

1 Marco Teórico

1.1. 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 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 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 [?], 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 [?].

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 [?].

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 1.1: Tiempo de espera aceptado por tipo de edificación

1.2. Simulación

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

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

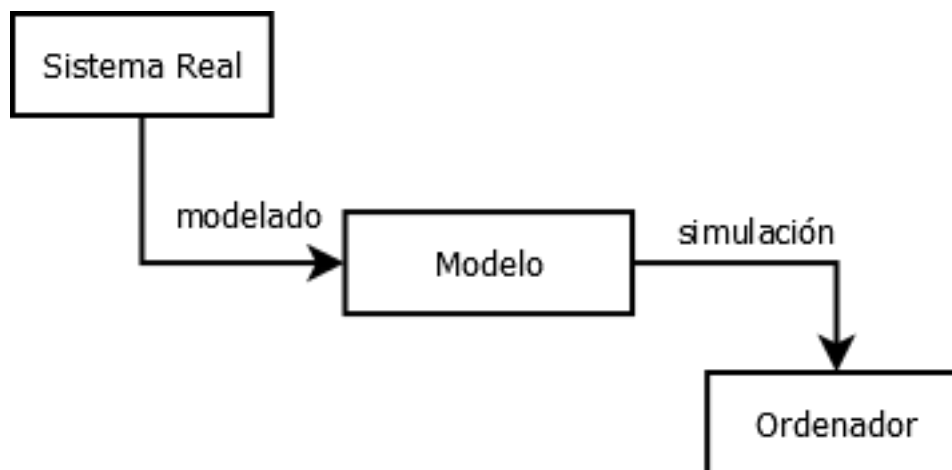


Figura 1.2: Modelo de simulación de BANKS

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 [?].

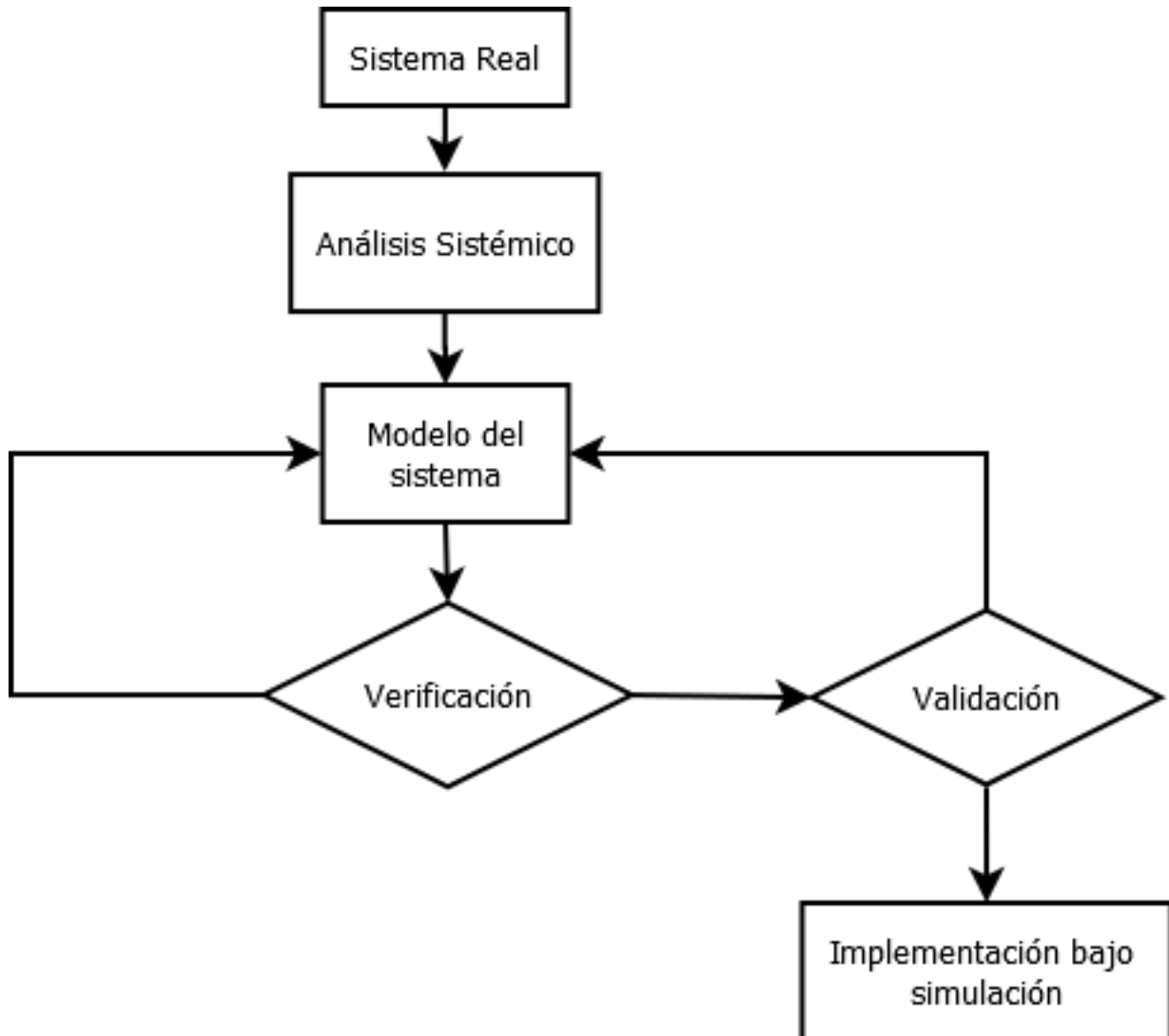


Figura 1.3: Proceso de simulación de BANKS

1.2.1. Técnicas de Simulación

1.2.1.1. 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.

1.2.1.2. 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 [?]. 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.

1.2.1.3. 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 [?].

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.

1.2.1.4. 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 [?]. En estas simulaciones es importante conocer cuando la actividad empieza y cuando termina, además de controlar que ocurre después de cada actividad.

1.2.1.5. 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.

1.3. 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 [?].

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 [?][?]. Solamente Peters Research, empresa de investigación en planificación de edificaciones de gran altura cuenta con un simulador de licencia comercial [?].

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.

1.4. 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 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 [?]. 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

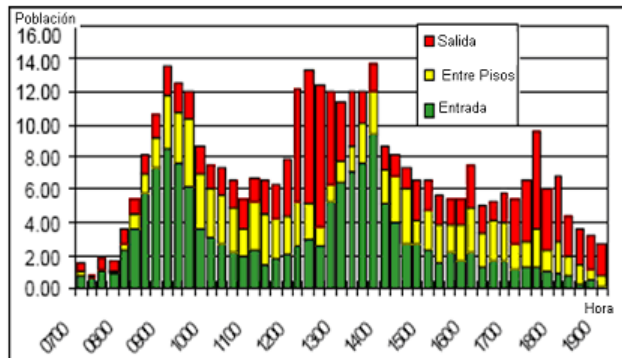


Figura 1.4: Patrón de tráfico [?]

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 [?]:

- **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).

1.4.1. 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” [?], 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 [?], 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 [?]. 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.

1.5. 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[?, ?]. 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. [?]. Otro ejemplo está en Berlín, el centro académico el Konrad-Zuse-Zentrumfür Information stechnik de Berlin colabora con la multinacional del transporte vertical Schindler [?] o el Systems Analysis Laboratory de la Universidad Tecnológica de Helsinki con KONE Corporation [?].

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 [?].

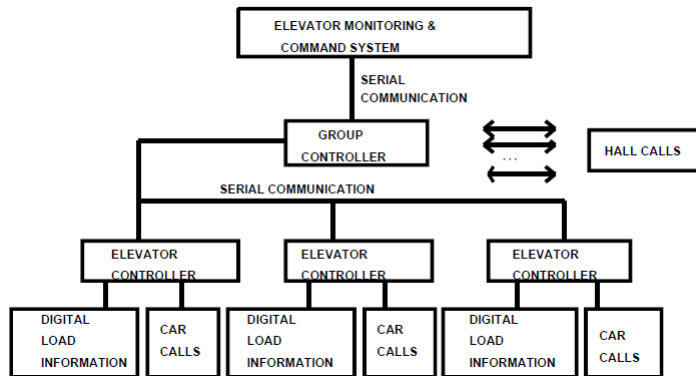


Figura 1.5: EGCS Arquitectura Típica

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



Figura 1.6: Matriz de botones para registro de llamadas de elevador

1.5.1. 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 en si es una combinación de programación no lineal en tiempo real, distribución de recursos y control estocástico [?].

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.

1.5.1.1. 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.

1.5.1.2. 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 [?].

1.5.2. 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 [?][?]
 - Maniobra Universal Por Pulsadores.
 - Maniobra Duplex.
 - Maniobra Colectiva selectiva en los dos sentidos.
- Técnicas no tradicionales
 - Lógica difusa [?]
 - Optimización robusta [?]
 - Optimización por colonia de hormigas [?]
 - Optimización Híbrida. [?]
 - Aprendizaje reforzado. [?]
 - Algoritmos genéticos.
 - Redes neuronales. [?]
 - Optimización por enjambres. [?]

1.5.2.1. 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. [?]

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. [?]

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. [?]

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. [?]

1.6. 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 [?]. 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.