



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO**  
en Celaya



**TECNOLÓGICO NACIONAL DE MÉXICO EN CELAYA**  
**DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**“PROPUESTA DE MEJORA PARA LA RUTA  
INTERTERMINAL DEL AEROPUERTO  
INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO”**

**TESIS PROFESIONAL  
PARA OBTENER EL GRADO DE:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:  
ING. RODRIGO EMMANUEL ROMERO MENDOZA**

**DIRECTOR DE TESIS:  
DR. SALVADOR HERNÁNDEZ GONZÁLEZ**

**CO-DIRECTOR DE TESIS:  
M.C. VICENTE FIGUEROA FERNÁNDEZ**

**CELAYA, GTO., MÉXICO, SEPTIEMBRE, 2019**



"2019, Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

**Asunto: Autorización de impresión de trabajo profesional.**

Celaya Gto.,

**11 SEPTIEMBRE 2019**

**M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS**  
**JEFE DEL DEPARTAMENTO DE INGENIERIA INDUSTRIAL.**  
**Presente.**

De acuerdo a la convocatoria hecha por esta jefatura a fin de aprobar o no la impresión del trabajo profesional titulado:

**"PROPUESTA DE MEJORA PARA LA RUTA INTERTERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MÉXICO"**

Presentado por el (a) pasante **C. ING. RODRIGO EMMANUEL ROMERO MENDOZA (M1703112)** alumno (a) del programa de Maestría en Ingeniería Industrial que ofrece nuestro Instituto. Hacemos de su conocimiento que éste jurado ha tenido a bien aprobar la impresión de dicho trabajo para los efectos consiguientes.

**ATENTAMENTE**

**DR. SALVADOR HERNANDEZ GONZALEZ**  
Presidente



**DR. JOSE ANTONIO VAZQUEZ LOPEZ**  
Secretario

SECRETARIA DE  
EDUCACION PUBLICA  
TECNOLÓGICO NACIONAL  
DE MEXICO  
INSTITUTO TECNOLÓGICO  
DE CELAYA  
COORDINACION DE MAESTRIA  
DE INGENIERIA INDUSTRIAL

**DR. ARMANDO JAVIER RIOS LIRA**  
Vocal

**M.C. MOISES TAPIA ESQUIVIAS**  
Vocal Suplente

Ccp.Escolares  
VFF\*MTE\*dmvp



## **Dedicatoria**

Esta tesis está dedicada principalmente a mi familia, la cual me ha brindado el apoyo en todos los sentidos.

Todo el esfuerzo y dedicación puesta en este trabajo va dedicado a mis padres, hermanos y a los profesores que formaron parte de él.

Agradezco a mi director de tesis, Dr. Salvador Gonzales Hernández y al codirector, M.C. Vicente Figueroa Fernández los cuales me brindaron el apoyo de su conocimiento para poder enfrentar este gran reto.

Agradezco a mi alma mater, el Instituto Tecnológico de Celaya, el cual me ha brindado la oportunidad de sentar las bases de mi carrera profesional, así como la oportunidad de continuar mis estudios con esta Maestría

Agradezco al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por todo el apoyo brindado para la obtención del grado.

# Índice

Índice.....	iii
Resumen.....	ix
Abstract.....	x
1. MARCO DE REFERENCIA.....	1
1.1. Introducción.....	1
1.2. Descripción del problema.....	3
1.3. Objetivos.....	4
1.3.1. Objetivo general.....	4
1.3.2. Objetivos específicos.....	5
1.4. Hipótesis.....	5
1.5. Justificación.....	5
1.6. Alcances y limitaciones.....	7
1.6.1. Alcances.....	7
1.6.2. Limitaciones.....	7
2. MARCO TEÓRICO.....	9
2.1. Servicios.....	9
2.2. Servicios de transporte.....	10
2.3. Calidad en los transportes públicos.....	13
2.4. Medición de la calidad de los servicios.....	14
2.4.1. Encuestas.....	15
2.4.2. Método de ponderación de factores.....	15
2.5. Pruebas de hipótesis.....	16
2.6. Modelado de sistemas.....	17
2.6.1. Selección del tamaño de muestra.....	20
2.7. Teoría de colas.....	20

2.8.	Simulación.....	23
2.8.1.	Elementos de la simulación.....	25
2.9.	Ganancias y factibilidad.....	26
2.10.	Antecedentes.....	26
3.	<b>METODOLOGÍA</b> .....	29
3.1.	Análisis del sistema.....	29
3.2.	Creación de bases de datos.....	30
3.2.1.	Selección del tamaño de muestra.....	30
3.2.2.	Aforo del servicio.....	31
3.2.3.	Prueba de hipótesis.....	31
3.3.	Caracterización del sistema.....	32
3.3.1.	Simulación.....	32
3.3.2.	Ganancias o pérdidas.....	35
3.3.3.	Valoración de la calidad del servicio.....	39
3.4.	Propuestas de mejora.....	40
3.5.	Validación de propuestas.....	42
3.5.1.	Ganancias o pérdidas económicas.....	42
3.5.2.	Valoración de la calidad.....	42
4.	<b>RESULTADOS</b> .....	44
4.1.	Confiabledad de base de datos históricos.....	44
4.2.	Modelado sistema actual.....	44
4.2.1.	Simulación.....	45
4.2.2.	Ganancias del sistema.....	46
4.2.3.	Nivel de calidad.....	47
4.3.	Propuestas de mejora.....	48
4.4.	Validación de propuestas.....	49
4.4.1.	Análisis del impacto económico.....	49
4.4.2.	Ponderación de mejora en la calidad.....	52

5. CONCLUSIONES .....	54
BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS.....	58
ANEXOS .....	61

## Índice de figuras

Figura 1.1 Logotipo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México. ....	2
Figura 1.2 Porcentaje del mercado abarcado, por las asociaciones aeroportuarias (AICM, 2018). ....	2
Figura 3.1 Encuesta para la ponderación de factores de calidad del servicio. (creación propia). ....	31
Figura 3.2 Ruta de transporte interterminal (Google Maps, 2018). ....	33
Figura 3.3 Transporte interterminal en terminal 1.....	34
Figura 4.1 Grafico de ganancias de casos escenarios de mejora. ....	51
Figura 5.1 Grafico de ponderación de los factores en la percepción de calidad del servicio de transporte interterminal. ....	54
<i>Figura 0.1</i> Anexo carta de terminación de proyecto en AICM. ....	61
<i>Figura 0.2</i> Anexo artículo publicado en Academia Journals.....	62
(se cita como A-1)	

## Índice de tablas

Tabla 2.1 Tabla de antecedentes o estado del arte. ....	26
Tabla 3.1 Matriz de gastos e ingresos de la ruta interterminal octubre 2018 (creación propia). ....	39
Tabla 3.2 Tabla de ponderación de factores en la calidad del servicio Interterminal octubre 2018. ....	39
Tabla 3.3 Escenarios para número de rutas por propuesta de mejora de frecuencia de ruta. ....	41
Tabla 3.4 Escenarios para propuesta del pasaje. ....	42
Tabla 4.1 Datos de la media de la demanda. ....	44
Tabla 4.2 Medidas de desempeño modelo actual de simulación. ....	45
Tabla 4.3 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de frecuencias. ....	48
Tabla 4.4 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de unidades. ....	48
Tabla 4.5 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de horario. ....	48
Tabla 4.6 Ganancias de los casos escenarios de las propuestas de mejora. ....	50
Tabla 4.7 Ganancias de los casos escenarios de las propuestas de mejora por día. ....	51
Tabla 4.8 Impacto de las propuestas de mejora en la calidad del servicio. ....	53
Tabla 5.1 Variación porcentual de las ganancias respecto las propuestas de mejora. ....	56

## Índice de ecuaciones

Ecuación 2.1 Estadístico de rechazo $Z_0$ (David, 1988).....	17
Ecuación 2.2 Selección del tamaño de muestra (Montgomery & Runger, 2002). .	20
Ecuación 4.1 Ganancias o pérdidas en el sistema de transporte Interterminal. ....	46
Ecuación 4.2 Valoración del nivel de calidad en el sistema de transporte Interterminal. ....	47

## Resumen

Una de las opciones ofrecidas por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM), para la movilidad de los usuarios y el personal del mismo, dentro de los diferentes puntos del complejo, es el sistema de transporte *Interterminales*. La principal problemática en este transporte es mejorar la calidad del servicio (disponibilidad, frecuencia y costo del pasaje) con propuestas económicamente factibles que balanceen los costos operativos que las mejoras representan. Se prefirió modelar el sistema a través de modelos simulación por la facilidad que provee esta herramienta de poder modificar distintos elementos del mismo sistema, para permitir crear, visualizar y mejorar distintos escenarios para así formular propuestas de mejora que impacten el sistema real de forma significativa. Como fue el aumento del horario de atención, unidades en el sistema o reducción de la tarifa del pasaje, Se comprobó que todas las propuestas reducen la ganancia percibida por el concesionario, pero son factibles económicamente porque no generan pérdidas en la operación del servicio.

## Abstract

One of the options offered by the International Airport of Mexico City (AICM), for the mobility of the users and its staff, within the different points of the complex, is the Interterminal transport system. The main problem in this transport is to improve the quality of the service (availability, frequency and cost of the passage) with economically feasible proposals that balance the operating costs that the improvements represent. It was preferred to model the system through simulation models because of the facility provided by this tool to be able to modify different elements of the same system, which allow creating, visualizing and improving different scenarios in order to formulate improvement proposals that impact the real system in a meaningful way. As was the increase in hours of service, units in the system or reduction of the fare of the ticket, It was found that all proposals reduce the profit received by the concessionaire, but are economically feasible because they do not generate losses in the operation of the service.

## 1. MARCO DE REFERENCIA

### 1.1. Introducción

Llevar a cabo una mejora en la calidad de los productos y/o servicios ofrecidos de una empresa, asegurando la eficacia y eficiencia de los recursos en los procesos de producción, suministro y consumo, se ha convertido en el objetivo primordial tanto de empresas privadas como de instituciones gubernamentales de cualquier ámbito (Sánchez & Romero, 2010).

El campo del transporte no ha sido una excepción, este cambio viene acompañado del auge e implementación de nuevas herramientas tecnológicas, así como el cambio de paradigmas, que han logrado avanzar de una manera muy exitosa en el campo de la optimización de los recursos en los mismos sistemas.

Para resolver los problemas de los servicios de transporte han aparecido numerosas herramientas, de las que sobresalen la simulación, así como modelos de programación lineal, teoría de colas, balanceo de líneas y métodos estocásticos.

Uno de los principales retos para la mejora de la calidad en sistemas de transportes es definir los factores que definen la percepción y satisfacción del usuario con la experiencia de consumo individual para así formular propuestas que aumenten la calidad del servicio especialmente en centros de distribución como puede ser aeropuertos, terminales de autobuses y centros comerciales donde los retrasos, imagen y costo, pueden determinar el consumo del servicio así como aquellos terceros afectados por la movilidad de los usuarios.



Figura 1.1 Logotipo del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

El aeropuerto Benito Juárez o mejor conocido por su nombre operativo, como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México (AICM) se considera el aeropuerto más importante de México por diversos factores de los cuales los más importantes son; el número de usuarios tanto locales como internacionales, volumen de carga aerotransportada, así como contar con el mayor número de aerolíneas adjuntas que permiten una mayor variedad de rutas o vuelos con diferentes partes del globo y el nivel de la calidad de los servicios que engloba la experiencia del uso del aeropuerto por parte del usuarios (SCT, 2018).

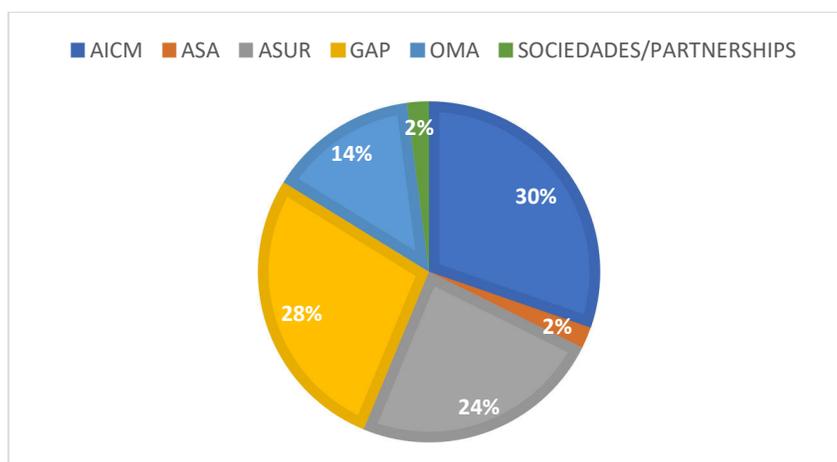


Figura 1.2 Porcentaje del mercado abarcado, por las asociaciones aeroportuarias (AICM, 2018).

En el año del 2017, el aeropuerto tuvo un flujo total de 44,732,418. usuarios tanto nacionales como extranjeros, y se prevé un aumento del 4.35% para finalizado el año (AICM, 2018). De los cuales un porcentaje importante de estos usuarios realizan transbordos en diferentes “puertas”, “alas” y terminales del complejo.

Sumado a esta cifra está la necesidad de transporte de los empleados del mismo aeropuerto, así como del personal de aerolíneas, para lo cual el aeropuerto coordina diferentes opciones de movilidad para satisfacer las necesidades de transporte de cada tipo de usuario.

Para el caso de turistas y usuarios en general de las instalaciones del complejo, el aeropuerto ofrece las siguientes opciones; taxis autorizados, en sus dos modalidades (ordinarios y ejecutivos), servicio de terminal de autobuses, estación de metro buses y metro, renta de automóviles, así como el *Aerotrén* y el sistema de Metro+buses *Interterminal*.

## 1.2. Descripción del problema

De las opciones mencionadas en el punto anterior, para el transporte en diferentes puntos de complejo en especial la ruta terminal-terminal destacan, el sistema *Aerotrén* y el *Interterminales*, por su capacidad, costo y accesibilidad. Esta se considera la ruta terrestre más importante del aeropuerto, por parte del personal administrativo, porque en ella transitan los usuarios que realizan interconexiones y transbordos con otros vuelos.

El sistema de transporte *Interterminal* se eligió objeto de estudio de este proyecto, porque el modelo actual de caracterización del sistema se encuentra desactualizado y su seguimiento solo se coordina con las bitácoras de supervisión del servicio.

El sistema *Interterminal* presenta las siguientes ventajas en contraparte al sistema de *Aerotrén*; como la facilidad de transportar a los usuarios con su equipaje personal y documentado sin la necesidad de hacer otro chequeo de seguridad aeroportuaria, salidas más frecuentes, con un horario de servicio más amplio y poder ser utilizado por el público en general.

Así mismo se detecta que el sistema tiene áreas de oportunidad operativas y administrativas que afectarían, la calidad del servicio de las cuales resaltan:

- Disponibilidad del servicio; el horario de operación limita la disponibilidad de servicio de las 1:00 a 5:00 (AICM, 2018).
- Frecuencia de salidas; se observan casos en las bitácoras de periodos de espera de 30 minutos por lo que puede desajustarse a las necesidades de los usuarios del servicio con tiempos de espera menores.
- Costo; el precio del servicio actualmente es de \$18.00 pesos, por lo que puede limitar el uso por un público en Gral.

La mejora de estos parámetros debe responder a las necesidades de los usuarios a eventos que por algunos motivos tienen que considerar atrasos dependientes e independientes a su control, en especial a estos últimos como cancelaciones y retrasos tanto de vuelo como de documentación.

Cabe destacar que el servicio es ofrecido por un tercero, por lo que las mejoras al sistema deben de ser factibles económicamente para poder ser consideradas tanto por el concesionario como el personal administrativo del aeropuerto, también este último priorizo el caso escenario del aumento del horario del servicio al mismo nivel de operación del AICM de 24 horas.

### 1.3. Objetivos

#### 1.3.1. Objetivo general.

Modelar y ofrecer propuestas económicamente factibles de mejora en la percepción de la calidad del servicio, del sistema de transporte interterminal del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

### 1.3.2. Objetivos específicos.

- Validar la confiabilidad de la base de datos históricos (bitácoras de operación).
- Conocer la ponderación de los factores que afectan la percepción de la calidad del servicio en el sistema de transporte por parte del usuario.
- Caracterizar la ruta terminal-terminal, del sistema de transporte interterminal del AICM, a través de los modelos de simulación realizados por el software *Promodel*.
- Calcular las ganancias o pérdidas del servicio de transporte del sistema interterminal.
- Propuesta y validación de escenarios de mejora de la calidad del servicio al sistema de transporte Interterminal.

### 1.4. Hipótesis

Las propuestas de mejora aumentan significativamente los factores de percepción de la calidad del servicio (disponibilidad, frecuencia, costo y presentación) de transporte interterminal del Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

### 1.5. Justificación

La necesidad de mejorar la movilidad terrestre del aeropuerto responda a darle más valor y satisfacción a la experiencia global del usuario, ya que el transporte solo cumple con la función de desplazar al usuario de un punto a otro, para que este pueda desarrollar otras actividades como pueden ser de recreo o trabajo.

Al tener sistemas de transporte que no cumplan con las necesidades de los usuarios determinarían que los mismos no podrían realizar sus actividades generando gastos adicionales tanto para los usuarios como para los terceros que ofrecen servicios y productos dentro y afuera de las instalaciones del complejo.

El aeropuerto es, en muchos casos la primera impresión que turistas y visitantes tienen con el país, por lo que brindar un servicio de calidad es imperativo en especial para México, ya que, en los años pasados, el turismo tanto de placer como de negocios fue la actividad económica más importante y la segunda fuente generadora de trabajo (FORBES, 2017).

Se estima que para el 2018 el turismo aporte al PIB el 17.9% que representa 5041.9 billones de pesos, generando de un total de 11,180,000 empleos (WTTC, 2018).

Como cualquier servicio, el nivel de satisfacción del uso del transporte por parte del usuario es una valoración individual que puede depender de un sinnúmero de factores que varía de individuo a individuo por lo que definir los factores que determinan el nivel de calidad del servicio es crucial para poder formular propuestas de mejora.

Uno de los factores predominantes en la satisfacción del cliente en aeropuertos, es la variedad y calidad de las opciones de transportación dentro del mismo, resaltando frecuencia, costo y disponibilidad. El sistema *interterminal* aparecen áreas de oportunidad resultado de los parámetros anteriores de un aeropuerto de clase mundial con operación 24 horas 7 días de la semana.

Este trabajo puede ser directamente utilizado como punto de partida para futuros proyectos que modelen, mejoren y optimicen las otras opciones de transporte terrestre en las instalaciones del AICM. Así mismo las metodologías propuestas para la evaluación del impacto económico y los factores de la calidad del servicio de los diferentes escenarios, pueden utilizarse en proyectos y sistemas afines al sistema de transporte Interterminal.

Como puede ser la gestión de nuevas políticas administrativas y operacionales que fijen y adapten los parámetros de operación, a los concesionarios y licitantes de servicios de transporte en convocatorias internas y externas al AICM.

Como es el caso del cálculo de las ganancias y los factores de servicio del presente trabajo, sirvieron como guía para el proyecto de creación de documentación y proyectos de licitaciones del NAICM.

A la fecha de la entrega del proyecto, el Aeropuerto aumento la tarifa del uso tanto para el usuario como de los diferentes concesionarios dentro de las instalaciones del mismo complejo por lo que es importante mejorar los servicios e imagen del aeropuerto para poder justificar el alza de los costos.

## 1.6. Alcances y limitaciones

### 1.6.1. Alcances

Este proyecto abarca el modelado del sistema caracterizado el mes de octubre del año 2018, así como los casos escenarios de las propuestas de mejora del sistema de transporte *Interterminal*, por lo que cambios operativos y administrativos posteriores a los parámetros del sistema descritos en esta fecha, podrán afectar directamente al nivel de significancia del modelo y el impacto de las propuestas.

### 1.6.2. Limitaciones

Se considera al tiempo la mayor limitante de este proyecto, ya que este solo permitió la propuesta de mejoras del sistema, con lo que la presentación, gestión y valuación no permitirá medir el impacto real de las mismas en el sistema, en especial con la demanda del servicio.

También limitó la cantidad de observaciones en campo para la obtención de las bases de datos necesarias para este proyecto y en las propuestas de mejora especialmente, en la medición del cambio del costo del pasaje, ya que se intuye que, al reducir el precio del servicio, este mismo podrá aumentar su demanda, por lo que alteraría los resultados mostrados.

Tampoco se pudo tener acceso a las condiciones y al convenio de la licitación por parte del concesionario con la administración del aeropuerto, por lo que la estimación de los parámetros del sistema, pueden variar a los valores verdaderos, con un impacto significativo al establecimiento de costos de operación como puede ser la

renta del derecho diario del transporte por parte del aeropuerto u otras facilidades que en el mismo se presenten.

Así mismo las estimaciones de desempeño económico se modifican, conforme se va viendo el desarrollo de la economía (en caso específico, al inicio de este proyecto la estimación del crecimiento del PIB en México era del 2.6 y al momento de las evaluaciones había bajado a 1.0), por lo que las estimaciones de estas medidas pueden no representar el desempeño del sistema en otros periodos de tiempo y se ocuparía un reajuste de las medidas de desempeño económico.

También este proyecto se limita a presentar mejoras (propuestas) que afecten la percepción de la calidad del servicio del sistema, por lo que la búsqueda de los mejores casos escenarios que balanceen estas con los costos será objeto de estudio de trabajo posteriores. Esto también aplica a la medición de percepción de la calidad del servicio, el tiempo limite hacer una evaluación de la calidad del servicio ya que solo se pudo realizar una ponderación de los factores que alteran la percepción por parte del usuario.

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Servicios

Un servicio no es un elemento físico en su totalidad, sino que es el resultado de las actividades generadas por el proveedor para la satisfacción del cliente (Palacios, 2002). Esto significa que los servicios poseen cuatro características típicas que explican la complejidad de su estudio.

- Intangibilidad: el servicio no puede ser percibido por los sentidos o consumido por el usuario antes de la compra.
- Heterogeneidad: el cambio mínimo de uno o más factores en la producción, suministro, venta o consumo del servicio provoca un efecto diferente en el usuario cambiando toda la experiencia porque este ya no lo percibe igual.
- Inseparabilidad: los servicios de producción y consumo son parcial o completamente simultáneo. A estas funciones a menudo puede agregar las funciones de ventas.
- Ausencia de propiedad: este comprador de servicios adquiere el derecho de recibir un beneficio, uso, acceso o arrendamiento de algo, pero no de su propiedad. El beneficio solo existe como experiencia vivida.

La calidad del servicio es subjetiva, esta está directamente relacionada a lo que el cliente percibe, dada las expectativas y percepciones de cada usuario en particular. El éxito del servicio dependerá de la capacidad de la empresa prestadora, de conocer las necesidades del cliente, así como de la eficacia y esfuerzo con lo que se lleve a cabo el proceso y el costo en que incurre el cliente para acceder al servicio (Adí & Heckmann, 2003).

Destacando que el costo no solo implica el precio del servicio si no también la utilidad de lugar, tiempo y forma con que se proporcione.

## 2.2. Servicios de transporte

El servicio de transporte se define como el movimiento de seres humanos, así como de recursos, bienes y productos de un lugar a otro. El transporte es importante porque permite la comunicación y suministro de todos los componentes de la cadena de suministro de las comunidades, naciones e individuos para la realización de todas las actividades que en esta ocurren.

El servicio de transporte es clasificado de varias maneras de forma simultánea, en base al tipo de viaje, el medio por el cual este se desplaza como el acceso y el proveedor de estos servicios.

- Transporte de carga y de pasajeros

Estos transportes estudian la mejor forma de llevar de un lugar a otro todos los bienes asociados integralmente a la Logística que consiste en suministrar los bienes en el destino deseado la cantidad precisa en el momento indicado, la diferencia entre estos dos transportes radica en que el transporte de carga lleva todos los recursos, bienes y productos excepto personas.

Así mismo el transporte de pasajeros tiene como prioridad la calidad del servicio como el confort del usuario la disponibilidad y frecuencia del servicio.

- Transporte urbano e interurbano.

Esta clasificación implica la diferencia entre distancia, frecuencia, recurrencia y el traslado a través de la frontera territorial de los tipos de transportes donde la principal dos tipos de viajes. Mientras los viajes urbanos son cortos, muy frecuentes y recurrentes, los viajes interurbanos son largos, menos frecuentes y recurrentes.

- Transporte público y privado.

Estos servicios transportan a las personas de un lugar de otro, haciendo principal énfasis en el proveedor y tipo de servicio que lo suministran. Se denomina

transporte público a aquel en el que los viajeros comparten el medio de transporte y que este, está disponible para un público general.

El transporte público se diferencia del transporte privado básicamente en que, en transporte privado el usuario puede seleccionar la ruta hacia su destino la hora de partida, inferir en la rapidez del viaje, mientras que en transporte público el tiempo de viaje está dado por las paradas, los horarios y la velocidad de operación así mismo en el transporte público el usuario recibe un servicio a cambio de un pago, conocido técnicamente como tarifa, mientras que, en el transporte privado, el usuario opera su vehículo y se hace cargo de sus costos.

- Componentes

El sistema de transporte, como cualquier otro sistema requiere varios elementos, que interactúan entre sí, para lograr su operación que son:

- La infraestructura: corresponde a la parte física de las condiciones requeridas para aplicar el transporte, como, por ejemplo, las carreteras y autopistas son necesarias para el transporte terrestre urbano, regional e internacional. Otra parte de la infraestructura son las regulaciones físicas del servicio como pueden ser las paradas y los semáforos en términos de transporte urbano, en el transporte aéreo son las torres de control y el radar, y en la marina están los puertos y los radares.
- El vehículo o móvil: es el instrumento que permite la transferencia de personas, cosas u objetos de un lugar a otro.
- El operador de transporte: es la persona a cargo de conducir el vehículo o el móvil, en el que se moverán personas, cosas u objetos.
- La normativa y marco legal: es una parte principal del sistema de transporte, que dicta la manera de moverse de un lugar a otro, también regula y normaliza el funcionamiento de todos los demandantes y proveedores de servicios de transporte.

En México, los principales modos masivos urbanos utilizados en el transporte de personas, se encuentran los microbuses, autobuses, trolebuses, transporte masivo rápido de autobuses (conocido como TMRB o Metrobús), tren ligero y el Sistema de Transporte Colectivo de Transporte Metro. Cada uno de estos modos de transporte, tiene características diferentes que los hacen ser mejor alternativa respecto a otra, dependiendo principalmente de la demanda por transporte y la manera en que llevan a cabo su operación (BANOBRAS, 2009).

a) Microbús: Este modo de transporte tiene una capacidad de 20 a 25 pasajeros sentados y una misma cantidad para aquellos que van de pie. Su longitud puede ser de 5 a 7 metros, lo cual le permite ser una alternativa para ciudades pequeñas y medianas que cuenten con vialidades estrechas. Para su implementación no se requieren inversiones en la carpeta de rodado utilizada para el tránsito de vehículos ligeros.

b) Autobús: Su capacidad es de 35 a 40 personas sentadas y un mismo número para las que van de pie. Su longitud puede variar entre 8 y 10 metros, haciéndolo buena alternativa en medianas y grandes ciudades. Al igual que el microbús, la infraestructura vial necesaria para su circulación es similar a la utilizada por los vehículos ligeros.

c) Trolebús: Es un modo de transporte eléctrico, que tiene una capacidad aproximada de 80 pasajeros (30 sentados y 50 de pie) y una longitud de 12.5 metros. Para su operación y circulación, se necesitan instalaciones eléctricas y carriles confinados en todo su recorrido. Por lo anterior, la flexibilidad de reacción que tiene este transporte ante imprevistos, como choques, descomposturas o fallas eléctricas, es menor que otros modos de transporte.

d) Metrobús: Este modo de transporte pertenece a los sistemas TMRB. Su capacidad total en el modelo articulado puede variar entre 150 y 180 pasajeros. Por lo general, su circulación se realiza en carriles exclusivos, los cuales se encuentran pavimentados con concreto hidráulico debido al peso de las unidades. Este sistema cuenta con estaciones que permiten el ascenso y descenso masivo de pasajeros<sup>2</sup>, además de contar con mecanismos de prepagó. Su longitud

puede variar entre 15 y 20 metros. Debido a la capacidad de este modo de transporte puede ser considerado como una alternativa cuando se presenta una “alta” demanda.

e) Tren ligero: En la ciudad de México, este medio utiliza dos vagones dobles eléctricos que tienen una capacidad individual de 25 pasajeros sentados y 125 de pie. Su diseño permite el traslado de “altos” flujos de pasajeros. Para su implementación es necesario construir vías, estaciones y terminales. Al igual que el Metrobús, el sistema de cobro es prepagado y el diseño de las estaciones y terminales permite el ascenso y descenso de pasajeros de manera masiva.

f) Sistema de Transporte Colectivo Metro: Es un sistema que puede construirse a nivel, subterráneamente o aéreamente. Su capacidad total es de 170 pasajeros por vagón y el número de vagones por tren puede variar de 6 a 9. Requiere de altos montos de inversión para la creación de vías, estaciones y terminales. Al igual que el Metrobús y el tren ligero, su diseño permite trasladar “altos” flujos de pasajeros.

### 2.3. Calidad en los transportes públicos.

La calidad en el transporte público es una materia que se ha desarrollado recientemente y que, tras una fase de normalización, se encuentra en un proceso de implantación de sistemas de gestión. Sin embargo, la magnitud y la complejidad de los sistemas de transporte público dificultan la correcta aplicación de las directrices de calidad, resultando muchas veces en una disparidad de acciones y estándares que no contribuyen a mejorar la percepción global sobre los sistemas (Rodríguez, 2013).

Por ello, la mejora de la calidad debe estructurarse adecuadamente para abarcar todos los elementos que integran el transporte público, desde los estados de planificación hasta los de control de la explotación, con el objetivo de adaptarse a las necesidades de los clientes.

#### 2.4. Medición de la calidad de los servicios

La satisfacción del cliente es uno de los principales indicadores de la calidad de un servicio, y surge de la diferencia de lo que el cliente percibe del mismo, una vez que la experiencia del servicio se ha llevado a cabo y las expectativas previas a la contratación (Adí & Heckmann, 2003).

El usuario utiliza el servicio de transporte público para cumplir sus necesidades de desplazamiento, sin importar el motivo de desplazamiento ya sea laboral, estudiantil o de diversión, para el usuario, la movilidad es una necesidad básica y exigen a los operadores del sistema de transporte más efectividad (Rodríguez, 2013).

En la utilización del transporte público, el usuario evalúa dos nociones al servicio prestado por el transporte, como son la calidad de servicio y el nivel de servicio. Dentro del nivel de servicio encontramos los tiempos de viaje, la accesibilidad, la seguridad, las tarifas, la presentación e higiene de los móviles entre otros. Siendo estos indicadores los más importantes (disponibilidad, costo, frecuencia y presentación) dentro de este análisis ya que de ellos depende determinar la excelencia de un servicio.

- Disponibilidad: es la habilidad de consumo que ofrece el prestador del servicio al usuario en las necesidades de este último, generalmente definidas por un horario y ubicación.
- Costo: es la tarifa con el cual el usuario contrata el servicio, definida por el prestador y/o gobierno.
- Frecuencia: Cantidad de ciclos en el sistema (salidas y entradas) del móvil en ellos diferentes puntos del mismo
- Presentación: Percepción y exhibición de los factores sensoriales del bien donde se realiza el servicio, en el transporte incluye la exposición, higiene y limpieza del móvil como del área designada de ascenso y descenso de usuarios.

Para medir la calidad de los servicios es necesario medir la satisfacción de los clientes con el servicio recibido, para esto hay técnicas de investigación como (Palacios, 2002); la observación natural de la conducta del cliente, entrevistas focalizadas, el grupo de discusión y las encuestas.

#### 2.4.1. Encuestas

Una encuesta se define como un método de investigación utilizado para recopilar datos de un grupo predefinido de encuestados para obtener información e información sobre diversos temas de interés. Las encuestas tienen una variedad de propósitos y pueden llevarse a cabo de muchas maneras, dependiendo de la metodología elegida y los objetivos a alcanzar.

Los datos generalmente se obtienen a través del uso de procedimientos estandarizados cuyo propósito es garantizar que cada encuestado pueda responder las preguntas en un campo de juego nivelado para evitar opiniones sesgadas que puedan influir en el resultado de la investigación o estudio.

Una encuesta implica solicitar información a las personas a través de un cuestionario, que puede distribuirse en papel, aunque con la llegada de nuevas tecnologías es más común distribuirlos en medios digitales como redes sociales, correo electrónico, códigos QR o URL.

#### 2.4.2. Método de ponderación de factores

El método de ponderación de factores es un instrumento fundamental para medir la calidad de un servicio, a partir de las puntuaciones dadas por sus usuarios a los distintos aspectos del mismo servicio o producto, se puede ponderar los aspectos para asignar un peso o porcentaje a la contribución de la experiencia o calidad global.

Esto permite análisis cuantitativos del servicio, como la priorización de factores que le dan valor a la experiencia de cada cliente. Para mayor información de estos métodos consultar. (Adí & Heckmann, 2003) (Rodríguez, 2013).

## 2.5. Pruebas de hipótesis

Una prueba de hipótesis es una regla que especifica si se puede aceptar o rechazar una afirmación acerca de una población dependiendo de la evidencia proporcionada por una muestra de datos (Everitt, 2006).

Una prueba de hipótesis examina dos hipótesis opuestas sobre una población: la hipótesis nula y la hipótesis alternativa, la hipótesis nula es el enunciado que se probará. Por lo general, la hipótesis nula es un enunciado de que "no hay diferencia". La hipótesis alternativa es el enunciado que se desea poder concluir que es verdadero de acuerdo con la evidencia proporcionada por los datos de la muestra. (Montgomery & Runger, 2002).

Con base en los datos de muestra, la prueba determina si se puede rechazar la hipótesis nula. Usted utiliza el valor p para tomar esa decisión. Si el valor p es menor que el nivel de significancia (denotado como  $\alpha$  o alfa), entonces puede rechazar la hipótesis nula.

Dependiendo de la información que se cuenta de la base de datos, se escoge la prueba de hipótesis y el estadístico de rechazo correspondiente.

- Prueba de hipótesis sobre la igualdad de dos medias con varianzas conocidas.

Esta prueba se realiza, cuando se quiere comprobar que la media de dos poblaciones es igual ( $H_0: \mu_1 = \mu_2$ ) y se conoce la desviación de ambas poblaciones. El criterio de rechazo de la hipótesis nula es  $z_0 > z_{\alpha/2}$  y el estadístico  $Z_0$  se calcula con la siguiente ecuación.

$$Z_0 = \frac{\bar{x}_1 - \bar{x}_2}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{n_1} + \frac{\sigma_2^2}{n_2}}}$$

Ecuación 2.1 Estadístico de rechazo  $Z_0$  (David, 1988).

Donde:

$\bar{x}$ =media población 1 y 2 respectivamente.

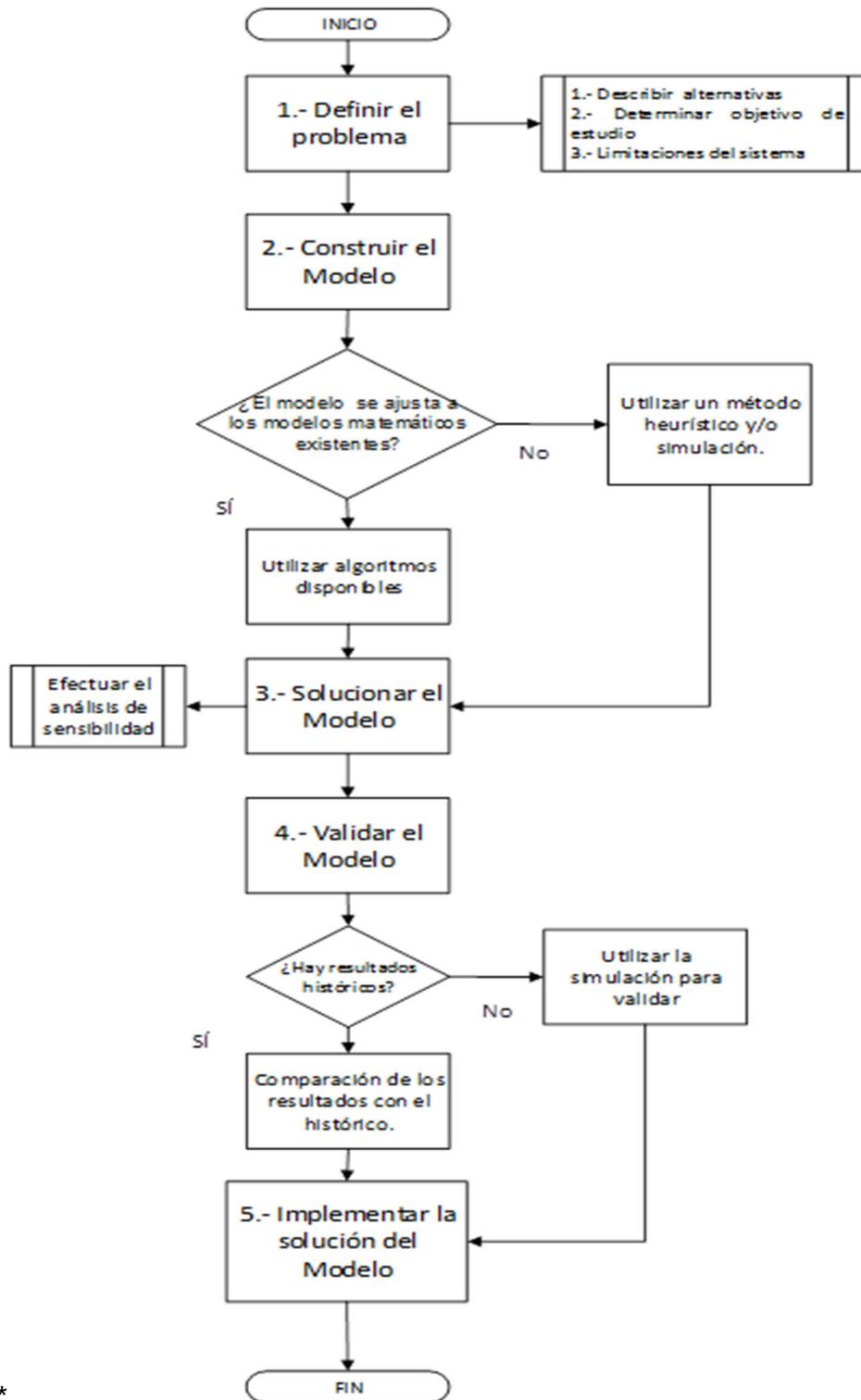
$\sigma$ =desviación estándar población.

$n$ =Número de elementos de la población.

## 2.6. Modelado de sistemas

Un modelo en ciencias es el resultado del proceso de generar una representación abstracta de una porción de la realidad, sea ésta un objeto, un fenómeno, un proceso, un sistema o cualquier otra cosa de interés (Curth, 2015).

La realidad es extraordinariamente compleja, y en ella influyen tantas y tan diversas variables, que es imposible captarla por completo. Lo cierto es que decimos que los modelos son representaciones de alguna parte esa realidad, porque, justamente, no son esa parte, son aproximaciones, más o menos precisas, pero nunca "la realidad". A continuación, se presenta el proceso general de construcción de un modelo.



\*

Figura 2. 1 Diagrama de fases del modelado de un sistema. Elaboración propia.

- La definición del problema: es definir el alcance del problema investigado, el objetivo es identificar tres elementos principales del problema de decisión: (1) descripción de las alternativas de decisión; (2) determinación del objetivo del estudio, y (3) especificación de las limitaciones bajo las cuales funciona el sistema modelado.
- La construcción del modelo: implica un intento de transformar la definición del problema en relaciones matemáticas (Portilla, Arias Montoya, & Fernández Henao, 2010). Si el modelo resultante se ajusta a uno de los modelos matemáticos estándar, se suele obtener una solución utilizando los algoritmos disponibles. Por otro lado, si las relaciones son demasiado complejas se puede optar por simplificar el modelo y utilizar un método heurístico, o bien la simulación.
- La solución del modelo: es la aplicación y uso de algoritmos de optimización definidos, uno de los principales aspectos, es el análisis de sensibilidad. Dicho análisis tiene que ver con la obtención de información adicional sobre el comportamiento de la solución óptima cuando el modelo experimenta algunos cambios de parámetros.
- La validación del modelo: comprueba si el modelo propuesto hace en realidad lo que dice que hace, es decir, ¿predice adecuadamente el comportamiento del sistema que se estudia? Un método común de comprobar la validez de un modelo es comparar su resultado con resultados históricos. El modelo es válido si reproduce de forma razonable el desempeño pasado (Maus, Hernández, Jiménez, & Figueroa, 2016).

- La implementación de la solución de un modelo validado: implica la transformación de los resultados en instrucciones de operación comprensibles que se emitirán a las personas que administrarán el sistema recomendado (Taha, 2012).

### 2.6.1. Selección del tamaño de muestra

Uno de los principales problemas para la modelación de sistemas, es obtener información confiable para la construcción de este ya que el modelo tendrá tanta potencia de representación como la información valida sea (Herrera, 1999).

El tamaño de la muestra es el número de sujetos que componen la muestra extraída de una población, necesarios para que los datos obtenidos sean representativos de la población (Everitt, 2006).

- Tamaño de muestra con población y desviación conocida.

$$n = \frac{\frac{z^2 p(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 p(1-p)}{e^2 N}}$$

Ecuación 2.2 Selección del tamaño de muestra (Montgomery & Runger, 2002).

Donde:

z=puntuación z.

p= 1-porcentaje del nivel de confianza.

e=margen de error.

N= tamaño de la población.

## 2.7. Teoría de colas

La teoría de colas es el estudio de la espera en las distintas modalidades, utiliza los modelos de colas para representar los tipos de sistemas de líneas de espera que surgen en la práctica. Las ecuaciones de cada modelo indican cuál debe ser el desempeño del sistema correspondiente y señalan la cantidad promedio de espera que ocurrirá en diversas circunstancias.

El estudio de las colas tiene que ver con la cuantificación del fenómeno de esperar por medio de medidas de desempeño representativas, tales como longitud promedio de la cola, tiempo de espera promedio en la cola, y el uso promedio de la instalación. (Taha, 2012).

Un sistema de colas puede ser descrito como los clientes llegando por un servicio, esperando por un servicio si no es inmediato, y de haber esperado por un servicio abandonaron el sistema después de ser atendidos. El término “*usuario*” es usado de manera general y no implica necesariamente que sean personas. dicho sistema se esquematizo como se muestra en la Figura 2.2

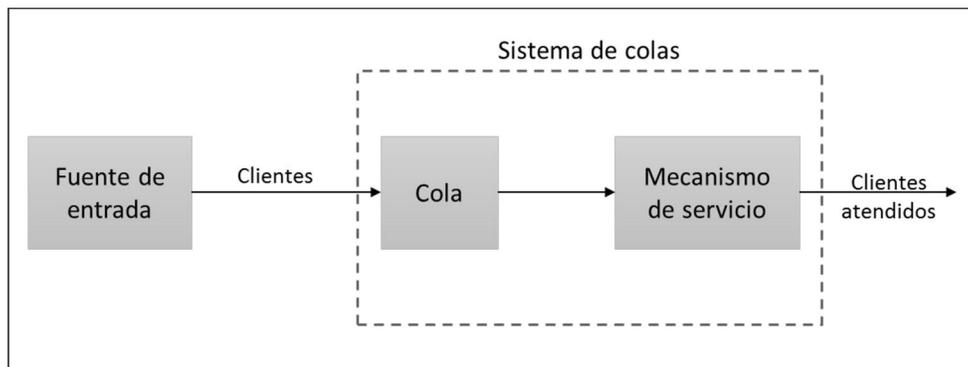


Figura 2.2 Proceso de un sistema de colas. Elaboración propia.

Fuente de entrada (población potencial). Una característica de la fuente de entrada es su tamaño. El tamaño es el número total de clientes que pueden requerir servicio en determinado momento, es decir, el número total de clientes potenciales. Esta población a partir de la cual surgen las unidades que llegan se conoce como población de entrada.

Cola. La cola es donde los clientes esperan antes de recibir el servicio. Una cola se caracteriza por el número máximo permisible de clientes que puede admitir. Las colas pueden ser finitas o infinitas, según si dicho número es finito o infinito.

Disciplina de la cola. La disciplina de la cola se refiere al orden en el que sus miembros se seleccionan para recibir el servicio

Mecanismo de servicio. El mecanismo de servicio consiste en una o más estaciones de servicio, cada una de ellas con uno o más canales de servicio paralelos, llamados servidores. Si existe más de una estación de servicio, el cliente puede recibirlo de una secuencia de ellas (canales de servicio en serie) (Hillier & Lieberman, 2010).

Proceso de llegadas. A cada llegada se le denominará un “trabajo”. Debido a que el tiempo entre llegadas (el tiempo entre arribos) no se conoce con certeza, necesitaremos especificar una distribución de probabilidades para éste. En el modelo básico se utiliza una distribución particular, llamada distribución exponencial (algunas veces se le conoce como la distribución exponencial negativa).

Proceso de servicio. En el modelo básico, el tiempo que toma terminar un trabajo (el tiempo de servicio) también es tratado mediante una distribución exponencial. - El parámetro para esta distribución exponencial se conoce como  $\mu$ . Representa la tasa media de servicio en trabajos por minuto. En otras palabras,  $\mu T$  es el número de trabajos que serían atendidos (en promedio) durante un periodo de T minutos si la máquina estuviera ocupada durante ese tiempo (Eppen, Gould, Schmidt, Moore, & Weatherford, 2000).

Los clientes llegan a una instalación (servicio) desde de una fuente. Al llegar, un cliente puede ser atendido de inmediato o esperar en una cola si la instalación está ocupada. Cuando una instalación completa un servicio, “jala” de forma automática a un cliente que está esperando en la cola, si lo hay. Si la cola está vacía, la instalación se vuelve ociosa hasta que llega un nuevo cliente.

Desde el punto de vista del análisis de colas, la llegada de los clientes está representada por el tiempo entre llegadas (tiempo entre llegadas sucesivas), y el servicio se mide por el tiempo de servicio por cliente. Por lo general, los tiempos entre llegadas y de servicio son probabilísticos (por ejemplo, la operación de una dependencia oficial) o determinísticos (digamos la llegada de solicitantes para una entrevista de trabajo o para una cita con un médico).

El tamaño de la cola desempeña un papel en el análisis de colas. Puede ser finito (como en el área intermedia entre dos máquinas sucesivas), o, para todos los propósitos prácticos, infinita (como en las instalaciones de pedidos por correo).

La disciplina en colas, la cual representa el orden en que se seleccionan los clientes en una cola, es un factor importante en el análisis de modelos de colas. La disciplina más común es la de primero en llegar, primero en ser atendido (FCFS, por sus siglas en inglés). Entre otras disciplinas esta último en llegar primero en ser atendido (LCFS, por sus siglas en inglés) y la de servicio en orden aleatorio (SIRO, por sus siglas en inglés). Los clientes también pueden ser seleccionados de entre la cola, con base en algún orden de prioridad (Taha, 2012).

## 2.8. Simulación

La simulación se podría definir como un medio que experimenta con un modelo detallado de un sistema real para determinar cómo responderá el sistema a los cambios en su estructura o entorno (Robert, 2003). Por otro lado, se podría afirmar que la simulación permite experimentar con un modelo del sistema para comprender mejor los procesos, con el fin de mejorar la actividad en las empresas (Herrera, 1999).

El auge de la simulación viene acompañado de la mejora e implementación de nueva tecnología que permite un mayor nivel de procesamiento de sistemas cada vez más complejos en periodos de tiempo más cortos.

Existen diferentes clasificaciones para los modelos de simulación, entre los que destacan: modelos deterministas y estocásticos.

- Modelo determinista: los modelos de simulación que no contienen variables aleatorias se clasifican como deterministas, es decir, para un conjunto conocido de datos de entrada, tendremos un conjunto único de resultados de salida.

La desventaja de usar este tipo de simulador es que, en el caso de los valores promedio, no es posible observar o considerar el impacto individual que cada valor causa en el sistema, lo que puede ser bastante significativo.

- Modelo estocástico: tiene una o más variables aleatorias como entrada, lo que conduce a salidas aleatorias. Se utiliza cuando al menos una de las características operativas viene dada por una función de probabilidad.

Es por eso que los resultados de la simulación estocástica se deben tratar como estimaciones estadísticas de las características reales de un sistema. Normalmente, son más complejos que los modelos deterministas.

La representación fiel de un sistema pasa inevitablemente por la aleatoriedad de sus eventos. Los simuladores que trabajan con valores promedio o que usan los valores recopilados del sistema como datos de entrada se denominan deterministas.

En el caso de utilizar los propios valores recopilados, el resultado es mejor, pero está más restringido al número de colecciones. Cuando los datos terminan, la simulación se ve obligada a reiniciarse desde el primer valor, ingresando una repetición que terminará generando resultados bastante idénticos a los del período anterior. Otro inconveniente es que las ocurrencias (como fallas o sobrecargas) se reproducirán en el sistema siempre de la misma manera, sin la variación que se observa en el sistema real. Esto puede ocultar al analista varias situaciones que realmente ocurren en el sistema.

Los simuladores estocásticos como Sand y Ape, por otro lado, son capaces de imitar la aleatoriedad del sistema real a través de distribuciones probabilísticas, que representan matemáticamente las posibilidades de ocurrencia de todos los valores posibles para un determinado proceso del sistema. Junto con un sistema

generador de números aleatorios, como el llamado "Método de Monte Carlo", u otros, los simuladores estocásticos permiten reproducir el comportamiento del sistema con todas las posibilidades y combinaciones y sin límite en el período de tiempo deseado por el usuario.

### 2.8.1. Elementos de la simulación

El concepto de simulación engloba soluciones a muchos propósitos diferentes, este trabajo utilizo la simulación de eventos discretos. Esta consiste en el conjunto de relaciones lógicas, matemáticas y probabilísticas que integran el comportamiento del modelo de un sistema, bajo estudio cuando se presenta un evento que se está analizando (García, Reyes, & B, 2007).

En la definición anterior se encuentran conceptos como; modelo, sistema y evento, de los cuales se desprenden elementos importantes necesarios para la simulación los cuales son:

- Sistema: es el conjunto de elementos que se interaccionan para funcionar como un todo.
- Entidad: es la representación de los flujos tanto de entrada como de salida, es el elemento responsable del cambio de estado del sistema.
- Estado del sistema: la condición que guarda el sistema en un momento específico.
- Evento: es cualquier cambio al estado actual del sistema.
- Localizaciones: todos aquellos espacios definidos, donde las entidades, pueden ser transformadas o esperan a serlo.
- Recursos: son todos aquellos bienes, maquinaria o personal (diferente a las localizaciones) necesarios para la realización de las operaciones.
- Atributo: las características físicas de las entidades.

### 2.9. Ganancias y factibilidad

Para que un proyecto se implemente o gestione es necesario que sea factible, uno de los principales factores de la factibilidad en proyectos, es que la inversión se recupere, en periodos racionales de tiempo y se mejore la calidad del mismo. Para asegurar esto se necesita calcular las ganancias del sistema actual.

La ganancia también es conocida como beneficio económico e implica el resto económico del que un actor se beneficia como resultado de realizar una operación financiera. En pocas palabras, es la proporción entre los ingresos totales menos los costos totales de producción, distribución y comercialización de, un producto o servicio en particular (Kicillof, 2009).

### 2.10. Antecedentes

Los siguientes son una presentación de los trabajos que sirvieron como guía para la elaboración de este proyecto:

Tabla 2.1 Tabla de antecedentes o estado del arte.

Fecha	Fuente y cita	Título	Autores	Resumen.
2016	Academia Journals  (Maus, Hernández, Jiménez, & Figueroa, 2016)	Análisis del tiempo de desplazamiento en un tramo de la Av. Constituyentes de la Ciudad de Celaya mediante un enfoque de líneas de espera.	Maus Acevedo Ana, Hernández Gonzáles Salvador, Jiménez García José y Figueroa Fernández Vicente.	El artículo hace un modelo de líneas de espera en una de las principales avenidas de la ciudad de Celaya Gto. Para esto divide la avenida en tramos y a cada uno realiza un modelo particular a las condiciones que experimenta, para esto toma la base de datos de la autoridad correspondiente y la compara con los datos

				obtenidos de la prueba de aforos.
2016	CILOG  (Saéñz, Maus, Hernández, & Jiménez, 2016)	Análisis del flujo vehicular en la zona conurbada de Celaya mediante simulación y líneas de espera	Saéñz Guzmán Gabriel, Maus Acevedo Ana, Hernández Gonzáles Salvador y Jiménez García José	Realiza una modelación por simulación de los alrededores y en la ciudad de Celaya, en específico en la avenida Constituyentes y zona conurbada. Se logra conocer los tiempos de recorridos y permanencia en el sistema vial, así como la probabilidad de congestión.
2013	Biblioteca Digital CONACYT  (Rodríguez, 2013)	Percepción del usuario y el nivel del servicio ofertado, en las zonas metropolitanas de Aix-en Provence Francia y Monterrey México.	Rodríguez Quintanilla Ileri	Dentro del proceso de análisis, la metodología de investigación incluye la creación de una matriz de congruencia, además de la operacionalización de las variables de estudio para los dos escenarios propuestos. Como un caso práctico, oferta de transporte público que se brinda en cada una de las ciudades citadas.

2010	Economía, Sociedad y Territorio, vol. X, numero 32.  (Sánchez & Romero, 2010)	Factores de calidad en el servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca, México.	Sánchez Flores Óscar, Romero Torres Javier	El artículo hace una identificación, ponderación y valoración de factores interviene en la percepción de la calidad del servicio del transporte público en un corredor de un área urbana.
2008	Scripta Nova Geografía y Ciencias Naturales.  (Casado, 2008)	Estudios sobre movilidad cotidiana en México.	José Casado Izquierdo	El artículo analiza el impacto de la movilidad cotidiana (desplazamientos en sistemas cerrados dentro del mismo día) que se han desarrollado en México y como estos afectan a la calidad de Vida de las personas.
2003	Acervo digital Universidad del CEMA  (Adí & Heckmann, 2003)	Medición de calidad de los servicios.	Gabriel Weil Sharón y Heckman Gerardo	El autor realiza una combinación de metodologías para la medición de la calidad en servicios y lo aplica en la satisfacción de la experiencia de los huéspedes de un hotel

### 3. METODOLOGÍA

El objetivo principal de esta tesis es recomendar propuestas de mejora al sistema de transporte *interterminal*. El problema se planteó debido al hecho de que hay un área de oportunidad para mejorar la calidad del servicio para el usuario, como el sistema esta operado por una empresa externa al AICM, se contempló que las recomendaciones de mejora sean económicamente factibles para el empresario.

Para ser factibles económicamente por parte del concesionario se considera que la operación del sistema no resulte en pérdidas económicas o que los gastos sean mayores a los ingresos.

Con la información previa del capítulo, se podrá hacer un mapeo y análisis de la interacción de los elementos de la red así se determinarán las características básicas en el sistema de transporte público que podrá determinar el grado de satisfacción del usuario y el éxito del sistema en sí.

Las siguientes son las etapas definidas, consecutivas y dependientes con las que se desarrolló este proyecto.

#### 3.1. Análisis del sistema

En esta primera etapa se conoció y examino el sistema en sitio para obtener la información necesaria para la selección y creación del modelo de caracterización por simulación. Así mismo se analizaron las diferentes bases de datos históricos como pueden ser las bitácoras que cada supervisor terrestre hace para llevar un seguimiento del servicio ofrecido por el concesionario y los indicadores del servicio descritos en las instalaciones y portal del complejo (AICM, 2018).

También se especificó las condiciones y parámetros numéricos de validación de nivel de confianza del mismo modelo, brindadas por el estado del arte, así como las recomendaciones del usuario final.

Simultáneamente a estas actividades se realizó el convenio del proyecto (que incluirá en tiempo y forma de los alcances y limitaciones, así como las responsabilidades tanto del estudiante como de la autoridad competente. Se decide agrupar los datos ciclos de operación en horas, porque es la medida que mide el desempeño del sistema terrestre de transporte, así como la representación de los resultados de los modelos de simulación en parámetros de la teoría de colas por instrucción del personal del aeropuerto.

### 3.2. Creación de bases de datos

Esta etapa consistió en conseguir las bases de datos necesarias para la realización de este proyecto, que fueron las condiciones de operación del servicio y la percepción de los factores que alteran la calidad del servicio.

Para resolver la problemática de la selección adecuada de los datos para la construcción del modelo de simulación y la calidad del servicio, se decidió comprobar la confiabilidad de los datos históricos a través del siguiente procedimiento.

#### 3.2.1. Selección del tamaño de muestra

Con la base de datos de la bitácora, se pudo realizar un análisis estadístico y ver la demanda promedio del servicio, así como el tiempo de servicio como sus intervalos de operación.

Para la selección del tamaño de la muestra que tenga un nivel de confianza del 95% con un margen de error del 10% como sugiere la literatura (Martínez A, 2015). Al conocer el tamaño total de la población (tasa de usuarios promedio de los datos históricos diarios 1610 usuarios), se aplica la ecuación 2.

Dando como resultado un tamaño de muestra de 91 ciclos de operación

### 3.2.2. Aforo del servicio

Se prosigió a realizar un muestreo sistemático de los ciclos de operación de la ruta interterminal los días 2 a 6 de octubre que comprendió el horario de operación de 8:00 am a 13:00. Para obtener la información requerida para comparar las bases de datos del año anterior en situaciones similares de servicio, respecto al mes y día. para así tratar de minimizar elementos de ruido.

También en esta etapa se aplicaron 91 encuestas, para saber las consideraciones y puntuaciones de los usuarios sobre los factores que afectan la calidad del servicio.

Instrucciones	Asignar un puntaje a cada factor donde mayor es mejor y menor es peor Al menos cada factor debe tener 1 punto y el total de puntos es 10.	
Factores	Descripción	Puntaje
Costo	Cantidad monetaria para el coste de servicio.	
Disponibilidad	El servicio cuenta con un mejor horario de atención y hay lugar disponible.	
Frecuencia	Número de salidas, en una hora de servicio promedio.	
Presentación.	Limpieza y atención del operador como de la unidad.	
	Total	10 puntos
Gracias por su participación.		

Figura 3.1 Encuesta para la ponderación de factores de calidad del servicio. (creación propia).

### 3.2.3. Prueba de hipótesis

Para comprobar que las bitácoras de servicio hacen un seguimiento real del servicio, se compararon los datos de la demanda, de ambas bases de datos donde se puso a prueba la hipótesis nula  $H_0: \mu_1 = \mu_2$ , en la cual, el criterio de rechazo es  $z_0 > z_{\alpha/2}$ , siendo el estadístico ( $z_0$ ) la ecuación 1.

### 3.3. Caracterización del sistema

Para la elaboración de este proyecto se necesitó realizar tres modelos, uno que permitiría predecir la parte operativa del sistema (simulación) de transporte así como las interacciones de los diferentes factores en el mismo para poder predecir el comportamiento del sistema con las propuestas de mejora, un segundo modelo permitió aproximar las ganancias o pérdidas en la operación del sistema para visualizar que las propuestas de mejora sean factibles económicamente y el último que valúe el impacto de las propuestas en la percepción de los factores de la calidad del servicio de transporte .

#### 3.3.1. Simulación

Como política y lineamiento en la operación del servicio de la ruta se realiza una salida de la terminal 1 a la terminal 2 y viceversa cada 15 min (este tiempo toma en cuenta el tiempo de operación del transporte de su destino y el tiempo de espera en la entrada y salida de usuarios) por lo que en cada hora hay 4 unidades en operación, en los aforos de las muestras se comprueba que en todos los casos se realizaron las 8 rutas programadas en la hora de servicio promedio. Con un horario de operación de 6:00 a 0:00 horas con una frecuencia de salida de cada 15 minutos.

Se procedió a elaborar un modelo de simulación del sistema. Utilizando el software ProModel Student Versión: 7.0.4.201 con los siguientes parámetros y supuestos: Para el muestreo de los resultados del mismo modelo se procedió a representar los resultados con los mismos nombres, con que la teoría de colas llama a los parámetros, pero se pueden inferir estos, de las diferentes tablas de resultados tanto de entidades, recursos y locaciones.

- Ruta o red: en sistemas cerrados como pueden ser las instalaciones del complejo AICM, la ruta o trayecto es el elemento más fácil de definir, la misma tienen una extensión de 4.2 km de la terminal 1 a la terminal 2 y en el sentido contrario una extensión de 3.8 km., por lo que en el modelo de

simulación se tomaría como una sola red de 8 km. Al punto que corresponde a la terminal 1 se le asignara el nodo 1 y en consiguiente al punto de la terminal 2 se le asigno el nodo 2, la ruta de transporte se muestra en la Figura 3.2.

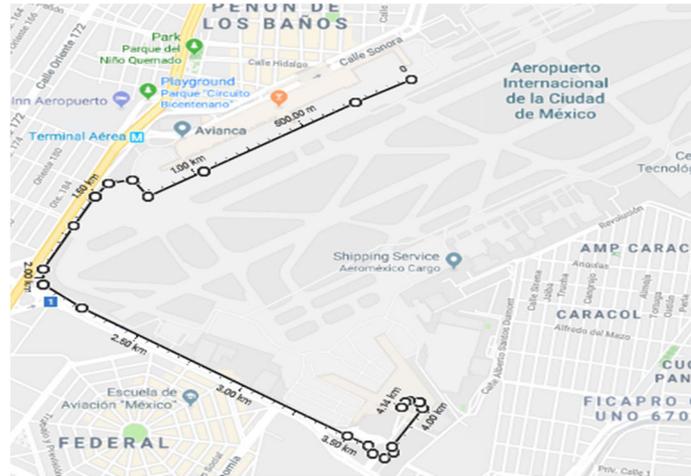


Figura 3.2 Ruta de transporte interterminal (Google Maps, 2018).

- Recurso: El móvil es un camión de la marca Mercedes Benz modelo *Marco polo Torin* y con una capacidad de 24 pasajeros sentados, Figura 3.3.



Figura 3.3 Transporte interterminal en terminal 1.

Conforme a las regulaciones y condiciones de trabajo condicionadas por el AICM, este transporte está equipado con 2 asientos preferentes, los cuales tienen acceso personas con capacidades de movilidad limitada (discapacitadas, mujeres embarazadas o personas en recuperación). Esta capacidad tiene en consideración el supuesto de cada usuario lleve consigo equipaje tanto de mano como documentado. Habiendo dos en todo momento de la simulación corriendo en sentido opuesto el uno del otro. Se logra la condición de estado estable en el sistema al observar que la demanda es menor que la oferta.

- **Locación:** Este modelo tiene cuatro locaciones, las dos primeras (fila 1 y 2) funcionaron como entrada, para los usuarios que se canalizan a las otras locaciones (terminales 1 y 2), con una capacidad de 999, ya que se estima que la capacidad de esta es infinita gracias al espacio físico del aeropuerto.

Las otras dos locaciones (terminal 1 y 2), sirve como la locación donde se realiza el servicio de transporte.

- Entidades: Para efectos de esta simulación serán los usuarios del servicio los cuales tendrán una llegada al sistema como el modelo de anterior de teoría de colas.
- Tiempo de simulación: el sistema se simulará por un tiempo de 75 horas, que corresponde al periodo de 300 ciclos de operación.
- Actividad: la actividad que realizara el recurso a la red corresponde al comando MOVE.
- Tiempo de servicio: al realizar los aforos en sitio se registraron los tiempos de operación de la ruta sigue una distribución logarítmica normal con media de 7 min con una desviación de 1.34 min de los datos históricos.

En este modelo de simulación se decide omitir la velocidad del transporte en el sistema, ya que este factor está considerado en el tiempo de servicio. También se omiten factores de capacidad de la red ya que la misma a encontrarse dentro de las instalaciones del complejo AICM, no tiene ingresos que saturen al flujo vehicular de usuarios que se quieran conectar a puntos externos, en condiciones normales de operación.

Los casos que puedan variar la capacidad de la red, estos se ven absorbidos en el tiempo de servicio considerando que, a mayor tiempo de servicio, aumenta el tráfico en la red y disminuye la velocidad con que el móvil se transporta (Martínez A, 2015).

### 3.3.2. Ganancias o pérdidas

Para comprobar que las propuestas generadas por el análisis de sensibilidad de los escenarios posibles son factibles económicamente, se procedió a realizar una

tabla de ingresos y gastos operativos del sistema *interterminal*. Para la realización de este paso se procedió a crear una lista de los factores y variables que influían directamente en las pérdidas y ganancias del sistema. Seguido a esto se procedió a realizar una discriminación de los factores en conjunto con el personal del aeropuerto.

Para los factores que se desconozcan los costos reales se buscó en literatura, así como en sistemas reales afines como en diferentes medidas de desempeño económico para hacer las aproximaciones más cercanas a las reales, por el desconocimiento de los costos reales del sistema pagados por el concesionario. En la operación del servicio.

#### 3.3.2.1. Gastos

- Combustible: el manual de usuario contempla un gasto promedio de 22.8 litros por cada 100 km, este gasto se especifica en condiciones estables de conducción (Mercedez Benz, 2017). El litro promedio de diésel en el periodo del modelado, en estaciones de expendio público de la Ciudad de México fue de \$17.75 MXN (CANACAR, 2018), asumiendo que la ruta promedio de transporte es de 4 km. se estimó que el consumo por ruta es de 0.896 litros generando un pronóstico de costo de combustible por ruteo de \$15.904 MXN.
- Salario operador: en promedio el operador en México percibe mensualmente la cantidad de \$7,759.00 MXN (Indeed, 2018); este dato fue la estimación de 3,162 fuentes directas, tanto de empresas, usuarios y empleados de los últimos 36 meses a la consulta, con una última actualización el día 16 de noviembre del 2018. Por lo que este salario se dividió entre 730.001 que corresponde al factor de conversión de horas en un mes. Dando como resultado \$10.629 MXN por hora.

- **Mantenimiento:** él manual del camión Marco Polo Torino (Mercedez Benz, 2017), asigna como requisito, para no perder la garantía del mismo un total de 4 servicios de mantenimiento preventivo a lo largo del año, con esto se procedió a contactar a un total de 6 distribuidores autorizados Mercedez Benz, que corresponden al número de empresas asignadas al área metropolitana de la Ciudad de México, para así estimar los costos de mantenimiento promedio. Dando un costo de mantenimiento de \$9,425.74MXN. A igual que el costo anterior se dividió el costo de mantenimiento por el factor de conversión de 730.001. Siendo el costo del mantenimiento por hora de \$ 12.911 MXN.
- **Renta de derechos:** él concesionario tuvo que pagar una renta mensual de \$7,550.00 MXN por unidad (ASA, 2018), para tener acceso a la zona federal. Repitiendo lo procedimientos de costeo anteriores se dividió la tarifa entre el factor de conversión dando un costo por hora de \$10.342 MXN.
- **Contraprestación ingresos:** ASA (Aeropuertos y Servicios Adicionales) adicional a la renta de derechos estipula una contraprestación del 10% de los ingresos brutos mensuales, el porcentaje es estipulado por el catálogo de precios tarifas (ASA, 2018).
- **Costo de espera de los usuarios:** En seguimiento a la metodología para la evaluación socioeconómica de proyectos de transporte masivo urbano (BANOBRAS, 2009), se estimó que el costo del tiempo del usuario, se

determina por el indicador de hora *per capita*, para obtener este factor se divide el ingreso *per capita* entre 24.

Para el cálculo del ingreso *per capita* en México durante el periodo de la evaluación se tomó como indicador la base de datos de ingresos del año del 2017 estimado en \$8,902.8 USD (el valor del USD está definido en la base de datos por el valor actual del día de la consulta (Banco Mundial, 2018), la tasa de cambio el día de la consulta fue de \$20.20 MXN (Banco de México, 2018), dando un total de \$179,836.56 MXN a esta cifra se le suma el crecimiento del PIB para el año del 2018 que se espera sea de 2.14% (El financiero, 2018), por lo que el ingreso para el periodo de la evaluación se pronostica en \$183,685.06 MXN. Esta cifra se dividió entre 8,760 que corresponde al coeficiente de conversión de horas en un año dando como resultado el factor de hora per capita de \$20.97 MXN.

Para la comparativa de los diferentes escenarios, se propuso calcular el tiempo de espera en fila para cada caso específico y multiplicar por el número promedio de usuarios en fila, el factor de minuto per capita es de \$0.3485 MXN.

#### 3.3.2.2. Ingresos

- Pasaje: el costo del pasaje de la ruta interterminal fue de \$18.00 MXN al momento de la evaluación. Suponiendo que la demanda del servicio es la misma que los datos históricos este supone un total de ingreso neto de \$1,448.68 MXN por hora.

Tabla 3.1 Matriz de gastos e ingresos de la ruta interterminal octubre 2018 (creación propia).

Ingreso	
Pasaje	\$18.00/usuario
Costos	
Combustible	\$15.904/ruta
Salario operador.	\$10.629/hora
Mantenimiento	\$12.911/hora
Renta de unidad	\$10.342/hora
Contraprestación ingreso ASA	\$1.80/usuario
Costo de espera de los usuarios.	\$20.91/hora

### 3.3.3. Valoración de la calidad del servicio

Con las encuestas realizadas en el Aforo Vehicular se pudo realizar una tabla de ponderaciones para calcular la importancia de los factores de calidad del servicio por parte de los usuarios y medir el impacto económico de las propuestas de mejora en el sistema. Esta tabla se generó al promediar cada valoración de los factores de las encuestas y dividir este entre la suma de los promedios total.

Tabla 3.2 Tabla de ponderación de factores en la calidad del servicio Interterminal octubre 2018.

Factores	Porcentaje
Costo	17.2%
Disponibilidad	29.3%
Frecuencia	27.1%
Presentación.	26.4%
Total	100%

Para la evaluación del sistema actual que servirá como base para la medición de las propuestas se siguieron los siguientes supuestos:

- Costo, frecuencia y presentación: Se determinará como 1 el valor de la variable, esto se considera para ser el valor de referencia con el sistema actual y surge de que el sistema actual cumple con las condiciones operativas de los factores.

- Disponibilidad: esta es el resultado del promedio de dos partes iguales, una el horario con que se ofrece el servicio y la capacidad física del móvil de albergar la demanda, por lo tanto, para la primera parte se da un valor de 83% (corresponde a las 20 horas del servicio en la demanda del mismo de 24 horas) y para la segunda parte, se definirá 0 si el usuario no cuenta con la posibilidad de no encontrar lugar en el móvil y 1 si hay capacidad, siendo la medida de selección el resultado del factor de utilización por el modelo de simulación.

### 3.4. Propuestas de mejora

Para la generación de propuestas se contemplaron y revisaron con el personal administrativo, cinco escenarios de mejora para el modelo actual, donde se variaron las condiciones del modelo de simulación con los siguientes supuestos; frecuencia de rutas, unidades disponibles, aumento del horario, reducción del pasaje y un escenario de mejora global que incluye a las anteriores. Las variaciones y supuestos de estos factores pretenden mejorar la percepción de calidad del servicio del sistema *Interterminal* por parte del usuario determinados por los factores de costo, disponibilidad, frecuencia y la presentación.

De estos últimos se deciden discriminar la presentación del servicio, ya que al ser importante no hay forma en el modelo de simulación de variar la percepción del servicio en el sistema establecido. A esto también sumado que se comprobó que en la etapa de recolección de datos, que el servicio cumplía con los estándares dispuestos tanto del concesionario como de la parte administrativa.

- Aumento de la frecuencia en ruta

Aumenta el número de ciclos de ruta de las unidades, disminuyendo el intervalo de espera y tránsito, las propuestas originales de servicio en el intervalo de servicio (11 min, 13.5 min y 14.5 min) fueron descartadas por la dificultad de llevar un

seguimiento de rutas parciales por hora en el servicio. La siguiente tabla muestra los cambios de núm. de ruta.

Tabla 3.3 Escenarios para número de rutas por propuesta de mejora de frecuencia de ruta.

Intervalo del servicio (min.)	% de mejora al sistema actual	Rutas por hora
10	33%	6
12	20%	5

- Aumento de unidades en el sistema

Como el sistema funciona de forma simultánea en ambas estaciones, se propuso el siguiente cambio de cuatro a seis unidades en el sistema, tomando en cuenta, la cantidad real disponibles por parte del concesionario en el momento del proyecto. Tomando que cada unidad puede realizar 4 operaciones cada hora, entonces en total se pueden hacer 24 rutas.

- Aumento horario de atención

Para visualizar la afectación del cambio de factor por aumento en el horario (horario 24 horas). Se utilizó la metodología descrita en el manual (BANOBRAS, 2009), para determinar la demanda del servicio de forma hipotética de la ruta se propuso el siguiente supuesto; el sistema opere para las horas faltantes, en condiciones de horario de baja demanda, esta se estima que la tasa promedio de ocupación sea del servicio es del 50% de la demanda promedio del servicio.

- Reducción del costo de pasaje

Este escenario solo redujo el costo del servicio con las condiciones del sistema actual. Los escenarios propuestos en la siguiente tabla. Estos precios fueron

escogidos por la facilidad que representa recibir y dar la cantidad de dinero a los usuarios del sistema de transporte.

Tabla 3.4 Escenarios para propuesta del pasaje.

Precio sugerido	% de mejora al sistema actual
\$10	45%
\$13.50	25%
\$15	16.6%
\$17	6%

### 3.5. Validación de propuestas

En esta etapa se validaron que las propuestas que aumentaron los factores de la percepción de la calidad del servicio descritos en el paso anterior son factibles económicamente, por parte del concesionario siguiendo los pasos descritos a continuación. Para ser factibles económicamente por parte del concesionario se considera que la operación del sistema no resulte en pérdidas económicas o que los gastos sean mayores a los ingresos.

#### 3.5.1. Ganancias o pérdidas económicas

Para medir el impacto económico en los cambios al sistema provocados por cada uno de escenarios de mejora definidos en el paso anterior y se calculará la ganancia o pérdida de cada con la tabla de ganancias o pérdidas generada en el paso 3-1 de la metodología.

#### 3.5.2. Valoración de la calidad

Para la evaluación del impacto de la mejora de la calidad de la percepción del servicio en las propuestas anteriores, se sumará el cambio porcentual de mejora de los factores, reflejados en los resultados de los modelos de simulación y se

medirá contra la valoración actual para medir el nivel de mejora. Haciendo cambio a los supuestos definidos en la valoración de la calidad del sistema actual en la tabla

- Frecuencia: fue igual el número de rutas por hora en el sistema.
- Presentación: este factor fue la única constante en la valoración, ya que se comprobó con el aforo del servicio, que cumple con los estándares de limpieza e higiene de la unidad, así como la presentación del operador propuestos tanto por las reglas del AICM como del concesionario.

## 4. RESULTADOS

### 4.1. Confiabilidad de base de datos históricos

Para el cálculo de ambas bases de datos se prosiguió a realizar los mismos procedimientos tanto para la selección del tamaño de muestra para la ejecución de los aforos y las encuestas necesarias.

Al conocer el tamaño total de la demanda del servicio por medio de los datos históricos diarios (1610 usuarios) se aplicó la ecuación 2.2. Dando un tamaño de operación de 91.

Conforme a la ecuación 2.1 descrita anteriormente se comprueba que el estadístico de rechazo es igual a 1.624, por lo tanto, se realiza la prueba;  $z_0 > z_{\alpha/2}$ ,  $1.624 > 1.65$ , la prueba no cumple con las condiciones del criterio, por lo tanto, se acepta la hipótesis nula donde se estima que ambas bases de datos siguen una misma distribución con un nivel de confianza del 90%.

La siguiente tabla muestra el comportamiento de la de los datos históricos comparación con los datos obtenidos del aforo del servicio

Tabla 4.1 Datos de la media de la demanda.

Demanda	Bitácora		Aforo	
	Media	Desviación estándar	Media	Desviación estándar
	80.26	9.3	82.7	13.4

### 4.2. Modelado sistema actual

4.2.1. Simulación

La siguiente tabla muestra los resultados del modelo de simulación, Promodel no representa los resultados con los mismos nombres, con que la teoría de colas llama a los parámetros, pero se pueden inferir estos, de las diferentes tablas de resultados tanto de entidades, recursos y locaciones.

Tabla 4.2 Medidas de desempeño modelo actual de simulación.

Medidas de desempeño	Simulación.
Factor de utilización ( $\rho$ ).	44.52%
Número promedio de unidades en colas ( $Lq$ ).	9.04 usuarios
Número promedio de unidades en el sistema ( $Ls$ ).	85.94 usuarios
Tiempo promedio que una unidad pasa en una cola ( $Wq$ ).	3.08 min
Tiempo promedio que una unidad pasa en el sistema ( $Ws$ ).	13.09 min

- Factor de utilización: este factor determina el resultado de la ocupación de los usuarios respecto a la capacidad máxima física del móvil de albergarlos siendo esta última de 192 pasajeros por hora. Siendo este inferido del estatuto resultado de capacidad máxima ocupado del recurso de transporte por hora.
- Numero promedio de unidades en cola ( $Lq$ ). determina la cantidad de usuarios promedio en espera del uso de servicio, cabe recordar que el usuario adentro del móvil, se considera en atención, aunque este aún no se

desplace. Y fue el resultado de la suma del estatuto de unidades promedio por hora en locaciones de colas.

- Numero promedio de unidades en el sistema ( $L_s$ ): Se refiere a la cantidad total de usuarios dentro del sistema siendo este de 85.94 por hora.
- Tiempo promedio de una unidad pasa en una cola ( $W_q$ ). Es el tiempo que tardan los usuarios en espera del servicio, en la simulación fue el tiempo promedio en que la entidad pasa al recurso.
- Tiempo promedio de una unidad pasa en el sistema ( $W_s$ ). Es el tiempo total en que los usuarios pasan en el sistema, en el modelo de caracterización fue el resultado del estatuto de la entidad en el modelo siendo este de 13.09 min.

#### 4.2.2. Ganancias del sistema

Con la tabla generada en el paso 3.3.2 de la metodología se puede inferir la siguiente ecuación que define las ganancias o pérdidas aproximadas del sistema de transporte para el sistema actual como para las propuestas de mejora.

##### *Ganancias o perdidas*

$$= \text{pasaje}D - (\text{Combustible}(r) + \text{salario}(u) + Mto(u) + \text{Renta}(u) + \text{Contraprestacion}(D) + CWq(Lq))$$

Ecuación 4.1 Ganancias o pérdidas en el sistema de transporte Interterminal.

Donde

D=demanda del servicio.

r= Numero de rutas o ciclos en el sistema.

u=Unidades en el sistema (móviles)

CWq=Costo del tiempo de espera en la fila, este costo esta expresado en min.

Lq= Usuarios en fila.

Resolviendo la ecuación anterior ( $Ganancia = \$18(80.26) - (\$15.9(4)(4) + \$10.63(4) + \$12.91(4) + \$10.34(4))\$1.8(80.26) + .\$3485(3.08(4.52))$ ) para las condiciones actuales del sistema dan como resultado una ganancia, porque los ingresos son mayores a los costos dando un total de \$899.941 MXN por hora.

#### 4.2.3. Nivel de calidad

Para determinar el nivel de calidad actual como de las propuestas se extrapolo la siguiente ecuación de la tabla realizada en el paso 3.3.3 de la metodología.

$$Nivel\ de\ calidad = c(.172) + d(.293) + f(.271) + p(.264)$$

Ecuación 4.2 Valoración del nivel da calidad en el sistema de transporte Interterminal.

Donde

c= valoración porcentual del nivel de mejora del costo.

d= valoración porcentual del nivel de mejora de la disponibilidad.

F= valoración porcentual del nivel de mejora de la frecuencia.

p= valoración porcentual del nivel de mejora de la presentación.

Resolviendo la ecuación anterior con los supuestos de la misma etapa de la metodología donde se extrapolo esta ecuación  $Nivel\ de\ calidad = 1(.172) + .915(.293) + 1(.271) + 1(.264)=.9755$  .por lo que el sistema cumple con un 97.55% de los factores que determinan la satisfacción del usuario o calidad del sistema de transporte.

### 4.3. Propuestas de mejora

Lo siguiente son los resultados de las variaciones del modelo de simulación actual con las propuestas definidas en la metodología, las mismas también se describieron en términos de teoría de colas.

Para el caso de la disminución del pasaje esta no se modeló, ya que no cambia en ningún sentido la parte operativa del modelo de simulación. En cada caso de mejora se coloca el resultado del escenario actual para fines comparativos.

- Aumento frecuencia de ruta.

Tabla 4.3 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de frecuencias.

Resultados					
Frecuencia de rutas (min)	Factor de utilización ( $\rho$ ).	Número promedio de usuarios en colas ( $Lq$ ).	Número promedio de usuarios en el sistema ( $Ls$ ).	Tiempo promedio (min.) que un usuario pasa en una cola ( $Wq$ ).	Tiempo promedio (min.) que un usuario pasa en el sistema ( $Ws$ ).
15	44.52%	9.04	85.94	3.08	13.09
12	35.62%	4.05	86.75	1.58	12.99
10	29.69%	1.9	87.05	1.4	12.87

- Aumento de unidades en el sistema.

Tabla 4.4 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de unidades.

Resultados					
Unidades en el sistema	Factor de utilización ( $\rho$ ).	Número promedio de usuarios en colas ( $Lq$ ).	Número promedio de usuarios en el sistema ( $Ls$ ).	Tiempo promedio (min.) que un usuario pasa en una cola ( $Wq$ ).	Tiempo promedio (min.) que un usuario pasa en el sistema ( $Ws$ ).
4	44.52%	9.04	86	3.08	13.09
6	13.93%	0.85	80.4	0.74	10.41

- Horario de atención.

Tabla 4.5 Resultados de los escenarios de simulación para propuesta de mejora del aumento de horario.

Resultados					
Demand a del sistema	Factor de utilización (ρ).	Número promedio de usuarios en colas (Lq).	Número promedio de usuarios en el sistema (Ls).	Tiempo promedio (min.) que un usuario pasa en una cola (Wq).	Tiempo (min.) promedio que un usuario pasa en el sistema (Ws).
80.26	44.52%	9.04	86	3.08	13.09
40.13	22.30%	4.61	42.01	2.87	12.83

#### 4.4. Validación de propuestas

A continuación, se presenta los resultados de las valoraciones de las propuestas en términos de pérdidas o ganancias y su impacto en la mejoría de la percepción del servicio de calidad.

##### 4.4.1. Análisis del impacto económico

Con la ecuación 4.1 desarrollada en el modelado del sistema actual se desarrolló la siguiente tabla donde muestras las ganancias de los diferentes casos escenarios de las propuestas de mejora anteriores.

Tabla 4.6 Ganancias de los casos escenarios de las propuestas de mejora.

		Variaciones del sistema.						Ingresos		Gastos					Ganancia o perdidas	
		Demanda	Unidades en el sistema	Frecuen- cia de viajes	Rutas en una hora por unidad	Usuarios en línea de espera.	Tiempo promedio de espera en fila.	Costo del pasaje	Pasaje	Combusti- ble	Salario operador.	Mantenimi- ento	Renta de unidad	Contrapre- stación ingreso ASA		Costo de espera de los usuarios.
Sistema actual		80.26	4	15	4	9.04	3.08	18	1444.68	255.04	42.516	51.644	41.368	144.468	9.703	899.941
Propuestas	Frecuen- cia	80.26	4	12	5	4.05	1.58	18	1444.68	318.8	42.516	51.644	41.368	144.468	2.230	843.654
		80.26	4	10	6	1.9	1.4	18	1444.68	382.56	42.516	51.644	41.368	144.468	0.927	781.197
	Unidades	80.26	6	15	4	0.85	0.74	18	1444.68	382.56	63.774	77.466	62.052	144.468	0.219	714.141
	Horario	40.13	4	15	4	4.61	2.87	18	722.34	255.04	42.516	51.644	41.368	72.234	4.611	254.927
	Pasaje	80.26	4	15	4	9.04	3.08	10	802.6	255.04	42.516	51.644	41.368	80.26	9.703	322.069
		80.26	4	15	4	9.04	3.08	13.5	1083.51	255.04	42.516	51.644	41.368	108.351	9.703	574.888
		80.26	4	15	4	9.04	3.08	15	1203.9	255.04	42.516	51.644	41.368	120.39	9.703	683.239
		80.26	4	15	4	9.04	3.08	17	1364.42	255.04	42.516	51.644	41.368	136.442	9.703	827.707

Con la tabla anterior se generó la siguiente tabla que muestra las ganancias por día de las propuestas de mejora, para cada caso solo se multiplico la ganancia aproximada por hora por 20 que corresponda las horas de servicio del sistema de transporte interterminal, excepto la mejora de la amplitud del horario donde esta se calculó al sumar el resultado del sistema actual con la suma de la ganancia de las restantes cuatro horas.

Tabla 4.7 Ganancias de los casos escenarios de las propuestas de mejora por día.

Escenarios de mejora		Dia
Frecuencia	1	\$ 16,873.08
	2	\$ 15,623.94
Unidades	3	\$ 14,282.82
Horario	4	\$ 19,018.52
Pasaje	5	\$ 6,441.37
	6	\$ 11,497.75
	7	\$ 13,664.77
	8	\$ 16,554.13

Para facilitar la visualización de las ganancias de los casos escenarios anteriores se realizó el siguiente gráfico.

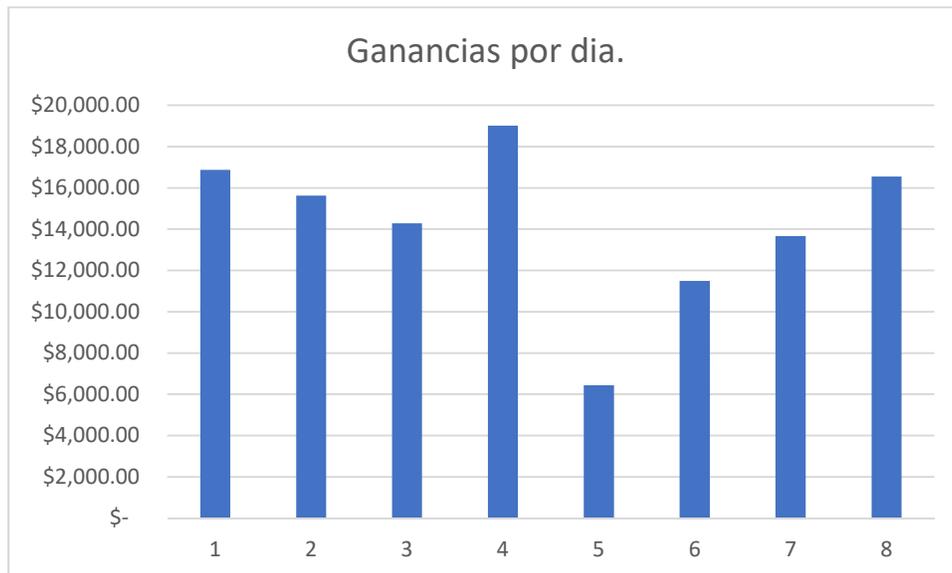


Figura 4.1 Grafico de ganancias de casos escenarios de mejora.

#### 4.4.2. Ponderación de mejora en la calidad

Con la ecuación 4.2 descrita en el modelado del sistema actual se desarrolló la siguiente tabla donde muestras de los diferentes casos escenarios de las propuestas de mejora anteriores.

Tabla 4.8 Impacto de las propuestas de mejora en la calidad del servicio.

Escenarios	Porcentaje de mejora al sistema actual	Costo	Disponibilidad		Frecuencia	Presentación	Total	Nivel de mejora
			Horario	Disponibilidad				
Frecuencia	33%	1	0.8333	1	133%	1	106.58%	9.02%
	20%	1	0.8333	1	120%	1	102.98%	5.42%
Unidades	50%	1	0.8333	1	1	1	97.56%	0.00%
Horario	16.66%	1	100%	1	1	1	100.00%	2.44%
Costo	45%	145%	0.8333	1	1	1	105.30%	7.74%
	25%	125%	0.8333	1	1	1	101.86%	4.30%
	12%	112%	0.8333	1	1	1	99.62%	2.06%
	6%	106%	0.8333	1	1	1	98.59%	1.03%

## 5. CONCLUSIONES

Un importante objetivo secundario, de esta investigación fue la verificación de la validez de las bitácoras de operación, de llevar un seguimiento real del servicio ofrecido. La variación entre las bitácoras y los datos obtenidos del aforo se puede explicar por el aumento anual de la demanda en el flujo de pasajeros del aeropuerto, así como el aumento de competencia de medios de transporte externos como pueden ser taxis concesionados ajenos al aeropuerto y servicios independientes tanto de plataformas digitales como de terceros.

Gracias a las encuestas realizadas se pudo saber qué factores los usuarios de transporte consideran más importantes para la percepción de la calidad del servicio del sistema Interterminal como se muestra la siguiente esta se generó con la de la tabla 3-2

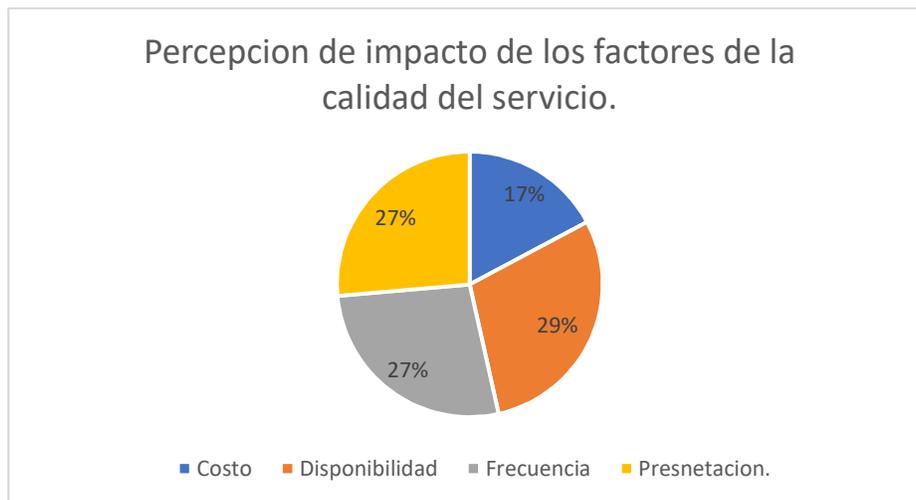


Figura 5.1 Grafico de ponderación de los factores en la percepción de calidad del servicio de transporte interterminal.

Donde se puede observar que el valor más importante, para el usuario es la disponibilidad del servicio, ya que la disponibilidad fija la capacidad de consumo por parte del usuario. Otro resultado importante es que el costo del servicio es el factor con menor importancia para los usuarios, esto se explica por qué el sistema

de transporte *Interterminal* en comparación con las otras alternativas de transporte ofrecidas por el aeropuerto, es la más económica.

Con el modelado del sistema de transporte, se puede ver que actualmente el servicio puede satisfacer el 100% de la demanda del servicio. Y que esta capacidad esta sobrada por un 55.48%. también se observa que hay 4.52 usuarios en línea de espera para tomar el servicio, esto se explica a que fueron los clientes que llegaron al punto de acenso y descenso, entre el intervalo de movimiento del transporte. Por lo tanto, no pudieron tomar y se tuvieron que esperar un total de 3.08 min a la llegada de otra unidad.

Se calcula que el sistema aproximadamente gana aproximadamente \$17998.82 MXN diarios (esto se calculó, multiplicando la ganancia aproximada por hora por 20 que corresponde las horas en que se ofrece el servicio). También el sistema mide que el cumple con un 97.55% del nivel de calidad, respecto a los factores de percepción del servicio.

El alto puntaje, es causa de que la metodología determino que era más importante determinar los valores en que el usuario mide la calidad del servicio y no la calidad del servicio. Por lo tanto, el valor porcentual de los valores que multiplicaron los factores fueron determinados, de ver si el sistema cumplía o no cumplía con las características descritas para la operación del servicio. Si cumplían se les ponía un valor del 100% y si no la parte proporcional como el caso de la disponibilidad.

Se recomienda ampliamente realizar una evaluación de la satisfacción del usuario sobre la calidad del servicio ofrecido y contrarrestar con los factores de percepción de la calidad.

Las propuestas de mejora formuladas, si tienen un impacto negativo en las ganancias percibidas por el concesionario, pero las mismas no generan saldos negativos por lo que si son factibles en la aplicación y gestión por que las mismas aumentan significativamente los factores de percepción de calidad del servicio. Las que incrementan más las pérdidas son aquellas que aumentan el número de rutas por el costo del combustible o decrecen el costo del pasaje. Esto es el

resultado de que el combustible es el costo operativo que más impacta después del costo del servicio.

Aunque el costo de espera de los usuarios no repercute de forma directa en las ganancias o pérdidas por parte del concesionario este sirve para dar un peso específico a la calidad del servicio en términos que el prestador tome atención de las necesidades del cliente. También se observó que en los modelos tanto el actual como las propuestas de mejora el impacto que tuvo este costo fue menor a otros factores.

Esto se puede explicar por qué la metodología con que se calculó *Hora percapita*, solo toma en cuenta la población nacional en condiciones de espera en tráfico, cabe destacar que el sistema de transporte opera en un aeropuerto por lo tanto se tendría que visualizar porcentajes del uso del sistema de transporte por segmentos de usuario para determinar los orígenes de este y determinar con más exactitud el coste verdadero de los tiempos de espera tomando costos de la *hora percapita* por nacionalidad , así mismo el cálculo aproximado de costos ocultos como puede ser cancelaciones, multas o demoras en el abordaje de aviones.

La siguiente tabla muestra el porcentaje de variación que tuvo la ganancia respecto a las propuestas de mejora.

Tabla 5.1 Variación porcentual de las ganancias respecto las propuestas de mejora.

Escenarios de mejora		% variación de la ganancia
Frecuencia	1	-6%
	2	-13%
Unidades	3	-21%
Horario	4	6%
Pasaje	5	-64%
	6	-36%
	7	-24%
	8	-8%

Como se puede observar en la tabla anterior la mejor propuesta de mejora según el ingreso del concesionario, es el aumento del horario de servicio con una ganancia aproximada diaria de \$ 19,018.52 que representa un incremento de la ganancia del 6%. Esto es sumamente importante porque responde directamente a un área de mejora del servicio mencionada en la descripción del problema sobre la disponibilidad del servicio en un horario de servicio 24/7. Ya que el sistema es autosustentable ya que genera ganancias al concesionario por el ofrecimiento del servicio.

Por lo que se recomendó ampliamente a la administración cambiar las políticas con el concesionario y ofrecer el servicio 24/7.

Otro dato observado es que la ruta interterminal es utilizado por un público en general y empleados del mismo aeropuerto, que usa esta ruta para hacer trasbordos a la estación de metro Pantitlán por lo que se puede explorar alternativas como ofrecer descuentos a los empleados y así aumentar el uso del sistema

*Interterminal.*

## **BIBLIOGRAFÍA Y REFERENCIAS**

- Adí, G., & Heckmann, G. (2003). Medición de la calidad de los servicios. Universidad del CEMA.
- AICM. (2018). Reporte mensual cifras Febrero 2018. México.
- AICM. (05 de mayo de 2018). Transportes AICM. Obtenido de <https://www.aicm.com.mx/pasajeros/transporte/entre-terminales>
- ASA. (2018). Catalogo de tarifas y precios.
- Banco de México. (21 de Noviembre de 2018). Calculadora de tipo de cambio y divisas. Obtenido de Consulta pública: <http://www.anterior.banxico.org.mx/sistema-financiero/servicios/calculadoras-de-tipos-de-cambio-y-divisas/calculadoras-tipos-cambio-div.html>
- Banco Mundial. (Noviembre de 2018). PIB per capita. Obtenido de México: <https://datos.bancomundial.org/indicador/NY.GDP.PCAP.CD?end=2017&locations=MX&start=1960&view=chart>
- BANOBRAS. (2009). Guia metodológica para la evaluación de proyectos de transporte masivo urbano. Ciudad de México: CEPEP.
- CANACAR. (Noviembre de 2018). Precio diésel 2018. Obtenido de Cámara Nacional del Autotransporte de Carga Archivo: [https://canacar.com.mx/app/uploads/2017/03/Precios\\_promedio\\_mensuales\\_en\\_estaciones\\_de\\_servicio-.pdf](https://canacar.com.mx/app/uploads/2017/03/Precios_promedio_mensuales_en_estaciones_de_servicio-.pdf)
- Carro Paz, R., & González Gómez, D. (2014). Administración de Operaciones. Construcción de Operaciones de Clase Mundial. Mar del Plata, Argentina: Nueva Librería.
- Casado, J. (2008). Estudios sobre la movilidad cotidiana en México. Barcelona: Scripta Nova Geografía y Ciencias Naturales.
- Curth, M. T. (2015). Modelos matemáticos en las ciencias. Buenos Aires: CEBBAD.
- David, G. (1988). Managing Quality. Cambridge: Havard Business School.

- El financiero. (3 de Septiembre de 2018). Economía. Obtenido de <http://www.elfinanciero.com.mx/economia/analistas-disminuyen-pronostico-del-crecimiento-del-pib-para-2018-y-2019>
- Eppen, G. D., Gould, F. J., Schmidt, C. P., Moore, J. H., & Weatherford, L. R. (2000). Investigación de Operaciones en la Ciencia Administrativa. Ciudad de México: PRENTICE-HALL.
- Everitt, B. (2006). The Cambridge Dictionary of Statics. Cambridge: Cambridge University Press.
- FORBES. (10 de Septiembre de 2017). Forbes Life. Obtenido de <https://www.forbes.com.mx/forbes-life/turismo-mexico-pib/>
- García, E., Reyes, H., & B, C. (2007). Simulación y análisis de sistemas con ProModel. Pearson Education.
- Google . (21 de Noviembre de 2018). Convertidor y calculadora de unidades. Obtenido de Tiempo: [https://www.google.com.mx/search?q=convertidor+de+unidades+google&rlz=1C1EJFA\\_enMX778MX778&oq=convertidor+de+unidades&aqs=chrome.1.69i57j0j69i60j69i61j0l2.7698j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8](https://www.google.com.mx/search?q=convertidor+de+unidades+google&rlz=1C1EJFA_enMX778MX778&oq=convertidor+de+unidades&aqs=chrome.1.69i57j0j69i60j69i61j0l2.7698j0j4&sourceid=chrome&ie=UTF-8)
- Google Maps. (2018 de Septiembre de 2018). Obtenido de <https://www.google.com/maps/place/Mexico+City+International+Airport/@19.4360762,-99.074097,17z/data=!3m1!4b1!4m5!3m4!1s0x85d1fc77bd93229f:0x2d07ef561bad244!8m2!3d19.4360762!4d-99.0719083>
- Herrera, A. M. (1999). Simulación: Herramientas para el estudio de sistemas reales. Colombia: Universidad del Norte.
- Hillier, F., & Lieberman, G. (2010). Introducción a la Investigación de Operaciones. Ciudad de México: McGraw Hill.
- Indeed. (16 de Noviembre de 2018). Salario chófer en México. Obtenido de Salarios: <https://www.indeed.com.mx/salaries/Ch%C3%B3fer-de-cami%C3%B3n-Salaries>
- Kicillof, A. (2009). Salario, precio y ganancia en la teoría general. Universidad de Buenos Aires.

- Martínez A, M. M. (2015). Manual Estadístico del Sector Transporte 2015. Sanfadilla Qro.: IMT.
- Maus, A., Hernández, S., Jiménez, J., & Figueroa, F. (2016). Analisis del tiempo de desplazamiento en un tramos de la Av. Constituyentes de la ciudad de Celaya, mediante un enfoque de lineas de espera. Celaya: Academia Journals.
- Mercedes Benz. (2017). Manual de usuario Marco Polo Torino.
- Montgomery, D., & Runger, G. (2002). Probabilidad y estadística aplicadas a la ingeniería. McGraw Hill.
- Palacios, J. (2002). Estrategias de la ponderación de la repuesta en encuestas de satisfacción usuarios de servicios. Madrid: Universidad Complutense de Madrid.
- Portilla, L. M., Arias Montoya, L., & Fernández Henao, S. A. (2010). Análisis de líneas de espera a través de teoría de colas y simulación. Scientia Et Technica, 56-61.
- Robert, S. (2003). Simulación de sistemas. Ciudad de México.: Porrúa.
- Rodríguez, I. (2013). Percepcion del usuario y el nivel del servicio ofertado en las zonas metropolitanas de Aix-en Provence Francia y Monterrey México. San Nicolás de los Garza: CONACYT.
- Saénz, G., Maus, A., Hernández, S., & Jiménez, J. (2016). Análisis del flujo vehicular en la zona conurbada de Celaya mediante simulacion y lineas de espera. Mérida: CILOG.
- Sánchez, O., & Romero, J. (2010). Factores de calidad en el servicio en el transporte público de pasajeros: estudio de caso de la ciudad de Toluca México. Ciudad de México: Economía Sociedad y Territorio.
- SCT. (2018). Indicadores de la avicion Mexicana enero-septiembre. Ciudad de México.
- Taha, H. A. (2012). Investigación de Operaciones. México: Pearson.
- WTTC. (2018). Travel and tourism, . Obtenido de Economic Impact 2018 Mexico: <https://www.wttc.org/-/media/files/reports/economic-impact-research/countries-2018/mexico2018.pdf>

ANEXOS



Figura 0.1 Anexo carta de terminación de proyecto en AICM.

**MODELACIÓN DEL SISTEMA DE TRANSPORTE  
INTERTERMINAL DEL AEROPUERTO INTERNACIONAL  
DE LA CIUDAD DE MÉXICO**

**MODELING OF THE INTERTERMINAL TRANSPORT SYSTEM OF  
THE INTERNATIONAL AIRPORT OF MEXICO CITY**

**Rodrigo Emmanuel Romero Mendoza**

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
emmanuel\_r0me@hotmail.com

**Salvador Hernández González**

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
salvador.hernandez@itcelaya.edu.mx

**Vicente Figueroa Fernández**

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
vicente.figueroa@itcelaya.edu.mx

**José Alfredo Jiménez García**

Tecnológico Nacional de México en Celaya, México  
alfredo.jimenez@itcelaya.edu.mx

**Resumen**

Una de las opciones ofrecidas por el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México para la movilidad de los usuarios y el personal del mismo, dentro de los diferentes puntos del complejo, es el sistema de transporte Interterminales. Una de las principales problemáticas en este tipo de servicio, es contar de forma rápida información confiable que permita administrar y evaluar el sistema para así gestionar y mejorar el mismo a través del análisis de diferentes casos escenarios de supuestos de mejora. Por lo que es imperativo contar con un modelo que caracterice el mismo con un alto nivel de confianza, en este trabajo se mapeo el sistema por medio de la metodología de teoría de colas y la simulación.

**Palabras Clave:** Modelo, Teoría de colas, Simulación.

**Abstract**

*One of the options offered by the International Airport of Mexico City for the mobility of the users and its staff, within the different points of the complex, is the*