones: subida -uppeak-, entre pisos -interfloor-, bajada -downpeak-.



2 Marco Teórico

2.1 Edificaciones de Gran altura

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 usuarios. 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 vice versa. 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 persona. 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].

La torre Taipei 101 cuenta con cincuenta elevadores de alta velocidad, con un costo aproximado de \$85 millones de dolares. La velocidad de ascenso de estos elevadores de 16 m/s, es decir aproximadamente 60 km/h. Esto le permite mantener un servicio dentro de los límites de servicio considerados aceptables para el servicio de pasajeros de sistemas de elevadores, en la siguiente tabla se muestra el resultado de un estudio orientado al servicio [Wit].

Function	Excellent	Good	Moderate
Office Space	≤ 25 sec	≤ 30 sec	≤ 35 sec
Hotel	≤ 20 sec	≤ 25 sec	≤ 30 sec
Residential	≤ 35 sec	≤ 40 sec	≤ 45 sec
Healthcare	≤ 30 sec	≤ 40 sec	≤ 50 sec

Figura 2.1: Tiempo de espera aceptado por tipo de edificación

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. [J00]

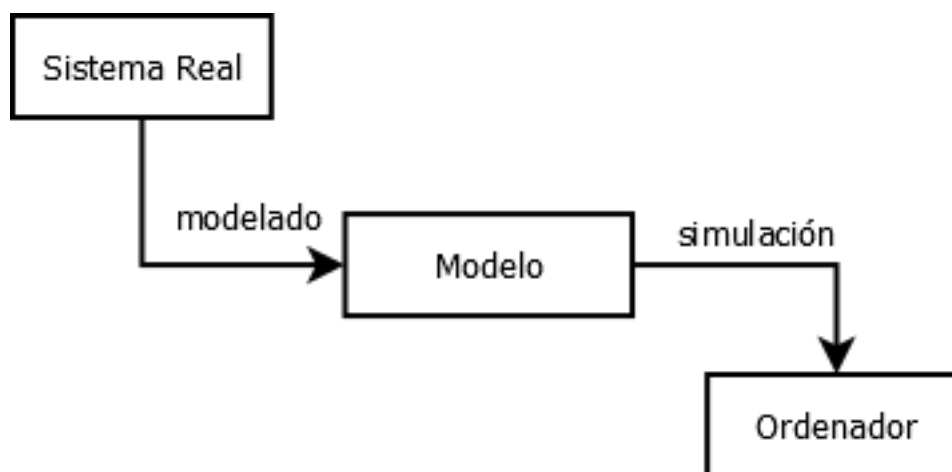


Figura 2.2: Modelo de simulación de BANKS

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].

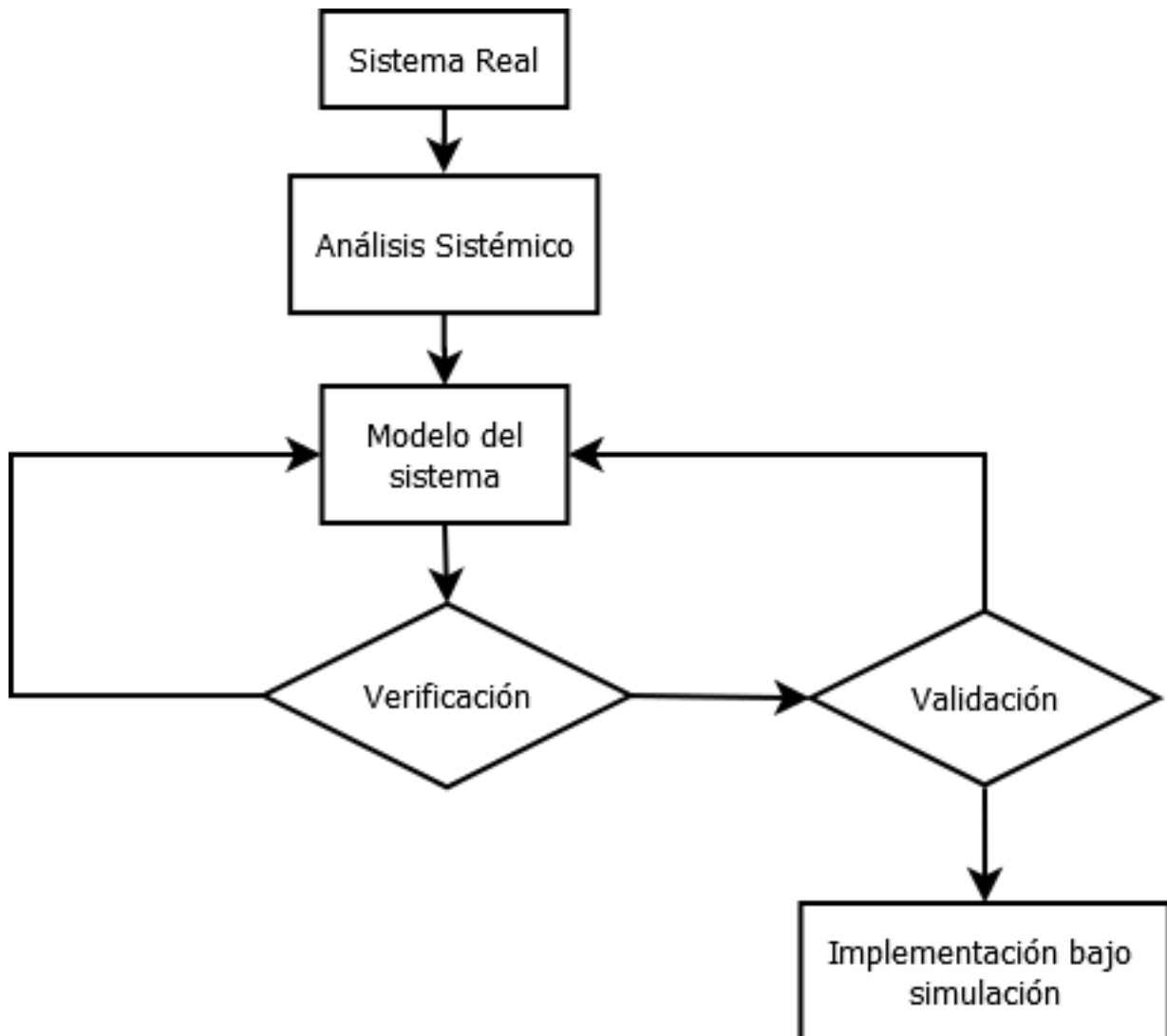



Figura 2.3:  Proceso de simulación de BANKS

2.2.1 Técnicas de Simulación

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.

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  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 Simulador 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][Sii04b]. 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.

2.4 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 mpo.

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

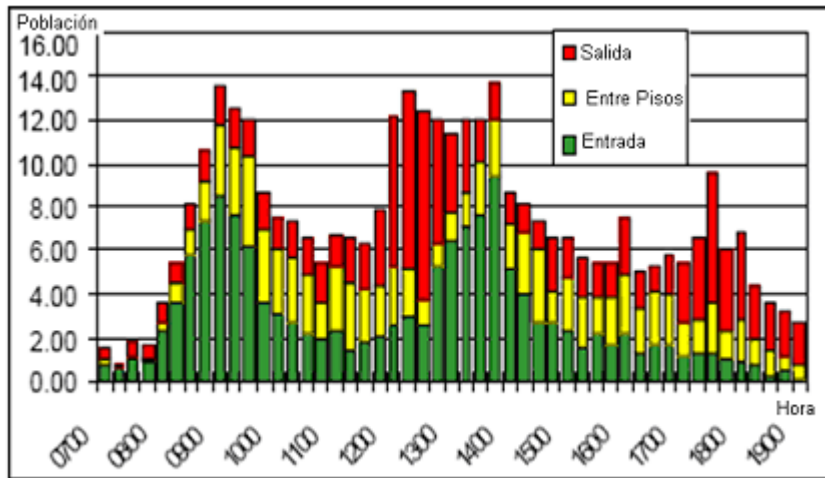


Figura 2.4: Patrón de tráfico [L.97]

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).

2.4.1 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 han 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.

2.5 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.

Se pueden encontrar  patentes registradas desde la época de los 80 [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 Informationstechnik 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 siguiente figura. 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].

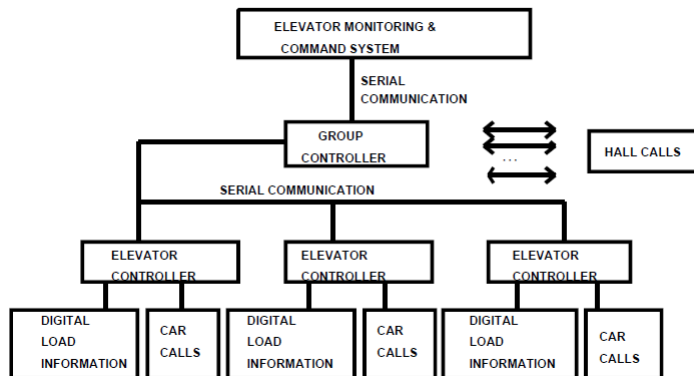


Figura 2.5: EGCS Arquitectura Típica

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 [Sii04b], por esta razón ya no es necesario introducir botones de destino dentro de la cabina del elevador.



Figura 2.6: Matriz de botones para registro de llamadas de elevador

2.5.1 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, recopilando todos los criterios vistos se pueden dividir en dos grupos.

2.5.1.1 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.

2.5.1.2 Servicio ofrecido al usuario

1.  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.
2. Tiempo de viaje: Tiempo que el pasajero dura dentro del ascensor hasta que llegue al piso objetivo. El objetivo es minimizar este tiempo.
3. 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].

2.5.2 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]

2.5.2.1 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]

2.6 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].

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.

Por esta razón es necesario desarrollar un simulador de edificios desde el cual se puedan cambiar las condiciones del sistema y medir con exactitud los tiempos registrados por los usuarios.

Para evitar la construcción del simulador se buscó en la comunidad académica opciones libre, pero no se encontró ningún ambiente de simulación. 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.

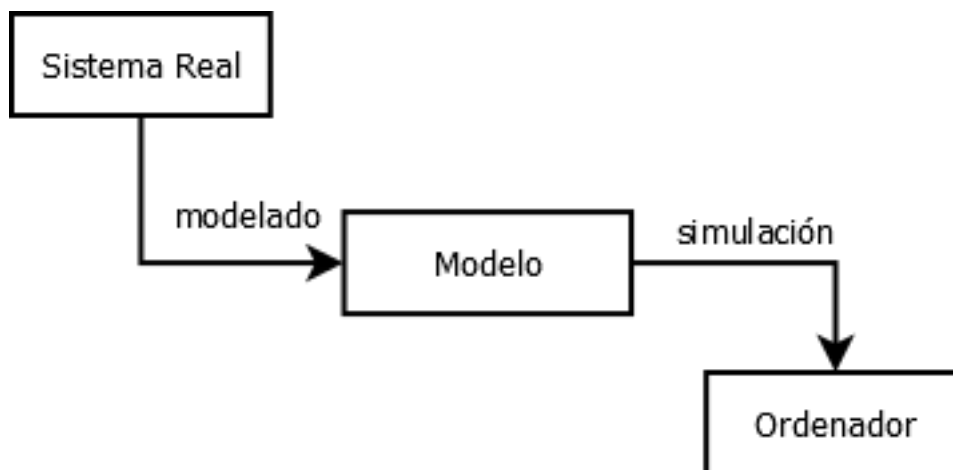


Figura 3.1: Modelo simulación, flujo Banks [BANKS2000]

Ya que no existen simuladores de código libre para poder verificar los algoritmos de control, se hace importante su construcción bajo código abierto. De tal manera que a través de este problema se puedan estudiar técnicas de control inteligentes aplicadas a este campo en particular.

3.1 Diseño de la Simulación

El simulador a desarrollar permitirá tener un ambiente controlado que representa las características más importantes de una edificación y simplifica su representación, facilitando así, el mantenimiento, adaptación y reutilización.

3.1.1 Objetivos

- Se desea 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.

3.1.2 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].

3.1.3 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.

3.1.4 Consideraciones de Diseño

Antes de diseñar el sistema se deben considerar algunas reglas básicas que condicionaran el diseño del simulador.

- Las llamadas generadas en los pisos son hechas a traves de una matriz de botones, esto permite que el sistema conozca con anterioridad el piso destino de cada pasajero antes de ser embarcado [Sii04a].
- Una vez las llamadas son asignadas no pueden ser reasignadas.
- Una vez el ascensor sirva todas sus llamadas y quede libre, regresara a su piso reposo.
- Los pasajeros que arriban al sistema, siguen un proceso de Poisson, sobre esto se detallará más adelante.
- La política del asignación de llamadas del sistema es de tipo colas FIFO, primera llamada que entra al sistema, primera llamada en ser atendida.

3.1.5 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].

El diagrama siguiente ilustra el flujo que por lo general sigue una simulación de este tipo.

3.1.6 Proceso General De La Simulación

La simulación como método 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.

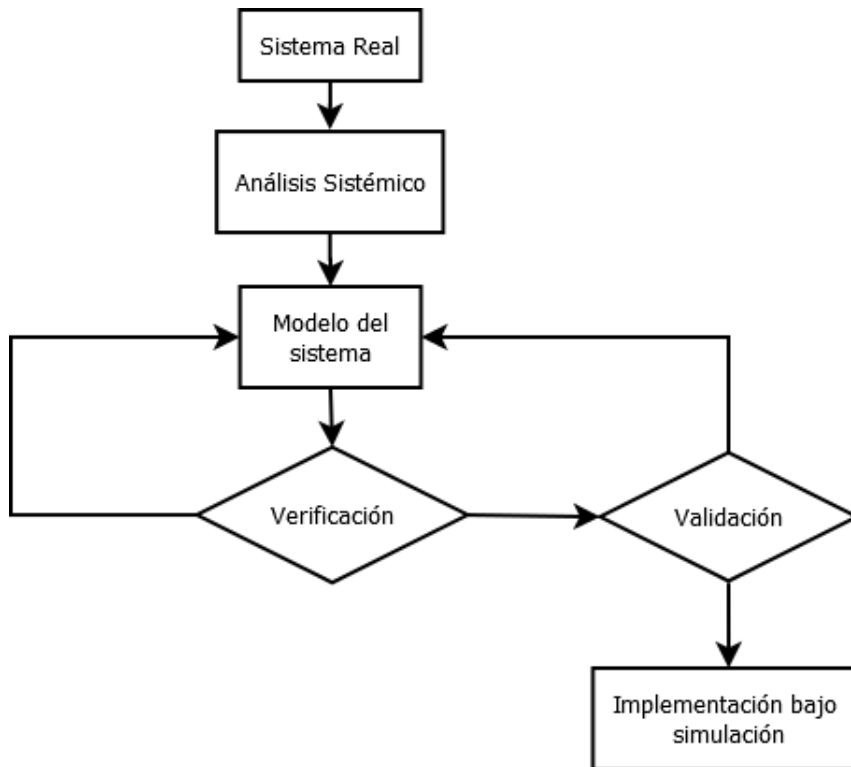


Figura 3.2: Proceso simulación Banks [BANKS2000]

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 del, 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.

3.1.7 Variables de Simulación

3.1.7.1 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.

3.1.7.2 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.

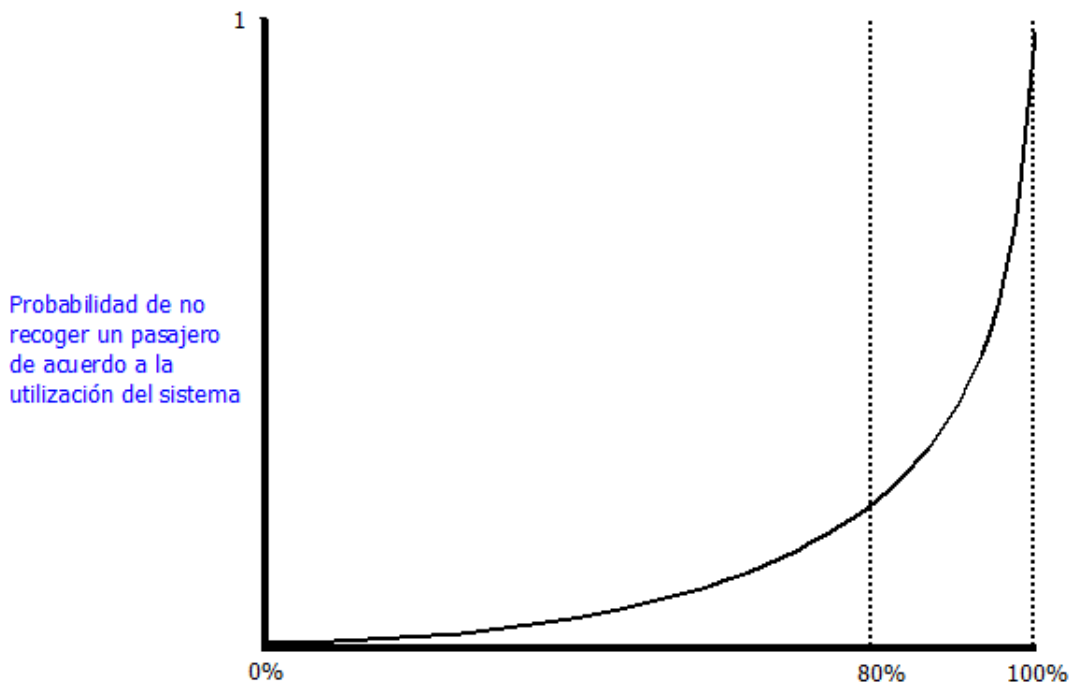


Figura 3.3: Probabilidad de no recoger un pasajero

- **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.

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

- * P : Cantidad de pasajeros en la cabina.
 - Queda por determinar la forma de estimar este dato, la estimación de BARNEY no es exacta. ?????????? BARNEY–PAG 127
- * S : Promedio de paradas que hace el ascensor en el viaje completo.
 - Queda por estimar este dato ??????????
- * H : Promedio del piso más alto alcanzado.
 - Queda por estimar este dato ??????????
- **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) : Tiempo que dura la entrada y salida de pasajeros viene dado por la formula.
 - ??????

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.

3.1.8 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 Módulos de Software del Simulador

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

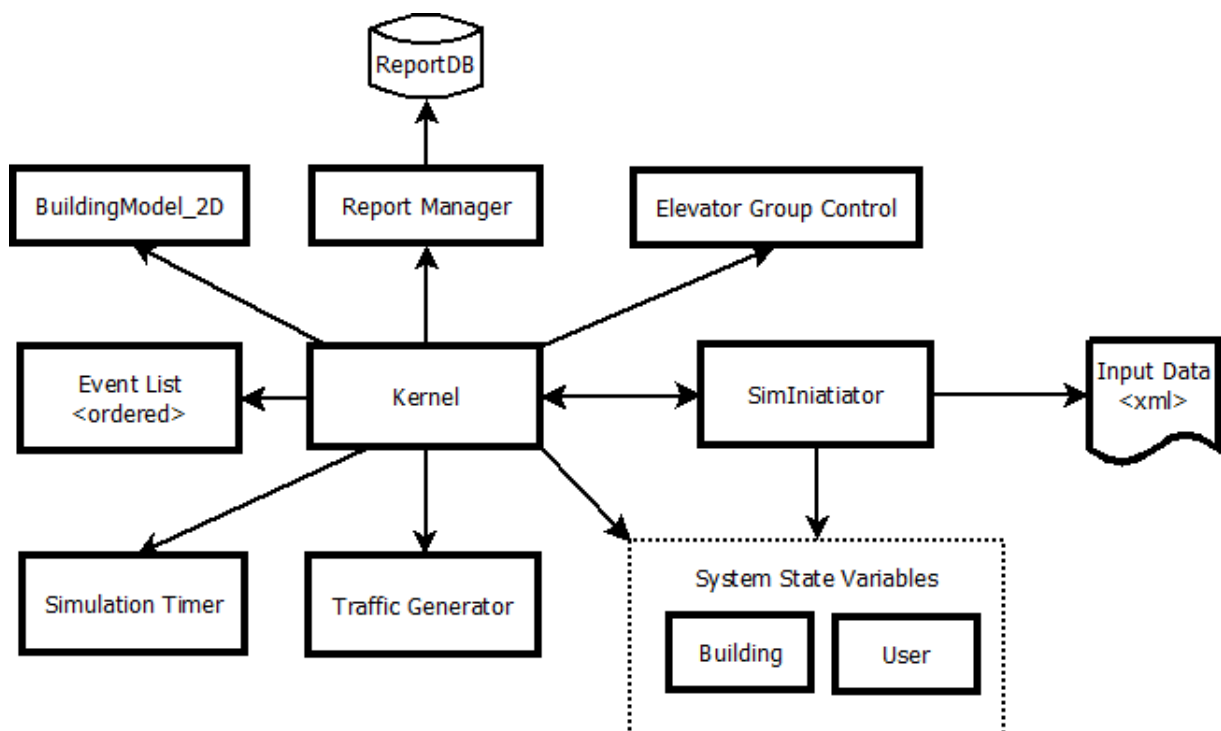


Figura 3.4: Módulos del Simulador


3.2.3 Dinámica de Arribo de Pasajeros

Los usuarios arribarán 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 reactivas 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:

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

3.2.4 Diseño de 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 α 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.

3.2.4.1 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.


3.2.5 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 el tiempo en el que se debe efectuar una evacuación completa de una edificación esta entre los 15 y 30 minutos [Hak03].

3.2.5.1 Desempeño dado por el Tiempo De Espera

En un sistema de elevadores con  en 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 3.5: Criterio de desempeño <Tiempo de Espera>

3.2.5.2 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 3.6.

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 3.6: Criterio de desempeño <Tiempo de Viaje>

4 Controlador Para Grupo De Elevadores

El uso de las construcciones verticales experimenta un fenómeno de expansión debido al gran precio del terreno y la densidad poblacional de las grandes urbes.

El incremento de este tipo de construcciones trae el problema de transportar eficientemente el gran número de personas visitantes o residente de la edificación. Para el transporte en edificios de gran altura no existe un medio más adecuado que las cabinas de ascensor, pero su capacidad reducida, el alto flujo de pasajeros en horas pico y la considerable distancia que deben recorrer los ascensores hace que el sistema tienda a colapsar elevando el tiempo promedio que una persona debe esperar para ser transportada.

En rascacielos o edificaciones de gran altura los sistemas de control tradicional son inefficientes 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.

4.1 Definición del Problema

En un sistema de transporte vertical de un solo elevador, este se encarga de atender todas las llamadas que se generen en el sistema. En el caso de varios elevadores el sistema de control debe tener en cuenta las condiciones de todos los elevadores para asignar aquel que pueda atender en mejor medida la llamada.

Debido a la importancia de transportar eficientemente las personas en edificaciones de gran altura las grandes compañías líderes en esta área, han presentando diversos algoritmos de control [HH06, Sii04a] que presentan una eficacia mayor medida en tiempo de servicio promedio de pasajeros. Estas compañías cuentan con los recursos financieros para investigación bastante altos. Sus avances y nuevos algoritmos de control para grupo de elevadores son verificados en simuladores construidos *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 [Sii04b], 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].

4.2 Objetivos

El trabajo que se presentado el 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. Lo objetivos planteados para siguiente trabajo se enuncian a continuación.

4.2.1 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.).

4.2.2 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.

4.3 Contenido del Libro

El libro está organizado

4.4 Definciones Principales

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.
- [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.
- [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 elevator simulator.
 - [Sii04a] Marja-Liisa Siikonen. Elevator simulation and control. *FORS Seminar*, 2004.

- [Sii04b] Marja-Liisa Siikonen. Elevator simulation and control. *KONE Elevators*, 2004.
- [SMBB06] Hiroshi Kise Sandor Markon, Hajime Kita and Thomas Bartz-Beielstein. *Control of Traffic Systems in Buildings*. Springer-Verlag London Limited, 2006.
- [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.
- [Wit] Jochem Wit. Elevator planning for high rise buildings.
- [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*.

Nomenclatura

R_a arithmetic average roughness