

1 Simulador de Edificación

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 [?]. Otros más los 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 [?, ?] invirtiendo recursos financieros para investigación. 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 [?], Building Traffic Simulator (BTS) de la empresa finlandesa KONE [?], 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 anuales [?].

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.

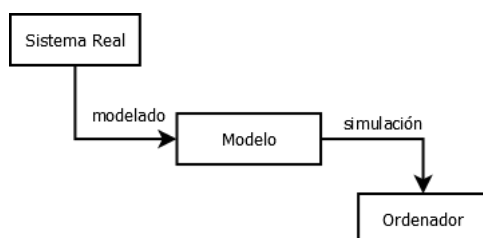


Figura 1.1: Modelo simulación, flujo Banks [BANKS2000]

1.1. Diseño de la Simulación

El simulador desarrollado 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 [?].
 - 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.

1.1.1. 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 mensurables 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” [?].

1.1.2. 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.

1.1.3. 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 través de una matriz de botones, esto permite que el sistema conozca con anterioridad el piso destino de cada pasajero antes de ser embarcado [?].
- 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.

1.1.4. 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 [?].

Se puede entender mejor la razón por la cual se escoge esta técnica de “avance por unidad de tiempo” si se piensa que los eventos generados durante la simulación de una edificación ocurren con una altísima frecuencia. Los eventos que más se repiten son por ejemplo “mover cabina”, “abrir puerta de cabina”, “cerrar puerta”, “recoger pasajero”, “despachar pasajero”, etc.

Si se usara por ejemplo una técnica de basada en “avance por eventos”, sería necesario manejar una lista doblemente enlazada de eventos e ir introduciendo entre dos eventos ya almacenados uno nuevo que genere alguna de las rutinas del simulador. Éste proceso es costoso computacionalmente además de frecuente.

La escogencia de la técnica de simulación estocástica y no determinística responde a la naturaleza misma del problema. Ya que la generación de pasajeros, no se puede

llevar a cabo de manera determinística, si no que debe basarse en una función de probabilidad que modele éste tipo de problemas de tráfico.

1.1.5. 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 [?], 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.

1.1.6. 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.

1.1.6.1. 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 [?], 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.

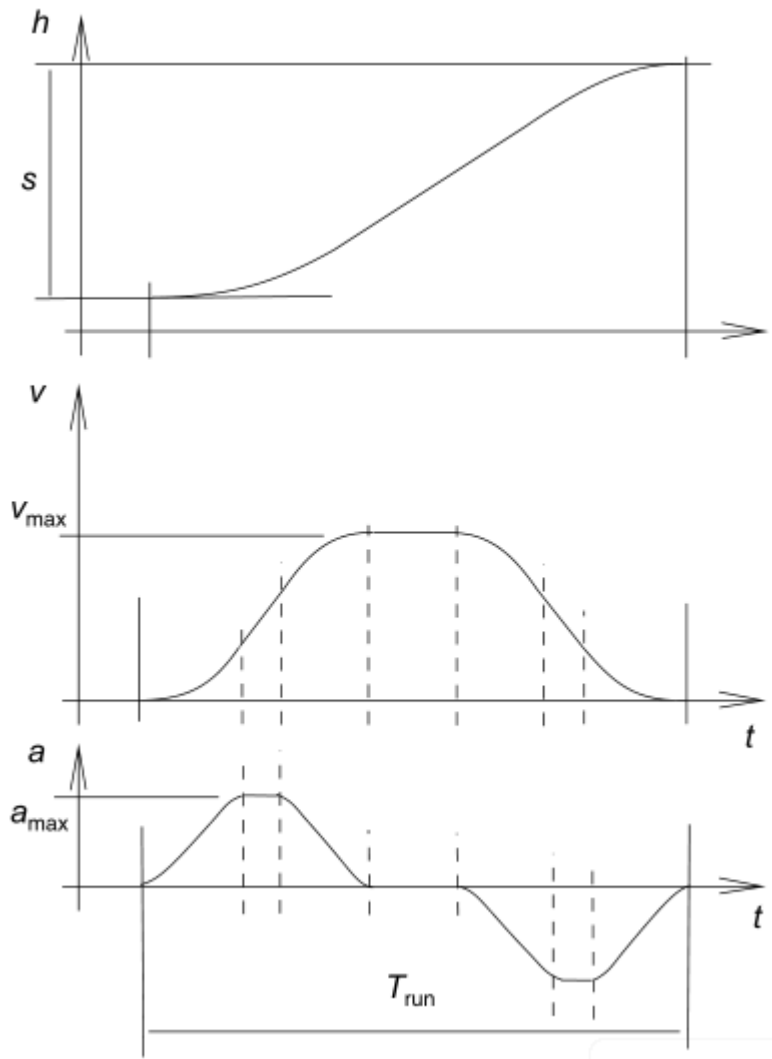


Figura 1.2: Dinámica del ascensor

1.1.6.2. Variables Dependientes

- **Densidad de arribo** ($\lambda(t)$): Número de personas esperadas por unidad de tiempo, sigue un proceso de Poisson [?].
- **Tasa de servicio** ($\mu(t)$): Número de personas que pueden ser servidas por unidad de tiempo, sigue un proceso de Poisson [?].
- **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 $\rho < 1$ [?].
- **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[?], 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.

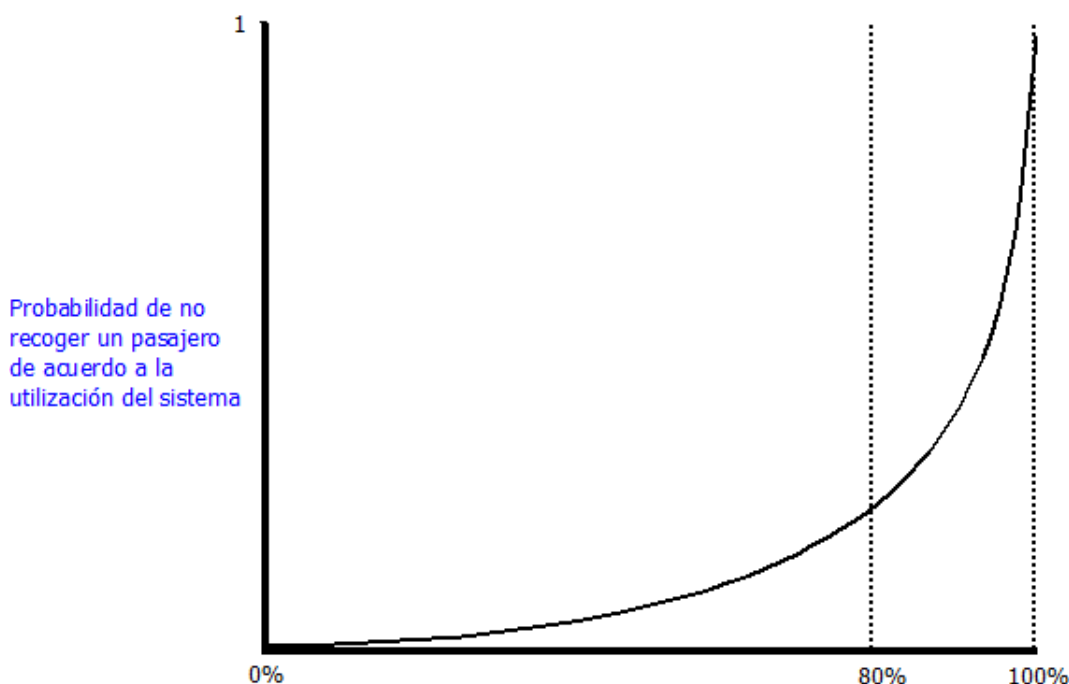


Figura 1.3: Probabilidad de no recoger un pasajero

- **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.
 - 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

- **Número 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.

1.1.7. Valores Comunes Para la Simulación

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

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 1.4: Rangos comunes de operación en edificaciones

1.1.8. Componentes del Simulador

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

- **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.

1.2. Implementación de la Simulación

El desarrollo de un sistema complejo como es un simulador requiere rigurosidad durante el ciclo completo. Para hacer que el sistema sea escalable y manejar la complejidad del mismo, se hace un diseño basado en componentes para iterar más fácilmente e ir incorporando funcionalidades sin perder el control del proyecto.

Bajo la premisa que el simulador debe ser adaptable y que cumpla con los requisitos no funcionales de calidad, se deben seguir los principios de diseño que se listan a continuación.

1.2.1. 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 determinar si el sistema es eficiente o no.
- Al final de cada simulación debe mostrarse un informe estadístico del desempeño del sistema.

1.2.2. Componentes de Software del Simulador

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

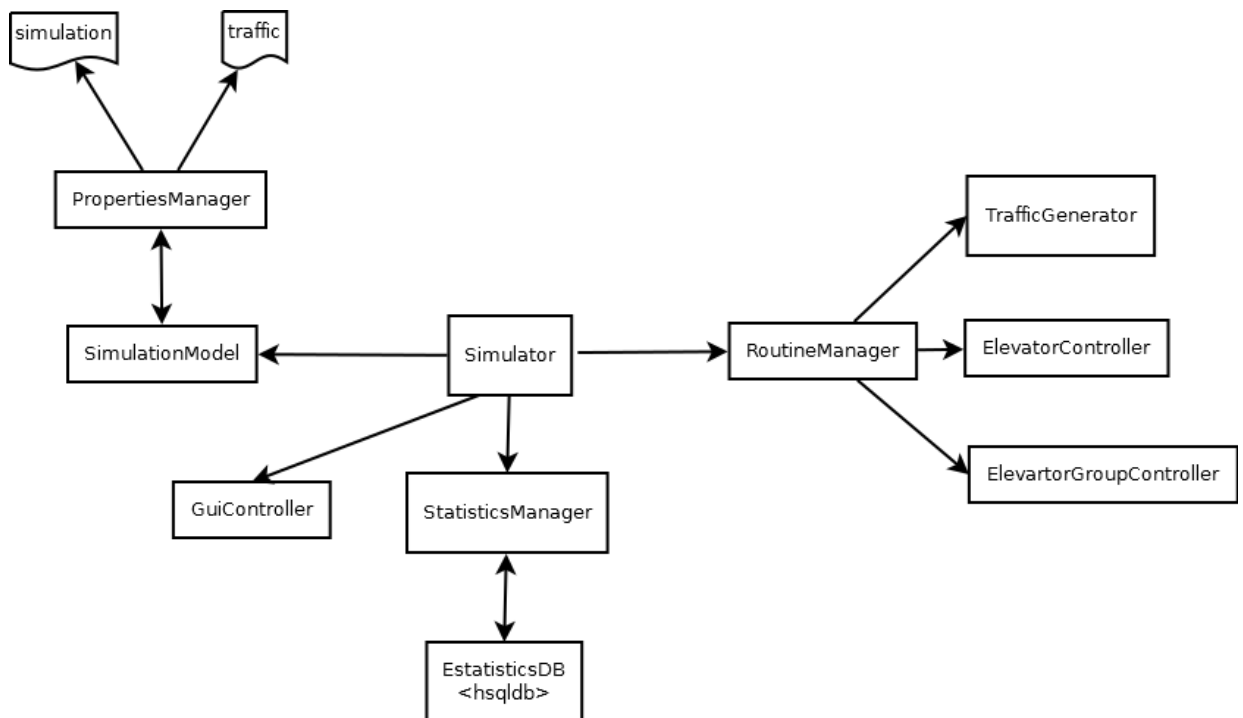


Figura 1.5: Módulos del Simulador

1.2.2.1. 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

1.2.2.2. 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 [?].

- **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: $\langle P_o, P_d, \text{Probabilidad} \rangle$.

1.2.2.3. 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.

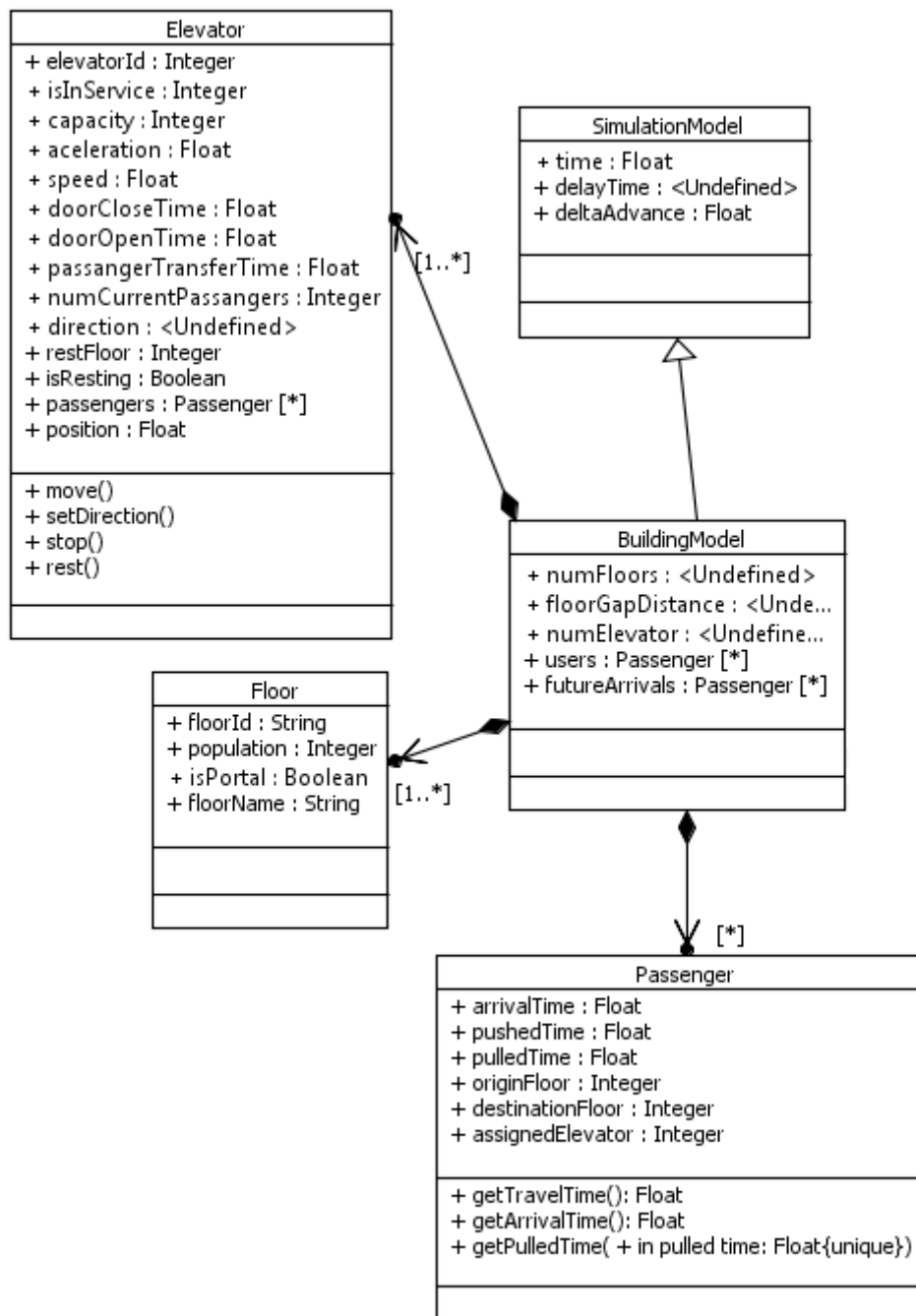


Figura 1.6: Diagrama de clases simulation model

1.2.2.4. 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.

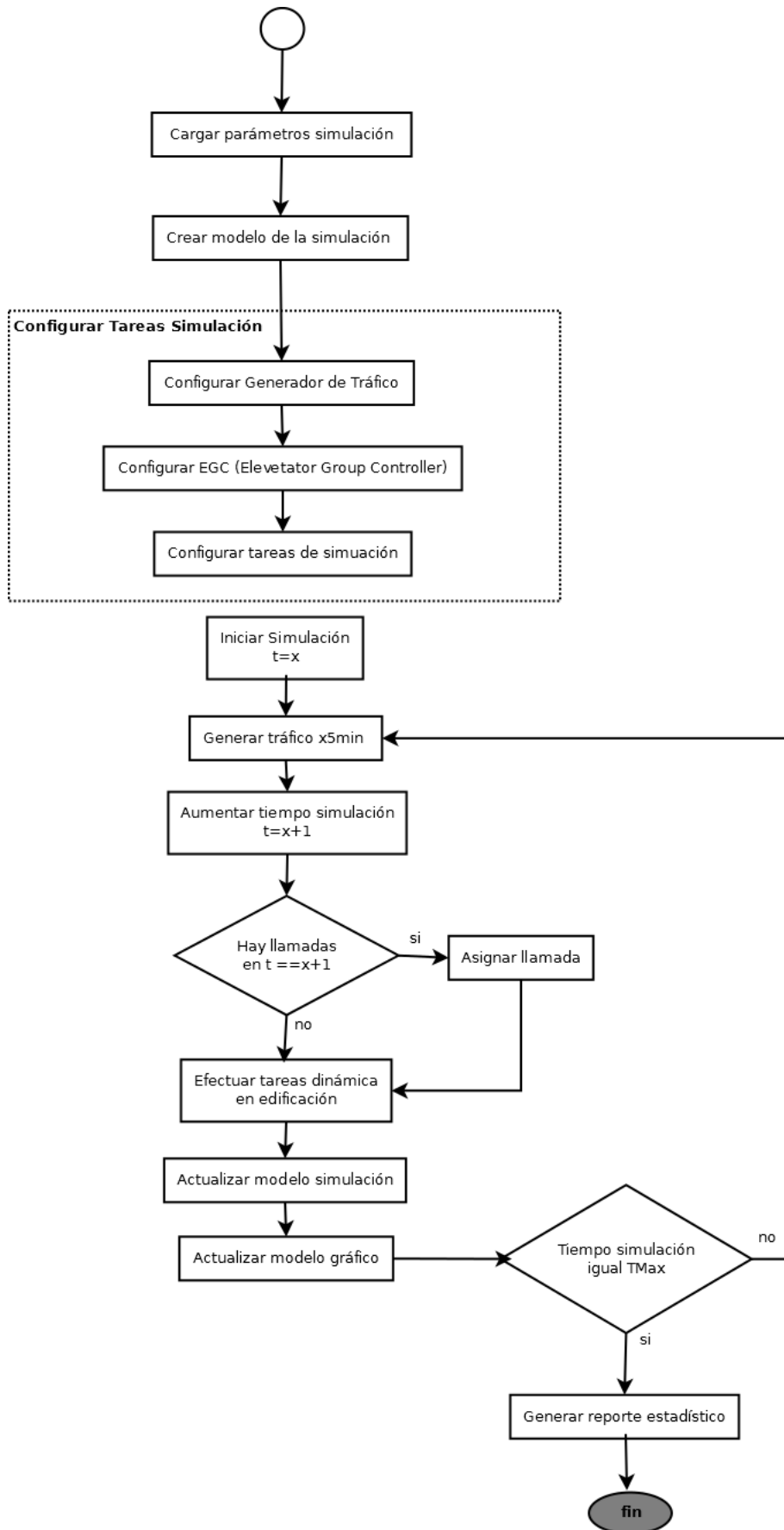


Figura 1.7: Diagrama de flujo resumido simulación

1.2.2.5. Routine Manager

Este componente gestiona en un solo hilo de ejecución las tareas: TrafficGenerator, 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 las 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.

1.2.2.6. GUI Controller

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

1.2.2.7. Statistics Manager

El fin 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 un 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.

1.2.3. 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.

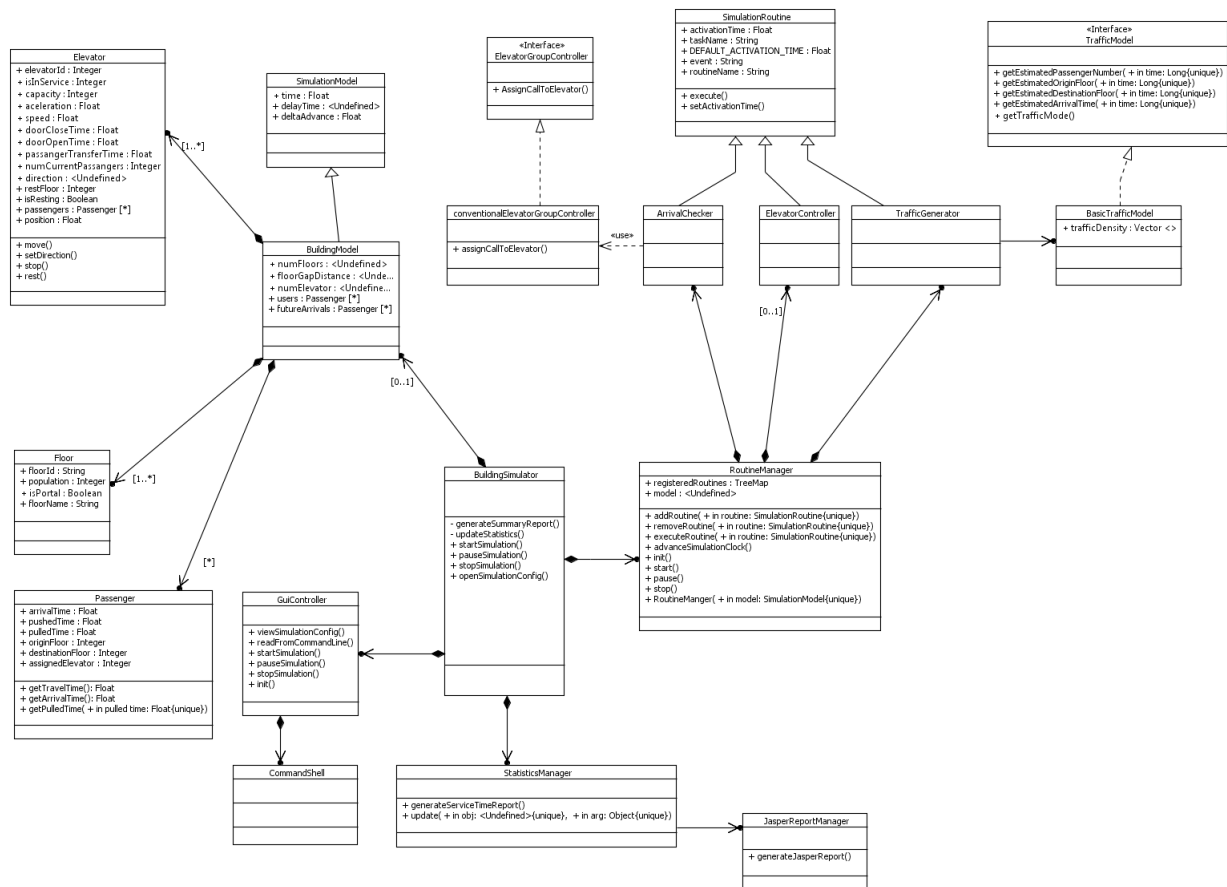


Figure 1.8: Diagrama de clases

1.2.4. Dinámica de Arribo de Pasajeros

Los usuarios arribarán al sistema siguiendo un proceso de Poisson, esto es aceptado generalmente en las investigaciones de este tipo [?]. 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 intervalo de tiempo) es:

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

1.2.5. 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.

1.2.5.1. 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 [?]. 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.

1.2.6. 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 [?].

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 [?].
- **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 [?].
- **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 [?].

1.2.6.1. 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 [?], 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 1.9: Criterio de desempeño <Tiempo de Espera>

1.2.6.2. 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 3.11.

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 1.10: Criterio de desempeño <Tiempo de Viaje>