

Modelado, simulación y optimización del sistema de servicio del peaje “Mesa de Los Santos”, Santander

Jessica Vanessa Rey Duarte

000245469

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

**Modelado, simulación y optimización del sistema de servicio del peaje “Mesa
de Los Santos”, Santander**

Jessica Vanessa Rey Duarte

000245469

Proyecto de grado presentado como requisito para optar al título de:

INGENIERA INDUSTRIAL

Director del Proyecto

Maryory Patricia León Villamizar

Universidad Pontificia Bolivariana – Seccional Bucaramanga

Escuela de Ingeniería

Bucaramanga

2018

Copyright © 2018 por Jessica Vanessa Rey Duarte. Todos los derechos reservados.

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a Dios pues todo se lo debo a él, y en él están puestos todos los
anhelos de mi Corazón.

A mis amados padres, este es un reconocimiento para ustedes por su inalcanzable labor como
guías, como soporte, como refugio, como luchadores y soñadores. Son mi todo.

A la Mesa de Los Santos, Lugar que me vio crecer queriendo que este trabajo sea de gran aporte
para el Desarrollo, crecimiento y mejoramiento de la calidad de vida de este hermoso paraíso
colombiano.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer primeramente a Dios a quien debo todos y cada uno de mis logros, quien me ha sostenido en todo tiempo con su gracia y amor, y quien será siempre mi razón de ser.

A mis padres Víctor Rey y Teresa Duarte por su entrega, paciencia, amor, esfuerzo, apoyo y constantes oraciones a mi favor; a mi familia pues son y serán siempre el motor que me impulsan a ser mejor y alcanzar el éxito. Cuan afortunada me siento de contar con ellos y estoy segura de que sin ellos alcanzar esta meta hubiese sido imposible.

A la docente Maryory Patricia León Villamizar por la confianza depositada en mí para la realización de este trabajo, por su tiempo, su valiosa ayuda y trascendente acompañamiento en este reto.

A los Docentes Marcela Villa Marulanda y Orlando Federico González Casallas por sus valiosos consejos y aportes sobre mi trabajo.

A Construvicol S.A - Construvías de Colombia por permitirme realizar este trabajo para la concesión del Peaje de la Mesa de Los Santos.

A la Universidad Pontificia Bolivariana por todos estos años de Formación, siendo como mi segundo hogar.

A mis amigos incondicionales, de quienes aprendí mucho, realmente agradezco a Dios de haberles conocido y poder disfrutar y a veces sufrir esta etapa. A Karolalola por su amistad incondicional, por llenar mis días de actitud positiva y una sonrisa. A linillapilla por ser mi consejera, confidente, por su carácter que cada día me ayudaba a tomar mejores decisiones, por su apoyo incondicional en mis travesuras; a ellas porque desde el primer día de clase estuvieron allí para mí, mis compañeras de aventuras.

A todos aquellos que hicieron posible la realización de este proyecto mil gracias, les deseo de corazón infinitas bendiciones.

Tabla de Contenido

Capítulo 1 Generalidades de la Empresa	1
1.1 Nombre de la empresa.	1
1.2 Información de contacto.	1
1.3 Dirección.....	1
1.4 Nombre y Cargo del Supervisor Técnico.....	1
1.5 Estructura de funcionamiento de peajes en Colombia.....	1
Capítulo 2 Delimitación del Problema.....	3
Capítulo 3 Antecedentes	8
Capítulo 4 Justificación.....	14
Capítulo 5 Objetivos	15
5.1 Objetivo General.....	15
5.2 Objetivos Específicos.....	15
Capítulo 6 Marco Teórico	16
6.1 Estudio de Tiempos.....	16
6.1.1 Pasos del estudio de Tiempos	17
6.2 Teoría de Colas	23
6.2.1 Sistemas de colas o líneas de espera	24
6.2.2 Elementos de un modelo de colas	28
6.2.3 Notación.....	34
6.2.4 Criterios de medida para evaluar el funcionamiento de un sistema.....	37
6.2.5 Análisis probabilístico de líneas de espera	38

6.3 Simulación	47
6.3.1 Ventajas de la Simulación.....	49
6.3.2 Desventajas de la simulación.....	50
6.3.3 Modos de simulación y modelado	51
6.3.4 Proceso de desarrollo de un modelo de simulación.....	52
6.3.5 Software R	55
6.3.6 Software Arena	56
6.4 Programación Lineal.....	57
6.4.1 Programación Lineal Entera	59
6.4.2 Problema De Asignación	60
6.4.3 Método Simplex.....	61
Capítulo 7 Diseño Metodológico	63
7.1 Alcance de la Investigación	63
7.2 Diseño de la Investigación	63
7.3 Área de Estudio.....	67
7.4 Población.....	68
7.4.1 Unidad de observación.....	68
7.4.2 Tamaño Unidad de Observación.....	69
7.5 Metodología Estadística.....	73
7.5.1 Muestreo	74
7.5.2 Tamaño de Muestra “N”	74
7.6 Implicaciones éticas	76
Capítulo 8 Resultados y Discusión	78

8.1	Desarrollo Primera Fase.....	78
8.1.1	Localización del peaje.....	78
8.2	Caracterización de operaciones del peaje	80
8.2.1	Análisis de operaciones.....	82
8.3	Tratamiento de datos.....	83
8.3.1	Ajuste de datos a través de software R	83
8.3.1.1	Tiempo de Servicio TS	84
8.3.2	Tiempo entre Llegadas TL.....	86
8.4	DESARROLLO SEGUNDA FASE	87
8.4.1	Modelado Escenario Actual en R.	87
8.4.2	Simulación en Arena escenario actual	89
8.4.3	Modelado Escenarios alternativos	92
8.4.4	Simulación escenario alternativo	95
8.5	Propuestas de Mejora.....	98
8.6	DESARROLLO TERCERA FASE	102
8.6.1	Asignación de personal	103
8.6.2	Optimización con horario de entrada de trabajadores variante.....	109
Capítulo 9 Conclusiones y Recomendaciones		118
9.1	Conclusiones.....	118
9.2	Recomendaciones	120
Lista de Referencias		122
Anexos		132
Apéndice		234

Lista de tablas

Tabla 1 Símbolos principales diagrama de flujo.....	21
Tabla 2 Tipos de actividades principales diagramas.....	22
Tabla 3 Elementos básicos del proceso en un sistema de líneas de espera.....	33
Tabla 4 Propiedades de algunos modelos específicos de líneas de espera.	39
Tabla 5 Actividades propias de la investigación.....	64
Tabla 6 Resumen proyección poblacional área metropolitana de Bucaramanga	71
Tabla 7 Parámetros obtenidos de muestra	75
Tabla 8 Cronograma de trabajo de campo	76
Tabla 9 Resultados modelado escenario actual (k=2).....	88
Tabla 10 Resultados modelado escenario alternativo (k=3).....	93
Tabla 11 Resultados modelado escenario alternativo (k=4).....	93
Tabla 12 Resultados modelado escenario alternativo (k=5).....	93
Tabla 13 Turnos de trabajo	103
Tabla 14 Costo básico por turno	104
Tabla 15 Datos del problema de programación de personal del peaje.	105
Tabla 16 Distribución turnos de trabajo por canal en días pico.....	105
Tabla 17 Costo en Horas por empleado.....	107
Tabla 18 Matriz de asignación de personal actual a horas de trabajo por día	108
Tabla 19 Costos asociados a asignación de personal horario flexible	111
Tabla 20 Matriz de asignación de personal alternativo por horas de trabajo por día	113

Lista de Ilustraciones

Ilustración 1. Estructura de funcionamiento de peajes en Colombia.....	2
Ilustración 2. Análisis de costos de un sistema de colas.....	26
Ilustración 3. Sistema típico de cola con su servidor.....	26
Ilustración 4. Descripción sistema de colas.....	27
Ilustración 5. Sistemas de Línea de espera.....	32
Ilustración 6. Simulación.....	49
Ilustración 7. Proceso de desarrollo de un modelo de simulación.....	54
Ilustración 8. Paso a Paso de la Programación lineal.....	58
Ilustración 9. Modelo de PL.....	58
Ilustración 10. Algoritmo Iterativo del Método Simplex.....	62
Ilustración 11. Resumen estructura de trabajo.....	67
Ilustración 12. Ubicación geográfica Mesa de Los Santos.....	68
Ilustración 13. Vinculación orográfica Mesa de Los Santos.....	68
Ilustración 14. Caracterización de visitantes del departamento de Santander.....	69
Ilustración 15. Comportamiento histórico poblacional 1912-1993.....	70
Ilustración 16. Proyección de crecimiento poblacional 1195-2011 de Los Santos.....	71
Ilustración 17. Estimación realizada por SITUR Santander con base a los estudios de turismo receptor y datos administrativos de terminales de transporte y parques temáticos.....	72
Ilustración 18. Comportamiento cuantitativo de viajeros en el área metropolitana. (Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta). 2015- 2017.....	72

Ilustración 19. Estimación de llegadas de visitantes a Santander 2017- 2015 según registro de sitios turísticos.	73
Ilustración 20. Ubicación geográfica del Peaje.....	78
Ilustración 21. Vista Posterior Peaje.....	79
Ilustración 22. Vista Frontal Peaje.....	79
Ilustración 23. Diagrama de Flujo Sistema de Servicio del Peaje Mesa de Los Santos Escenario Actual.....	81
Ilustración 24. Diagrama de operaciones actuales del peaje.....	82
Ilustración 25. Esquema gráfico escenario actual.....	83
Ilustración 26. Comportamiento Normal de los datos TS (Vehículos Atendidos por Hora).....	84
Ilustración 27. Función de densidad TS (Vehículos atendidos por Hora)	84
Ilustración 28. Función de densidad muestra óptima TS	85
Ilustración 29. Función de distribución muestra óptima TS	85
Ilustración 30. Comportamiento Normal de Los Datos TL (Llegada de Vehículos por Hora)	86
Ilustración 31. Función de densidad TL (Vehículos atendidos por hora).....	86
Ilustración 32. Esquema gráfico escenario actual (k=2).....	89
Ilustración 33. Modelado escenario actual en Arena (Estructura Funcional).....	90
Ilustración 34. Resumen de reporte de simulación escenario actual.	90
Ilustración 35. Contadores de Vehículos escenario actual.....	91
Ilustración 36. Esquema gráfico escenario alternativo (k=4)	96
Ilustración 37. Modelado escenario alternativo en Arena (Estructura Funcional)	96
Ilustración 38. Resumen de reporte de simulación escenario alternativo.....	97
Ilustración 39. Contadores de Vehículos escenario alternativo	98

Ilustración 40. Resultados asignación de personal actual.....	109
Ilustración 41. Resultados asignación de personal alternativo	117

Anexos

Anexo 1. Muestreo trabajo de campo I (Segundos).....	132
Anexo 2. Muestreo trabajo de campo I I (Segundos)	136
Anexo 3. Muestreo trabajo de campo III (Segundos).....	142
Anexo 4. Muestreo trabajo de campo IV (Segundos).....	148
Anexo 5. Muestreo trabajo de campo V (Segundos)	154
Anexo 6. Muestreo trabajo de campo VI (Segundos).....	160
Anexo 7. Muestreo trabajo de campo VII (Segundos)	166
Anexo 8. Muestreo trabajo de campo VII (Segundos)	171
Anexo 9. Muestreo trabajo de campo IX (Segundos).....	177
Anexo 10. Muestreo trabajo de campo X (Segundos)	182
Anexo 11. Muestreo trabajo de campo XI (Segundos).....	188
Anexo 12. Muestreo trabajo de campo XII (Segundos)	193
Anexo 13. Muestreo trabajo de campo XIII (Segundos)	198
Anexo 14. Muestreo trabajo de campo XIV (Segundos).....	204
Anexo 15. Muestreo trabajo de campo XV (Segundos)	208
Anexo 16. Muestreo trabajo de campo XVI (Segundos).....	212
Anexo 17. Muestreo trabajo de campo XVII (Segundos).....	216
Anexo 18. Promedios muestreo trabajo de campo (Segundos)	223
Anexo 19. Estimaciones número de vehículos en un tiempo T.....	224
Anexo 20. Muestra Óptima Tiempo de servicio.....	225

GLOSARIO

Mesa de Los Santos, Santander:

Fundado el 1 de enero de 1750; se encuentra sobre la meseta de Jéridas y fue habitada en sus orígenes por diferentes grupos de indígenas como los Chibcha, Muisca y Guane. Es un lugar característico por los cultivos de café orgánico de muy buena calidad y de reconocimiento internacional. Cuenta con diferentes miradores que permiten observar hacia el Cañon del Chicamocha, el saldo del duende, los caminos del alemán Georg von Lengerke, el pueblo de Los Santos, entre otros. (Adventurecolombia.com, 2013)

Ministerio de Transporte:

Es la cabeza del sector transporte en todas sus modalidades, teniendo como objetivo principal la formulación y adopción de políticas, planes, programas y proyectos, así como la regulación técnica y económica en materia de transporte, tránsito e infraestructura de los modos de transporte carretero, marítimo, fluvial, férreo y aéreo. Es competencia del Ministerio de Transporte administrar el ambiente de peajes en Colombia y del sistema de gestión correspondiente, y definir la política pública de los sistemas inteligentes (SIT), entre los que se encuentra el subsistema de peajes electrónicos. (Ministerio de Transporte, 2015)

Instituto Nacional de Vías INVÍAS:

Se encarga de la ejecución de las políticas, estrategias, planes, programas y proyectos de la infraestructura no concesionada de la red vial nacional de carreteras primarias y terciarias, de acuerdo con lineamientos del Ministerio de Transporte. [...] Es el administrador de la concesión para el recaudo de la tasa de peajes, bajo la cual operan 42 estaciones de peaje (Agosto 2015) [...]. Desde 2009, INVIAS cuenta con un centro de Control operativo por medio del cual realiza monitoreo de la operación y recaudo de sus estaciones de peaje. Este centro está orientado a la atención al cliente en caso de detectar embotellamientos, accidentes u otras eventualidades (Ministerio de Transporte, 2015)

Agencia Nacional de Infraestructura ANI:

Es la entidad encargada de desarrollar la infraestructura de transporte nacional a través de Asociaciones Público- Privadas (APP); [...] Cuenta con 29 concesiones viales, sobre las cuales se encuentran localizados un total de 90 estaciones de peaje (Agosto 2005). [...].. Su función principal es elaborar los estudios para definir los peajes, tasas, tarifas, contribución de valorización y otras modalidades de retribución por el diseño, construcción, operación, explotación, mantenimiento o rehabilitación de infraestructura relacionada con proyectos de concesión u otras formas de APP a su cargo[...]. Es responsable de verificar el cumplimiento de sus

concesiones a los lineamientos que el ministerio de transporte imparta.
(Ministerio de Transporte, 2015)

Superintendencia de Puertos y transporte- SUPERTRANSPORTE:

Es la encargada de la vigilancia, inspección y control de la calidad de la infraestructura y la prestación del servicio público de transporte terrestre en el país. Específicamente en el caso de peajes, esta relación se da a través de la superintendencia delegada de concesiones e infraestructura, por medio de la cual aplica los siguientes procesos misionales: Supervisión de los contratos de concesiones viales, supervisión del estado y calidad de la infraestructura de las concesiones viales, supervisión de la formación y constitución de las empresas a las que se otorgan las concesiones viales, y supervisión del desarrollo legal en el tiempo de las concesiones viales. (Ministerio de Transporte, 2015)

Concesionario vial:

Persona jurídica adjudicataria en un proceso de selección, con quien la entidad estatal adjudicante ha suscrito un contrato de concesión. Es responsable, ante la entidad estatal adjudicante, de la operación del peaje a través de su habilitación, [...].Solo podrá asumir su rol de operador o recaudador dentro del cumplimiento de los criterios especificados por la legislación Nacional por el Ministerio de Transporte. (Ministerio de Transporte, 2015)

Operador de peajes:

Persona Jurídica, habilitada por el Ministerio de Transporte, responsable de operar y garantizar el funcionamiento de los peajes, proporcionando las herramientas, instalaciones, elementos (físicos y humanos), necesarios para el funcionamiento del sistema. Este actor tiene una relación directa, ya sea con el concesionario vial en el caso de la ANI, o directamente con INVIAS de ser su concesionario de operación de peajes. (Ministerio de Transporte 2015)

Paso: “Tránsito satisfactorio de un vehículo por un carril de pago o estación de peaje. Cada paso está asociado a un registro único en una base de datos o sistema”. (Ministerio de transporte, 2015)

Plaza o estación de peaje: “Área o parte de una vía donde se gestiona el pago de una tasa por el uso de la infraestructura. Este incluye todos los carriles del peaje y el lugar físico donde se controla la información de dichos carriles. (Ministerio de transporte, 2015)

Tasa de peaje: “valor cobrado por los operadores de peajes por motivo de paso por la plaza de peaje, como contraprestación por el uso de la infraestructura”. (Ministerio de Transporte, 2015)

Entorno de peaje: “Conjunto de acciones y actores estratégicos relacionados con la prestación de servicio de peajes” (Ministerio de Transporte, 2015)

Normativa en Colombia: El cobro de los peajes se consagró en

“Los departamentos, previo concepto favorable del Ministerio de obras públicas, organizarán y cobrarán peaje en las carreteras departamentales que estén pavimentadas o que se pavimenten, así como en las nacionales que pavimenten los departamentos, cuando la intensidad del tráfico y otros factores justifiquen tal cobro, y con el exclusivo objeto de destinar el producto del tributo a la conservación de las mismas vías” (Decreto 3190 de 1964 Artículo 4°)

Artículo 2.8 del Decreto 1173 de 1980 “Estableció como uno de los objetivos y funciones del Ministerio de Obras Públicas y Transporte organizar, tasar y recaudar los peajes”

Constitución Política de 1991, Artículo 95. “Es deber general del ciudadano, contribuir mediante el pago de tributos al financiamiento de los gastos e inversiones del Estado dentro de conceptos de justicia y equidad”

Artículo 21, Ley 105 de Diciembre 30 de 1993, modificado por la Ley 787 de 2002. [...] Entre otros. (Ministerio de Transporte, 2015)

Recaudo electrónico vehicular REV:

Sistema inteligente para la infraestructura, el tránsito y el transporte, que permite a los usuarios pagar mediante una transacción electrónica, bienes o servicios,

mediante la utilización de tecnologías de apoyo, instaladas en la infraestructura o en dispositivos a bordo del vehículo. (Ministerio de Transporte, 2015)

SIT- Acrónimo de Sistemas Inteligentes para Infraestructura, tránsito y Transporte (Intelligent transportation Systems): “Son un conjunto de soluciones tecnológicas, diseñadas para hacer más eficiente, seguro, cómodo y sostenible la infraestructura, el tránsito, el transporte y la movilidad en general”. (Ministerio de Transporte, 2015)

SiGSI- Acrónimo de Sistema de información para la gestión de la seguridad de la Información:

Proceso sistemático, documentado y conocido al interior de una organización, con el fin de garantizar la seguridad de la información, que consiste en la preservación de sus confidencialidad, integridad y disponibilidad, así como de los sistemas implicados en su tratamiento (ISO 27001:2013) (Ministerio de Transporte, 2015)

Sistema: (del latín sistema) “es un objeto compuesto cuyos componentes se relacionan con al menos algún otro componente; pueden ser material o conceptual, y tiene su propia composición, estructura y entorno”. (Jácome, s.f.)

Investigación de operaciones:

Un enfoque científico para la toma de decisiones, que consiste en el arte de modelar situaciones complejas, la ciencia de desarrollar técnicas de solución para resolver dichos modelos y la capacidad de comunicar efectivamente los resultados, todo a través de un enfoque multidisciplinar. (Lawrence y Pasternak, 1998 Citado por Ayuga T.E. s.f)

Teoría de Colas: “Estudia el comportamiento de los sistemas de atención sujetos a diferentes condiciones de funcionamiento, en que los clientes a veces deben esperar por el servicio”. (Singer at el, 2008)

Modelos de líneas de espera: “Son modelos probabilísticos y estocásticos para analizar distintos comportamientos en las líneas de espera; entre tanto, la simulación estima las medidas de desempeño al imitar el comportamiento del sistema real”. (Taha, 2012)

Optimización: “Es el proceso de hacer algo mejor, consiste en el tratamiento de las variaciones de un concepto inicial y usar la información obtenida para mejorar la idea”. (Vázquez P. R. s.f)

RESUMEN GENERAL DE TRABAJO DE GRADO

TITULO: Modelado, simulación y optimización del sistema de servicio del peaje "Mesa de Los Santos", Santander

AUTOR(ES): Jessica Vanessa Rey Duarte

PROGRAMA: Facultad de Ingeniería Industrial

DIRECTOR(A): Maryory Patricia León Villamizar

RESUMEN

En este trabajo se realizó un estudio de tiempos de las operaciones de cobro realizado por el peaje de la Mesa de Los Santos, Santander. Se calcularon las tasas de servicio y de llegada en el sistema objeto de estudio, las cuales constituyen los parámetros de entrada para la aplicación de modelos probabilísticos de investigación de operaciones y teoría de colas. Se elaboró un análisis a través del modelado y simulación de escenarios actuales y alternativos de operación con el propósito de generar una solución óptima al problema de congestión vehicular en La Mesa de Los Santos, soportado con el software R y Arena. Como resultado se obtuvo el número óptimo de canales recomendados para satisfacer la alta demanda de viajeros en días pico. Adicionalmente se propusieron ideas de tecnificación del sistema que agilicen las operaciones y reduzcan significativamente las colas. Finalmente, se planteó un modelo de programación lineal para la adecuada asignación de personal, considerando la mano de obra necesaria de acuerdo con los respectivos horarios de trabajo, de manera que se contemplen los gastos incurridos y la óptima asignación de talento humano para las tareas realizadas en la estación de peaje.

PALABRAS CLAVE:

Optimización, Simulación, líneas de Espera, Investigación de operaciones, Peaje

V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO

GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE

TITLE: Modeling, simulation and optimization of the "Mesa de Los Santos" toll service system, Santander

AUTHOR(S): Jessica Vanessa Rey Duarte

FACULTY: Facultad de Ingeniería Industrial

DIRECTOR: Maryory Patricia León Villamizar

ABSTRACT

In this work, a time study of the collection operations carried out by the toll of the Mesa de Los Santos, Santander, was carried out. The service and arrival rates were calculated in the system under study, which constitute the input parameters for the application of probabilistic models of operations research and queue theory. An analysis was developed through the modeling and simulation of current and alternative operating scenarios with the purpose of generating an optimal solution to the problem of vehicular congestion in La Mesa de Los Santos, supported with the R and Arena software. As a result, the optimal number of recommended channels was obtained to satisfy the high demand of travelers during peak days. Additionally, ideas of system technification were proposed to speed up operations and significantly reduce queues. Finally, a linear programming model was proposed for the adequate allocation of personnel, considering the labor required according to the respective work schedules, so that the expenses incurred and the optimal allocation of human talent for the tasks performed are considered at the toll station.

KEYWORDS:

Optimization, Simulation, Wait lines, Operations research, Toll

V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK

INTRODUCCIÓN

Santander es un departamento que en las últimas décadas ha surgido como destino turístico predilecto. La Mesa de Los Santos con sus lugares emblemáticos como el Mercado campesino de Acuarela, el Salto del Duende y el teleferico del cañon del chicamocha se ha posicionado como un referente en el departamento; es un lugar dotado de multiples riquezas naturales y paisajísticas, un espacio tranquilo para descanso, si embargo, tales características ha atraído a tantos viajeros que la malla vial se queda corta en operaciones dado el gran afluente vehicular, lo que genera que sistemas como la estacion de peaje de la Mesa sea insuficiente para atender el nivel de servicio que se requiere.

El siguiente trabajo busca la mejora del sistema de servicio de cobro en la estación de peaje de la Mesa de Los Santos, Santander; con el ánimo de contribuir con un granito de arena al desarrollo y crecimiento competitivo de la región que día a día se potencializa como un lugar turístico influyente. Dado el problema de congestionamiento que se presenta principalmente en días picos, es decir, fines de semana y festivos durante la operación retorno o salida del municipio de Los Santos ya que en dichos días existen horas críticas o neuralgicas que ya impactan en la percepción del visitante a la región.

Capítulo 1

Generalidades de la Empresa

1.1 Nombre de la empresa.

Concesión vial CONSTRUVICOL S.A / CONSTRUVÍAS DE COLOMBIA

NIT 804.000.752-7

1.2 Información de contacto.

Celular: 318 370 5785

Teléfono: (7) 6568002

1.3 Dirección.

Km 5 Vía Piedecuesta Los Santos

1.4 Nombre y Cargo del Supervisor Técnico

Jorge Pérez

Ingeniero Residente

1.5 Estructura de funcionamiento de peajes en Colombia.

(Ver ilustración 1)

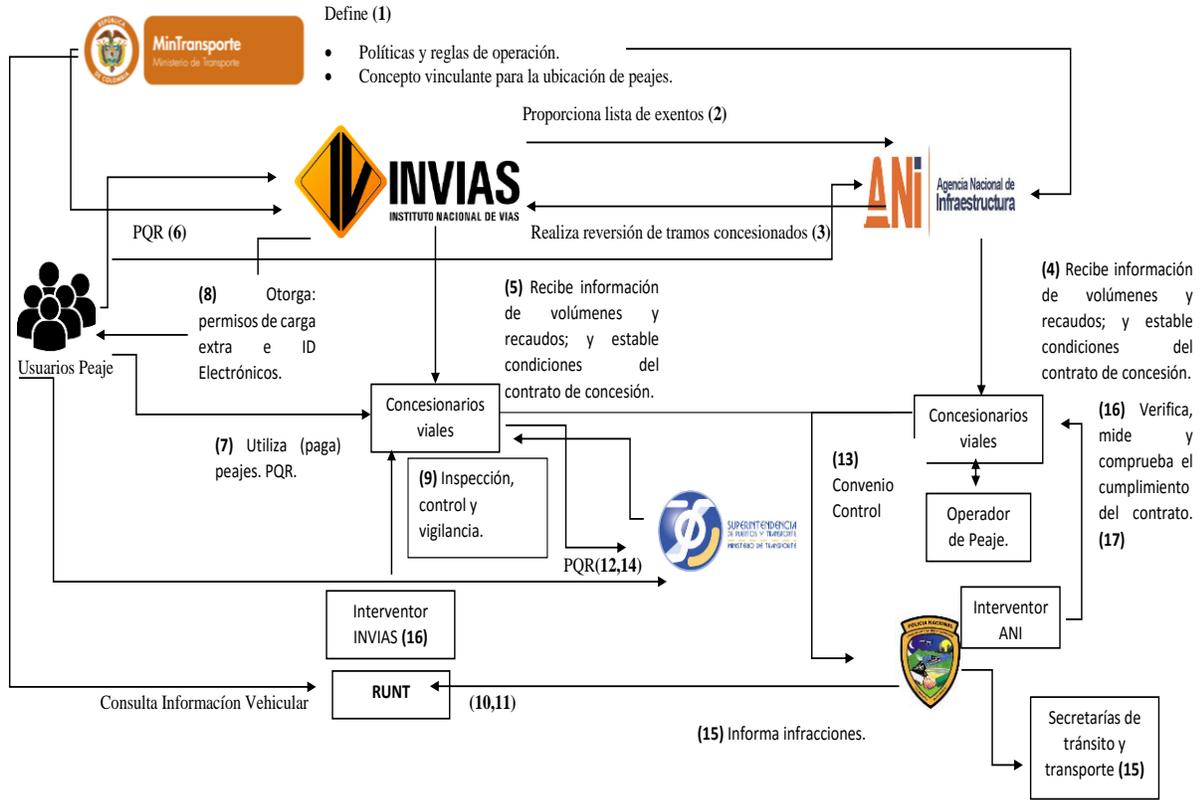


Ilustración 1. Estructura de funcionamiento de peajes en Colombia.

Fuente: Ministerio de Transporte, 2015.

Capítulo 2

Delimitación del Problema

La problemática de congestiónamiento no solo respecta a grandes ciudades, sino que ya afecta a zonas rurales con gran afluente vehicular en ciertos periodos o temporadas. Estos cuellos de botella son ocasionados principalmente porque los sistemas actuales no habían previsto el exponencial crecimiento de visitantes y viajeros, o sencillamente ante esto creyeron estar en capacidad de responder, pero sus operaciones se quedaron cortas frente a la real demanda, como lo es el caso del peaje ubicado en La Mesa, Municipio de Los Santos, Santander.

El municipio de Los Santos, Santander, Colombia fundado el primero de enero de 1750, perteneciente a la provincia de Soto. Se encuentra ubicado al oriente del departamento entre la cordillera oriental, por lo cual cuenta con una gran variedad de fauna y flora y especialmente con una geografía que ofrece diversidad de paisajes y atractivos que hacen de este lugar un destino turístico ameno, y además de ello significativo por su valor cultural e histórico para la región. La relevancia del aspecto ecológico para este icónico territorio es notoria pues de él depende en gran parte su población en sus quehaceres cotidianos y en ser una fuente de valores escénicos y culturales aspecto que vale la pena resaltar.

Las principales actividades económicas son las actividades agrícolas, avícolas y minero, sin embargo, en los últimos años se ha potenciado marcadamente el sector turismo representado en parcelaciones de tipo recreativo y actividades comerciales concentradas en “La Mesa de Los

Santos” zona alta del municipio que limita con el municipio de Piedecuesta, en donde sus condiciones de clima, tranquilidad y paisaje han permitido desarrollar un modelo de crecimiento económico para el área metropolitana y visitantes externos que encuentran esta zona ideal para el descanso y la recreación. (Alcaldía de los Santos- Santander, 07 de octubre de 2015).

En este contexto, La Mesa de Los Santos avanza hacia su crecimiento y desarrollo y con ello el afluente de residentes y visitantes; estos últimos mayormente en fines de semana y festivos, cuando desde el área metropolitana de Bucaramanga y desde diferentes lugares dentro y fuera del país se desplazan centenares de familias con el ánimo de respirar un aire más puro, disfrutar de los lugares turísticos y representativos tales como el mercado campesino, club náutico de acuarela, Huerta Biológica, miradores y Teleférico del Chicamocha, entre otros; y así salir de la saturación de la vida citadina a un espacio de tranquilidad y descanso.

Desde este punto, los días en que se realiza el retorno de los viajeros a su lugar de origen se presenta un denso flujo vehicular en la vía que comunica al municipio de Los Santos con Piedecuesta. Si bien es cierto la vía de acceso cuenta con solo dos carriles (lo cual reduce la capacidad de la malla vial), cabe decir, que el principal problema de congestiónamiento se da a la salida de La Mesa, puesto que el peaje allí instalado tan solo tiene dos canales de cobro y dado la cantidad de viajeros se forma un cuello de botella que genera largas filas que se extienden por varios kilómetros, situación que ha ido en aumento y que ya genera descontento dentro de la comunidad y los turistas.

Frente a esta situación, varios líderes comunitarios ya se han pronunciado como lo es el Comité Pro Desarrollo de La Mesa COMPROMESA en cabeza de su representante legal Néstor Josué Reyes Nuncira también en calidad de representante de la Junta de Acción Comunal de La vereda Holanda del Municipio de Piedecuesta, quien afirma que

“Esta problemática ya genera molestia, aburrimiento y sobre estrés de los conductores, que puede derivar en el retiro o acabose del turismo para la Mesa de los Santos, y el rechazo total al peaje dado en concesión a Construvicol y también a la gobernación”

Para Oscar Enrique Niebles Residente del Municipio de los santos

“Este inconveniente se presenta por la ineficiente infraestructura del peaje, cobros rudimentarios sin ampliación e inversión en vías de entrada y salida del municipio y falta de modernización de procedimientos, que puede traer consecuencias en el desarrollo e inversión de la región”

Según la presidente de ASOJUNTAS del Municipio de Los Santos y secretaria de COMPROMESA Carmen Sofía Rojas

“La congestión en el peaje es ocasionada por la mala planeación y organización sin visión al crecimiento futuro del municipio, lo que trae no solo los trancones sino también efectos en el ambiente por la contaminación, de por sí ya

es evidente el cambio climático de la Zona con veranos extensos, días calurosos y disminución de caudales de afluentes hídricos; y también los efectos para la salud.”

Desde la dirección ejecutiva de COMPROMESA Pedronel D. Rueda refiere que “Este es un problema del cual nadie ha tomado conciencia para solucionarlo, y es preocupante ya que solo indispone la gente y bloquea el progreso del Lugar”.

Según la publicación del 23 de octubre de 2016 *Aún no hay solución a los trancones en peaje a la Mesa de los Santos* por Castro A. en Vanguardia liberal

La cola de carros los días los sábados y domingos, desde las 6:00 de la tarde, para pagar el peaje de regreso a Bucaramanga, supera los seis kilómetros con hasta 750 vehículos que deben esperar más de una hora. Esta congestión que se registra a lo largo de la vía ha ‘espantado’ a los turistas y residentes del área metropolitana, que acostumbran a visitar este sector turístico de la zona.

Noticia en la cual también se expone según la Cámara de Comercio de Bucaramanga, quien ejerce la veeduría del contrato de concesión del peaje de la Mesa de Los Santos que

Aunque la concesión del peaje de la Mesa de Los Santos, Construvicol, ubicó cajeras adicionales para reducir el ‘cuello de botella’ que se viene presentando en este punto en el momento en el que los vehículos realizan el pago respectivo, la medida no es una solución definitiva. [...], Esta es una medida

provisional, “estamos insistiendo en que deben ampliar el peaje así sea comprando el terreno aledaño”. Otra alternativa que se le planteó a la concesión vial es que el peaje a los vehículos se cobre cuando estos suban a la Mesa, mientras construye más carriles en la vía.

La problemática se acrecienta notablemente con el crecimiento exponencial de las parcelaciones y el turismo; esto sumado a la lentitud en el proceso de cobro para residentes que cuentan con el descuento de tarifa especial por carencia de un sistema más organizado y sofisticado y la falta de vías para vehículos de emergencia e implementación de soluciones erróneas, demuestran que el sistema de servicio del peaje de La Mesa requiere un plan de acción de Mejora.

Capítulo 3

Antecedentes

Nahmias, S. (1999) en su libro *Análisis de la producción y las operaciones* expresa que “Los problemas de colas son comunes en la administración de operaciones [...], y se presentan con mayor frecuencia en los sistemas de servicios”, exponiendo también que

De acuerdo con Michael Fortino, de Priority Management en Pittsburgh, la mayoría de las personas pasan unos 5 años de su vida en filas de espera, y 6 meses sentados esperando la señal de los semáforos. (Chicago Tribune, 1988) (p.453)

Para Render, Hanna et al. (2006) *Métodos cuantitativos para los Negocios* “Las líneas de espera son un suceso de todos los días que afectan a todas las personas” (p.568). Lo cual es una clara evidencia de la incidencia de los fenómenos de espera y congestión, y mayor aún asociado a problemas de movilidad y tránsito vehicular.

Cabe entonces delimitar la definición de congestión vehicular; en este sentido Alcántara V. (2010) explica que

La idea más popular (y físicamente evidente) en torno a la congestión está relacionada con la noción de “tiempo perdido” por las personas. Sin embargo, cabe cuestionar qué está “perdido” o qué se pierde. La noción más intuitiva, utilizada en la mayoría de los estudios, está relacionada con una comparación entre el tiempo real en la vía y un tiempo “ideal” a ser definido. El problema se

encuentra en identificar cuál es ese tiempo “ideal”. La dinámica de los flujos de vehículos, extensamente analizada en la literatura especializada (TRB, 2000), indica las relaciones entre velocidad (km/h), flujo (vehículos/hora) y densidad en la medida en que el flujo aumenta, hasta un punto en el cual el flujo se acerca a la capacidad física de la vía y se torna inestable, con grandes variaciones de velocidad en valores bajos que, en algunos momentos, llegan a ser cero.[...] La definición económica está relacionada con la identificación del tiempo adicional que las personas que ingresan a una vía imponen a las que ya están en ella y, consecuentemente, de los costos causados a los demás (p.118)

Partiendo de esta última concepción, cada instante que una persona se encuentra “atorado” en dichos congestionamientos es equivalente a tiempo improductivo y por ende este tiempo ocioso lleva consigo un costo implícito de forma directa o indirecta.

Desde otra perspectiva y de acuerdo con la publicación realizada el 17 de julio de 2017 del periódico el Tiempo

Según estudios realizados por entidades medio ambientales y de tránsito de Estados Unidos y Europa, por cada trayecto que realiza un vehículo en una ciudad congestionada como Los Ángeles o Madrid, este permanece quieto cerca del 40 por ciento del tiempo, bien sea por un trancón o por un semáforo, momento en el cual el medio ambiente recibe grandes cantidades de gases contaminantes [...] La

idea de parar y arrancar reiteradas veces el motor de un vehículo es vista con ‘malos ojos’.

Donde también se expone que

La Unión Europea ha publicado directivas que tienen como objetivo la reducción de las emisiones en el transporte para poder cumplir con lo establecido en el Tratado de Kioto, en el que se establecía una reducción global de los 6 principales gases de efecto invernadero responsables del calentamiento global en la atmósfera. Pero ¿qué son las emisiones contaminantes de los coches? Entre las emisiones contaminantes de los coches se encuentran el dióxido de carbono (CO₂), el monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrógeno (NO_x), hidrocarburos no quemados (HC), compuestos de plomo, anhídrido sulfuroso y partículas sólidas.

En complemento a ello R. (2012) presenta en su publicación que

No todos los vehículos emiten los distintos tipos de contaminantes en la misma proporción, dependerá del tipo de motor que se utilice y si usan gasolina o Diesel. Los vehículos de gasolina emiten principalmente monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, hidrocarburos y compuestos de plomo. Mientras, los vehículos que utilizan Diesel emiten partículas sólidas en forma de hollín que da

lugar a los humos negros, hidrocarburos no quemados, óxidos de nitrógeno y anhídrido sulfuroso procedente del azufre contenido en el combustible.

Alcántara (2010) en su trabajo *Análisis de la movilidad urbana. Espacio, medio ambiente y equidad* (p.128) advierte que “el uso de vehículos motorizados implica varias formas de contaminación” y que de acuerdo a Joumard et al. (1995) se identifican seis tipos de contaminación del aire relacionadas con el transporte

a. Contaminación sensible: percibida por las personas a través del olor y de la visión. Está relacionada con fuentes cercanas a la persona y asociada a sensaciones desagradables.

b. Contaminación que afecta la salud humana: relacionada con la presencia de contaminantes como el CO, los óxidos de nitrógeno, los hidrocarburos y el material particulado.

c. Smog fotoquímico: relacionado con la producción de contaminantes secundarios a partir de la presencia en la atmósfera de contaminantes primarios emitidos por vehículos.

d. Lluvias ácidas: cuya principal consecuencia es el perjuicio causado a las áreas forestales. Dicho impacto tiene escala regional (algunos centenares de km) y puede ocurrir uno o más días después de la emisión de los contaminantes.

e. Efecto de la capa de ozono en los polos del planeta.

f. Efecto invernadero, causado sobre todo por la concentración de CO₂ en la atmósfera.

Así mismo para Fernández C. (2014) en su publicación en el periódico el Tiempo *Vivir metido en atascos vehiculares aumenta riesgos para la salud física y mental*. Estos son algunos de los efectos más frecuentes:

Ojos: el contacto con los desechos de la combustión y el material particulado causa irritación ocular y fatiga visual. El aumento de la adrenalina en el cuerpo, por la tensión emocional, puede causar dilatación de las pupilas y, consecuentemente, alterar, por instantes, la capacidad de enfoque visual.

Nariz: la exposición diaria (y acumulada) a elementos irritantes como el humo, el material particulado y demás residuos puede desencadenar o exacerbar cuadros alérgicos como la rinitis, afectando así las vías respiratorias altas que se puede manifestar con disfonías, tos, aumento de la secreción bronquial y congestión respiratoria; y las vías respiratorias bajas y pulmones en personas susceptibles (como los asmáticos).

Cuello y hombros: las posturas y el estrés aumentan la tensión muscular; esto puede causar espasmos que se manifiestan con dolor, adopción de posturas anormales (para contrarrestar la molestia) y malestar general.

Corazón: el estrés aumenta la producción de hormonas que activan el sistema cardiovascular, lo que eleva la frecuencia cardíaca y la tensión arterial.

Espalda baja: las posturas fijas por largo tiempo hacen que los músculos de la espalda dorsal y lumbar presenten contracciones, que se manifiestan con espasmos y dolores severos. Esta situación puede agudizar problemas en las

vértebras, en los discos intervertebrales y en las raíces nerviosas que emergen de ellos.

Rodillas, cadera y tobillos: las articulaciones que se mantienen fijas por mucho tiempo pueden tener retracciones y contracturas que se manifiestan con dolor.

Con base en esto, mana el planteamiento sobre la necesidad de ejecutar un estudio que promueva la agilidad en el flujo vehicular en la zona y proporcione bienestar para la comunidad, los viajeros y el medio ambiente, de allí que surja la pregunta objeto de la presente investigación. ¿Cuál es la estructura adecuada para el peaje de La Mesa de Los Santos bajo criterios de minimización de tiempos de espera, a partir del modelado, optimización y simulación de sus operaciones?

Capítulo 4

Justificación

Los sistemas de colas cobran especial importancia en la programación de operaciones, para la asignación de personal adecuado para el volumen de clientes y la programación de instalaciones, en la mejora de cuellos de botella en los servidores, agilización de las operaciones y satisfacción de los usuarios. Aspecto de gran relevancia para las operaciones de un sistema como un Peaje Vehicular, en el cual las extensas colas en días pico, y la lentitud en la prestación del servicio generan problemas en la movilidad, además de las implicaciones ecológicas e incidencias en la salud de quienes deben tolerar dichos congestionamientos, hablando específicamente en la salida de un sector que cada vez tiene mayor auge turístico en la región siendo un sistema ecológico de notable atractivo tal como lo es La Mesa de los Santos, Santander.

El 21 de marzo de 2017, Caracol radio indicó “*Con dificultades bajan de la Mesa de los Santos al final del puente festivo*” exponiendo que “las Personas que disfrutaron de paseos en este sector de Los Santos reportan que hay congestión vehicular, un hecho que se ha vuelto usual al final de cada periodo de descanso”. Situación que ya no puede pasarse desapercibida, sino que manifiesta claramente la necesidad e importancia de proponer un correcto modelado, y un diseño de operaciones acertado que maximice el beneficio para los usuarios, mitigando los efectos contra el entorno de este lugar, planteando óptimos escenarios de operatividad y funcionalidad que permita al peaje prestar un eficiente servicio.

Capítulo 5

Objetivos

5.1 Objetivo General

Modelar, simular y optimizar, el servicio del peaje de la Mesa de Los Santos, Santander, mediante modelos de líneas de espera, simulación de escenarios y programación entera para la asignación de personal en los turnos de trabajo; con el fin de proponer soluciones alternativas al problema de cuello de botella en domingos y festivos.

5.2 Objetivos Específicos

Modelar a partir de diferentes modelos de línea de espera el servicio del peaje de la Mesa de los Santos definiendo las tasas de llegada y de servicio a través de un estudio de tiempos, utilizando R.

Simular el sistema de servicio del peaje de la Mesa de los Santos, comparando diferentes escenarios de líneas de espera con la situación actual de servicio, utilizando Arena.

Optimizar mediante la aplicación de programación entera la asignación de personal para los turnos asociados a los escenarios de modelos de líneas de espera propuestos, planteando alternativas apropiado para el contexto que mejoren la eficiencia del servicio prestado; utilizando R.

Capítulo 6

Marco Teórico

6.1 Estudio de Tiempos

De acuerdo con la Facultad de Ingeniería UNAM (s.f), en su presentación *Estudio del Trabajo* “un Trabajo es algo para llegar a un fin determinado; una Actividad que genera valor”, y su estudio se divide en

El *Estudio de métodos* que consiste en el registro y examen crítico y sistemático de las maneras de realizar las operaciones, las actividades, procesos, etc. Con el fin de efectuar mejoras; y el *estudio de tiempos* que es la aplicación de técnicas para determinar el tiempo en que se lleva a cabo una operación, actividad o proceso desarrollados, por un trabajador, máquina u otro según una norma o método establecido. [...] Cuyos propósitos son mejorar la productividad buscando mejorar y eliminar los cuellos de botella, recursos restrictivos, factores limitantes del sistema. (p.1)

Donde según Rivera A., Salcedo G al. et. (s.f) *productividad* se refiere al “grado de rendimiento con que se emplean los recursos disponibles para alcanzar un objetivo”. (p.15) por lo cual es tan relevante el estudio detenido de los métodos en un trabajo determinado.

Según lo cual Ustate E. (2007) argumenta en su trabajo *Estudio de métodos y tiempos en la planta de producción de la empresa Metales y Derivados S. A* que el principal objetivo del estudio del trabajo es “Mejorar los procesos, procedimientos y la disposición de la fábrica, taller y lugar de trabajo, así como el diseño del equipo e instalaciones”. (p.8)

6.1.1 Pasos del estudio de Tiempos

Partiendo de la teoría las acciones básicas a realizar para el desarrollo de un estudio de un trabajo son “Selección de la tarea o trabajo a mejorar, Registrar los detalles de las actividades, Analizar los detalles observados y Realizar un análisis crítico y aportar ideas para un nuevo método e implementarlo”. (Ustate E., 2007, p.9)

Pasos que se fundamentan en lo expuesto por René Descartes, quien enunció en su discurso *El método* cuatro reglas básicas del estudio del trabajo bajo la “*racionalidad*”

- I. Regla de evidencia: “No debe admitirse como cierto nada que no haya sido demostrado y debe evitarse la precipitación, liberando la razón de las pasiones para emplearla bien.”
- II. Regla de análisis: “Cada trabajo o problema debe descomponerse en una serie de trabajos o problemas menores, cuya resolución sea más sencilla.”
- III. Regla de síntesis: “Se deben agrupar las diferentes soluciones encontradas a cada uno de los pequeños problemas para llegar de esta forma a la solución total.”

- IV. Regla de control: “El control tiene por objeto verificar la certeza de nuestras deducciones y comprobar los resultados obtenidos.” (Rivera A., Salcedo G al. et. s.f. p.5)

Bajo tal premisa se tiene entonces que los procedimientos básicos para el estudio del trabajo a seguir son

1. *Escoger o seleccionar*: Trabajo, proceso, actividad, etc. Que se ha de estudiar.

2. *Registrar, recolectar*: Consignar todos los datos relevantes acerca del trabajo, tarea, proceso, operación, actividad, etc. Utilizando las técnicas más apropiadas disponiendo de datos de la forma más cómoda para analizarlos. Tomando en consideración que todo estudio debe contener las respuestas a las siguientes preguntas. ¿Qué?, ¿Cómo?, ¿Dónde?, ¿Cuándo?, ¿Quién?, ¿Cuánto?, ¿Por qué?, ¿Para qué?

3. *Estudiar, examinar, analizar información recopilada*: Con espíritu crítico, preguntándose si se justifica lo que se hace en cuánto a propósito, lugar donde se lleva a cabo, orden donde se ejecuta, quien la ejecuta, el método y los medios usados para hacer el trabajo con el objetivo de eliminar los trabajos, tareas, procesos, operaciones, actividades que no forman parte del trabajo, Cambiar, modificar, reordenar, el trabajo y Mejorar.

4. *Diseñar*: Un método óptimo tomando en cuenta la normatividad (el deber ser) al trabajador, supervisor y jefe, definiendo y evaluando el cambio.

5. *Aplicar*: implantar el nuevo método de trabajo y capacitación y/o adiestrar

6. *Mantener*: controlar el método para buscar más adelante otra oportunidad. Pudiéndose interpretar también con las nuevas filosofías de producción como el inicio de un ciclo para la técnica de la Mejora continua. (Facultad de Ingeniería UNAM, s.f, p.3)

Es decir, el estudio del trabajo a través de la observación registro y análisis de procedimientos (tres primeros pasos) permite estandarizar procesos y determinar cómo se comporta determinada variable o parámetro con respecto al tiempo, es decir, determinar tasas de operaciones para posteriores estudios o toma de decisiones (cuarto paso).

Dado lo anterior, y para efectos de la investigación es esencial tener claridad sobre los pasos de mayor relevancia y de esta manera lograr determinar los parámetros (tasas de llegadas de vehículos y de servicio) que permitirán el modelado, simulación y optimización del sistema de servicio del peaje de La Mesa de Los Santos. Por tal razón y en congruencia con la Facultad de Ingeniería UNAM, (s.f.) dentro de cada paso se debe considerar lo siguiente:

6.1.1.1 Escoger o seleccionar.

Consideraciones Humanas: Las actividades que causan insatisfacción, Actividades repetitivas y Actividades poco eficientes. *Consideraciones Técnicas y/o Tecnológicas*: La necesidad de actualización, modernización, La

automatización para mejorar el servicio al cliente, para disminuir tiempos, atender más (en masa). *Consideraciones Económicas*: Operaciones costosas, cuellos de botella (congestionamientos) que no permitan satisfacer la demanda, Distribución de la planta, eficiencia de los equipos. (p.4)

Este se debe realizar teniendo en cuenta “¿Cuál es la duración de dicha actividad?, Las veces que se realiza, Las características de la actividad y Condiciones a las cuales se da dicha tarea”. (Ustate E., 2007, p.18)

6.1.1.2 Registrar la información pertinente y suficiente. “A través de técnicas adecuadas como toma de tiempos, gráficos y diagramas como de flujo de proceso y de procesos”. (p.4)

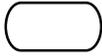
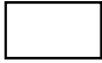
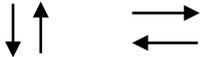
Cabe definir entonces las técnicas e instrumentos a utilizar en este punto

6.1.1.2.1 Diagrama. Es “la representación gráfica de la solución de un problema o procedimiento. En el estudio del trabajo los diagramas son muy importantes, se utilizan con el objetivo de registrar la información pertinente y suficiente”. (Facultad de Ingeniería UNAM, s.f, p.12)

6.1.1.2.1.1 Diagrama de Flujo. Representa la esquematización gráfica de un algoritmo, es decir, los pasos o procesos a seguir para realizar una operación o actividad. Dentro de este se tienen los siguientes símbolos principales. (Ver tabla 1).

Tabla 1

Símbolos principales diagrama de flujo

REPRESENTACIÓN	EXPLICACIÓN
	Marca el inicio y el fin del diagrama.
	Representa un proceso/ dentro de él se asignan operaciones.
 SI NO	Estructura selectiva de decisión, si entonces/si no. En su interior se almacena una condición.
	Expresan la dirección del flujo del diagrama.
	Expresa conexión dentro de una misma página de varias operaciones.

Fuente: Guía Clase de Simulación. s.f. cap.1. p.5

6.1.1.2.1.2 Diagrama de operaciones. “Muestra la secuencia cronológica de las operaciones e inspecciones que se realizan en las líneas de producción o servucción, así como las entradas de materiales que se utilizan en el proceso”. (Rivera A., Salcedo G al. et. s.f. p.22)

Según la ASME (Asociación Americana de Ingeniería Mecánica) su simbología corresponde a la siguiente (Ver tabla 2).

Tabla 2

Tipos de actividades principales diagramas.

Actividad	Símbolo	Resultado inmediato
Operación		Produce, completa, realiza algo.
Transporte		Mueve, transporta, desplaza.
Inspección		Verifica, comprueba algo.
Operación-Inspección		Combinación.
Almacenamiento		Guarda o protege algo.
Demora		Retrasa, interfiere un proceso.

Fuente: Ustate E., 2007, p.12.

6.1.1.2.2 Toma de tiempos. Aplicación de Formularios tomando registros de tiempos a través de

Cronometraje acumulativo: el reloj funciona de modo ininterrumpido durante todo el estudio. Se pone en marcha al principio del primer elemento del primer ciclo y no se detiene hasta acabar el estudio.

Cronometraje con vuelta a cero: Los tiempos se tomado directamente. Al acabar cada elemento se hace volver el segundero a cero y se le pone de nuevo en

marcha inmediatamente para cronometrar el elemento o actividad siguiente.
(Rivera A., Salcedo G al. et. s.f. p.29)

6.1.1.3 Estudiar, examinar, analizar información recopilada.

En este paso es posible determinar parámetros tales como tasas que permitan avanzar en el estudio para aliviar aspectos como el congestionamiento aplicando por ejemplo la teoría de colas y diseñar un plan de mejora en las operaciones propias del sistema.

6.2 Teoría de Colas

Dentro de los objetivos generales de la ingeniería de tránsito y transporte, en los que se tiene planear, diseñar y operar los sistemas viales, de tal manera que las demoras inducidas a los usuarios sean mínimas. En los momentos de máxima demanda, el movimiento vehicular se va tornando deficiente con pérdidas de velocidad, lo que hace que el sistema tienda a saturarse, hasta llegar a funcionar a niveles de congestionamiento con las consiguientes demoras y colas asociadas.
(Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. p.298)

De acuerdo con estos autores las demoras y las colas, resultado del congestionamiento, es un fenómeno de espera comúnmente asociado a muchos problemas de tránsito. “*La teoría de Colas*, mediante el uso de algoritmos y modelos matemáticos, es una herramienta importante para el análisis de este

fenómeno.” En general, las situaciones de demoras las ocasiona la variabilidad del flujo de tránsito, pues hay períodos en que la demanda puede llegar a ser muy grande, para la capacidad del sistema con respecto a dicho momento. (p. 298-299)

6.2.1 Sistemas de colas o líneas de espera

La teoría de colas tuvo su inicio en el trabajo de investigación de un ingeniero danés llamado A. K. Erlang, quien en 1909 experimentó con la demanda fluctuante en el tráfico telefónico. Ocho años después publicó un informe acerca de retrasos provocados por el equipo de marcado automático. Al final de la segunda Guerra Mundial, los primeros trabajos de Erlang se extendieron hacia problemas más generales y aplicaciones de negocios de las colas de espera. (Render, Hanna et al., 2006. p. 569)

Singer et al. (2008) en su artículo *una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios* refiere

La teoría de colas estudia el comportamiento de los sistemas de atención sujetos a diferentes condiciones de funcionamiento, en que los clientes a veces deben esperar por el servicio. Su aplicabilidad es muy amplia, pues cuantifica el dilema de muchas empresas e instituciones entre la eficacia (dar un buen servicio) y la eficiencia (mantener bajos los costos). (Resumen)

De acuerdo con Ittner, (1996) citado por este autor

El mal servicio perjudica la reputación de la firma mucho más que el buen servicio la favorece. Mientras los clientes satisfechos le informan a un promedio de cinco personas acerca de su experiencia positiva, los clientes molestos le informan su desagrado a un promedio de 19 personas. (p.3)

Según TAHA, (1998), en su Libro *Investigación de operaciones una introducción*, expone que

El estudio de colas determina las medidas del funcionamiento de una situación de colas, incluyendo el tiempo de espera y la longitud de la cola promedio, entre otras. Esta Información después sirve para decidir respecto a un nivel apropiado de servicio para las operaciones de una organización. (p. 607)

Los resultados del análisis de colas también sirven en el contexto de un modelo de optimización de costos, donde la suma de costos por ofrecer el servicio se espera se logre minimizar. (p.608). (Ver ilustración 2)

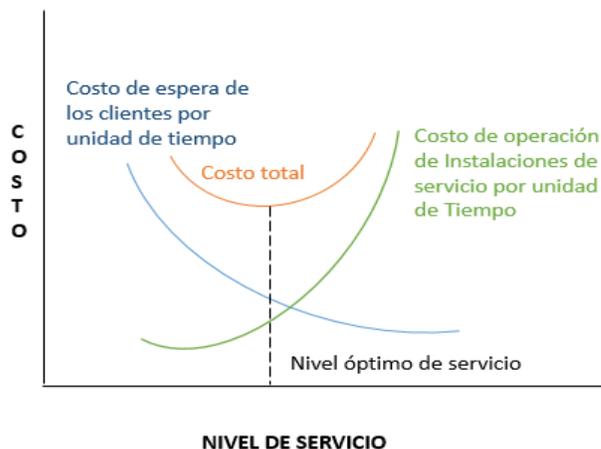


Ilustración 2. *Análisis de costos de un sistema de colas.*

Fuente: TAHA, H.A (1998)

Este es el reto de la alta gerencia, lograr equilibrar dichos costos agregando una óptima capacidad de servicio al sistema. (Bonini, Hausman & Bierman, 2000)

Para Nahmias, S. (1999) “la teoría de colas es el estudio de los procesos de una fila en una línea de espera; donde se supone que los procesos de llegada y de servicio son aleatorios. Las interacciones entre estos hacen de esta área algo estimulante” (p.453) (ver Ilustración 3)



Ilustración 3. *Sistema típico de cola con su servidor.*

Fuente: Nahmias, S. (1999)

Según Lieberman, Hillier, (2001) refiere acerca de la estructura básica supuesta de los modelos de colas, que

Los *clientes* que requieren un *servicio* se generan en el tiempo en una *fuelle de entrada*. Estos clientes entran al *Sistema* y se unen a una *cola*. En determinado momento se selecciona a un miembro de la cola, para proporcionarle el servicio, mediante alguna regla conocida como *disciplina de servicio*. Luego, se lleva a cabo el servicio requerido por el cliente en un *mecanismo de servicio* y después el cliente sale del sistema de colas. (p.835) (Ver Ilustración 4)

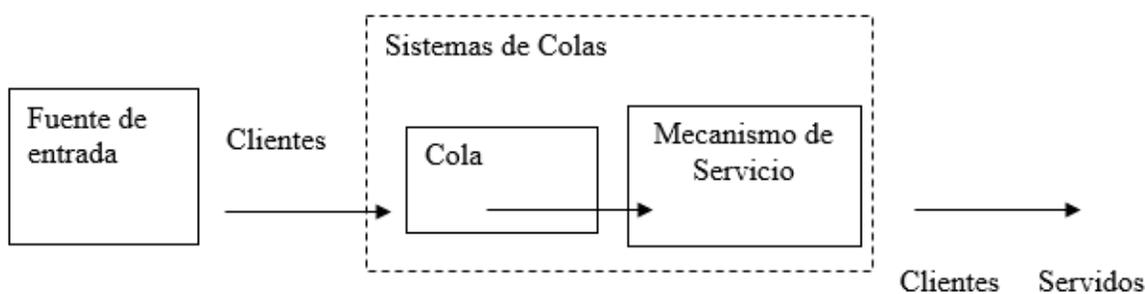


Ilustración 4. Descripción sistema de colas.

Fuente: Lieberman, Hillier, (2001)

Bonini, Hausman & Bierman (2000) presentan en su trabajo *Análisis Cuantitativo para los negocios* que

La teoría de colas está relacionada con procesos que tienen variabilidad en la llegada de los trabajos al sistema, [...]. El tiempo que se requiere para atenderlos generalmente también es variable. El resultado es congestión o líneas de espera. Esto puede medirse por el número promedio de trabajos en la fila y por

el tiempo de espera promedio de las llegadas. [...]. La teoría de colas puede usarse para determinar el número óptimo de diferentes sistemas de procesamiento como por ejemplo el número de casetas de peaje apropiado para un puente o carretera. (p.371)

6.2.2 Elementos de un modelo de colas

De conformidad con Lieberman, Hillier, (2001); TAHA, H.A (1998), expone que “los principales actores en una situación de colas son el cliente y el servidor”.

Desde el punto de vista del análisis de colas, la llegada de clientes se representa por medio del tiempo entre llegadas, y el servicio se describe por el tiempo de servicio por cliente. En general este tipo de elementos pueden ser probabilísticos como en la operación de una oficina postal, o determinísticos como en la llegada de aspirantes a entrevistas de trabajo; así como también el tamaño de las colas pueden ser finitas o infinitas, [...]. La disciplina de las colas u orden en que se seleccionan los clientes de una cola es un factor importante en los modelos de cola, [...], de allí que los diseños de las instalaciones de servicio se determinen a un solo servidor o a varios servidores en paralelo o en serie. [...]. La fuente de la que se generan los clientes puede ser finita o infinita. Una Fuente finita limita las llegadas de los clientes al servicio, de manera alternativa, una Fuente Infinita es siempre “abundante”. Las variaciones en todos estos elementos

de una situación de colas son quienes provocan una variedad de modelos de colas.
(p. 609)

En relación con esto, Nahmias, S. (1999) les cataloga como los aspectos estructurales de los modelos de cola, los cuales no pueden obviarse.

Respecto a la teoría de colas Machuca, González et al., (1995) en su libro *Dirección de operaciones, aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios* presenta que puede existir una clasificación en las colas, es decir, “La mayor o menor complejidad de las colas de espera dependerá de dos factores básicos: los servidores o canales y las fases o etapas a procesar”

Una línea de espera simple incluirá solo un servidor y una etapa de servicio como en un semáforo. Si, por el contrario, consideramos las distintas ventanillas del peaje de un puente, estaríamos ante un caso con múltiples servidores y una sola etapa. Varias señales sucesivas de stop en una carretera conforman el caso de un solo tipo de servidor (la señal de stop) y varias etapas (cada parada indicada por la señal). Los diferentes controles en la terminal de un aeropuerto constituyen un caso de múltiples servidores (pasaportes, aduanas, etc) y varias fases (cada parada). La diferenciación entre cada caso constituye el objeto del análisis de colas, existiendo diferentes tratamientos en cada situación. (p. 387)

Tratamientos que se detallarán durante el desarrollo de la presente investigación. Para estos autores, el tamaño de la población a atender también es un punto clave en los sistemas de colas, en consecuencia, con lo mostrado por TAHA, H.A (1998)

En algunos casos, la demanda de prestación del servicio no estará limitada por ningún factor (*población Infinita*), lo que puede conducir a que el posible número de clientes a servir exceda significativamente la capacidad del sistema como por ejemplo en las ventanillas de una sucursal bancaria o peaje o la caja de un supermercado. En otros casos, la población es *Finita*, es decir, cada servidor puede atender a un número predeterminado de clientes como es el caso del número de profesores asignados a cada administrativo del departamento. (p. 387-388)

En Complemento a ello, se debe tener en cuenta los patrones de llegada y servicio puesto que

De entre los diferentes casos que se pueden presentar en relación con estos factores, el más sencillo es aquel en que las *llegadas* están espaciadas uniformemente, y los tiempos de servicio son *constantes*. Si las llegadas son más frecuentes que las que pueden atender la tasa de servicio, el sistema estará en una situación de inestabilidad. El flujo de clientes en curso deberá descender o el servicio deberá acelerarse, puesto que, en caso contrario, las líneas de espera pueden crecer sin límite. En caso de que las llegadas sean menos frecuentes que el máximo asumible por la tasa de servicio, se dice que el sistema es estable y que el

tipo de espera es nulo. La realidad suele ser diferente, porque las llegadas no se producen de forma homogénea ni los tiempos de servicios son constantes, lo que, por una parte, hace que aparezcan las colas y, por otra, dificulta la identificación de la posible ociosidad de los recursos. [...]. En ciertos casos, la variabilidad de la llegada y/o prestación del servicio pueden ser descritas mediante el uso de distribuciones teóricas de probabilidad. Así, es bastante común asumir que la tasa de llegada de los clientes se distribuye siguiendo una Función de Poisson, mientras que la tasa de prestación del servicio estaría mejor descrita por una función exponencial. En la práctica es necesario comprobar dichas hipótesis acudiendo al tratamiento de los datos estadísticamente (p.388)

Distribuciones que pueden entenderse mejor mediante la notación que más adelante se explica.

Por su parte, Spíndola R; M. & Grisales J., (2000) en su trabajo *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones* expone acerca de la teoría de colas que

Los vehículos llegan al sistema a una *tasa de llegadas* λ , entran a una estación de servicio si está desocupada, donde son atendidos a una *tasa media de servicio* μ , equivalente a la tasa de *salidas*. Sí la estación de servicios está ocupada se forman en *cola* a esperar ser atendidos. [...]. Tanto la tasa de llegadas como la tasa de servicios varían, causando que también varíe la cola. Se define entonces *la*

cola como el número de vehículos que esperan ser servidos, sin incluir aquellos que están siendo atendidos. (p. 299)

Por lo cual en su capítulo “Congestionamiento” sobre las teorías de colas gráficamente lo presenta de la siguiente manera. (Ver Ilustración 5)

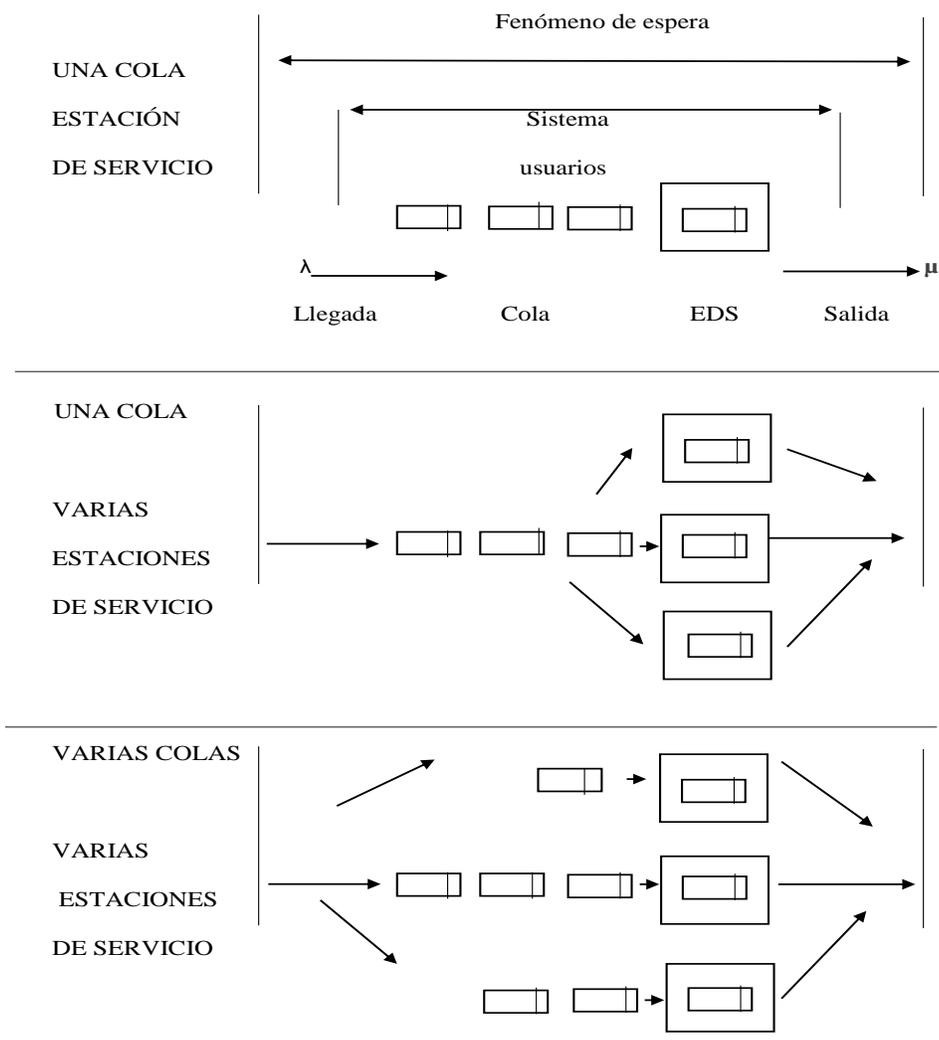


Ilustración 5. *Sistemas de Línea de espera.*

Fuente: Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. (p. 300)

En este sentido, se debe considerar la naturaleza y comportamiento del sistema de colas, para lograr identificar los modelos más apropiados para describirlo. En este análisis es de recalcar los siguientes elementos claves. (Ver tabla 3)

Tabla 3

Elementos básicos del proceso en un sistema de líneas de espera.

LAS LLEGADAS (DEMANDA)	LOS SERVICIOS (CAPACIDAD)	PROCEDIMIENTO DE SERVICIO
También denominadas características de entradas:	Reconocido como las características de salida:	“En la mayoría de los sistemas viales, el procedimiento de servicios o disciplina de la cola consiste en que el primero que llega es el primero que sale”.
“Las llegadas pueden ser expresadas en términos de tasas de flujo (vehículos/hora) o intervalos de tiempo (segundos/vehículos). Su distribución puede ser de tipo probabilístico o determinístico”. Por lo regular ésta tiene un comportamiento siguiendo una Función de Poisson.	“Puede expresarse también como tasas de flujo o intervalos, y así mismo, su distribución puede ser de tipo probabilístico o determinístico”. En general su distribución sigue una función de tipo exponencial.	

6.2.3 Notación

De acuerdo con Bonini, hausman & Bierman (2000) para el modelado matemático de los sistemas de colas o de procesamiento es preciso conocer la notación de estos en términos generales. (p. 375-377)

Donde:

A = Tiempo entre llegadas, ésta es una variable aleatoria.

μ_A = Media de distribución de A (es decir, media de tiempo entre llegadas)

σ_A = Desviación estándar de A .

Ecuación 1. $cvA = \frac{\sigma_A}{\mu_A}$ Coeficiente de variación de A . (Una medida

relativa de la variabilidad de los tiempos entre llegadas).

S = Tiempo de servicio (Variable aleatoria que representa el tiempo que se requiere para atender un trabajo).

μ_S = Media de distribución de S . (es decir, media de tiempo de servicio).

σ_S = Desviación estándar de S .

Ecuación 2. $cvS = \frac{\sigma_S}{\mu_S}$ Coeficiente de variación de S . (Una medida

relativa de la variabilidad de los tiempos de servicio).

E = Tiempo de espera en la cola para una llegada. (No incluye el tiempo que se toma para atender la llegada).

L = Longitud de la Línea de espera para una llegada. (No incluye ningún trabajo que se esté atendiendo).

μ_E = Media de distribución de E . (media de tiempo de espera).

μ_L = Media de distribución de L . (media de la longitud de la línea).

ρ = Factor de carga del sistema (o utilización del sistema). Este es un índice de la carga de llegadas al sistema, en comparación con la capacidad del sistema para atender esa carga.

MTE = Múltiplo de tiempo de espera. Este es el tiempo de espera promedio de una llegada dividido por el tiempo promedio de servicio. Es una medida estandarizada del tiempo de espera y será la medida básica de la congestión del sistema.

$$\text{Ecuación 3. } MTE = \frac{\mu_E}{\mu_S}$$

Sin embargo, existe una notación específica propia de cada modelo de línea de espera. Hay dos distribuciones de probabilidad importantes que suelen aparecer en los modelos de colas. Siguiendo lo argumentado anteriormente por Machuca, González et al., (1995) al respecto

La distribución de Poisson supone un número muy grande (infinito) de posibles llegadas, cada una con una pequeña probabilidad de que ocurra. Las llegadas son independientes y la cantidad de una de ellas no afecta la cantidad de la siguiente. La distribución de Poisson es una buena aproximación para muchos procesos que se consideran aleatorios, como los clientes en una fila de pago.

La variable aleatoria en la distribución de Poisson es la *cantidad de llegadas o servicios por unidad de tiempo*. La distribución *exponencial* es una

distribución complementaria a la de Poisson que tiene como variable aleatoria el *tiempo de llegadas o el tiempo de servicio*. Este tipo de distribuciones corresponden a las variables aleatorias A y S definidas antes. Ambas distribuciones se conocen como distribuciones de *Markov*. Se ha convertido en una práctica estándar denotar los modelos de colas a través de una notación corta como sigue:

*Distribución del tiempo de llegada/ Distribución del tiempo de servicio/
Número de servidores o canales*

Donde,

M= Distribución de Markov (Poisson o exponencial).

D= Distribución determinística (constante)

G= Distribución general con media especificada y desviación estándar.

Teniendo que, el régimen que define las características de un fenómeno de espera se denota por tres (3) valores representados así $a/b/c$

Donde:

a: Tipo de llegadas

b: tipo de servicios

c: Número de estaciones de servicios o canales (k)

Así, un régimen $D/D/I$ supone llegadas y salidas de tipo determinísticas o a intervalos uniformes con una estación de servicios. Por otra parte, si se tiene $M/M/I$ supone llegadas y salidas de tipo probabilístico dadas que estas tasas son aleatorias e independientes, y con una estación de servicio. Modelo que se ajusta al carácter de la presente investigación, con la variante de proponer no un solo canal sino tener varios canales o estaciones de servicio $M/M/K$. (Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. p.300)

6.2.4 Criterios de medida para evaluar el funcionamiento de un sistema

Partiendo de la literatura estudiada, para Machuca, González et al., (1995) se tienen los siguientes criterios de medida (p.389)

- Número medio de clientes en curso esperando, tanto en la cola como en las operaciones del sistema.
- Tiempo Medio de espera, tanto en la cola como en las operaciones.
- Utilización del sistema, expresada como porcentaje utilizado en la capacidad disponible.
- Coste asociado a un nivel dado de capacidad y su línea de espera.

- Probabilidad de que cada cliente en curso que llega al sistema tenga que hacer cola de espera.

En cuanto a los elementos de un sistema de filas de espera, Spíndola R; M. & Grisales J., (2000) refieren que “para caracterizar un fenómeno de espera en un sistema vial de servicios es necesario responder a ciertos interrogantes para su buen análisis” (p. 300); tales como:

- ¿a qué hora empieza y termina el congestionamiento?
- ¿Cuál es el número medio de vehículos en el sistema?
- ¿Cuál es el número medio de vehículos en la cola?
- ¿Cuál es el tiempo medio en el sistema?
- ¿Cuál es el tiempo medio de espera o demora media?
- ¿Cuál es la longitud máxima de la cola?
- ¿Cuál es la demora total de todo el tránsito?
- ¿Cuál es la proporción de tiempo en que se utiliza el sistema?
- ¿Cuál es la proporción de tiempo cuando el sistema permanece inactivo?

6.2.5 Análisis probabilístico de líneas de espera

“Los modelos más generales y sencillos aplicados en problemas de tránsito corresponden a sistemas de líneas de espera con una estación de servicio o un solo canal y

sistemas de líneas de espera con varias estaciones o múltiples canales”. (Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. p. 317).

6.2.5.1 Modelos de líneas de espera

De acuerdo con Aquilano et al. (2009) en los modelos más comunes de líneas de espera se tienen (ver tabla 4).

Tabla 4

Propiedades de algunos modelos específicos de líneas de espera.

DISTRIBUCIÓN	FASE DEL SERVICIO	POBLACIÓN FUENTE	PATRON DE LLEGADAS	DISCIPLINA DE LA FILA	PATRÓN DE SERVICIO	LONGITUD PERMISIBLE DE LA FILA
Un solo canal	Una sola	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada
Un solo canal	Uno solo	Infinita	Poisson	PEPS	Constante	Ilimitada
Canales Múltiples	Uno solo	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada
Un solo canal	Una sola	Infinita	Poisson	PEPS	Exponencial	Ilimitada

Fuente: Aquilano et al. (2009), p.285.

De acuerdo con la publicación de Singer et al. (2008) se tienen los siguientes posibles modelos con su respectiva Operacionalización matemática

6.2.5.1.1 Sistema M/M/1

Este tiene una llegada de clientes tipo exponencial con tasa λ y un tiempo promedio de servicio igual a $\frac{1}{\mu}$. (Pazos, Suárez & Díaz, 2003). (p.14).

Este modelo según Anderson D & Sweeney D (2011), solo es aplicable si y solo si

$$\text{Ecuación 4. } \mu > \lambda; \quad \frac{\lambda}{\mu} < 1$$

- Probabilidad de que no haya unidades en el sistema

$$\text{Ecuación 5. } P_0 = 1 - \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$$

- Cantidad Promedio de unidades en línea de espera

$$\text{Ecuación 6. } Lq = \frac{(\lambda^k)}{\mu(\mu - \lambda)}$$

- Cantidad Promedio de unidades en el sistema

$$\text{Ecuación 7. } L = Lq + \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en la línea de espera

$$\text{Ecuación 8. } Wq = \frac{Lq}{\Lambda}$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema

$$\text{Ecuación 9. } W = Wq + \frac{1}{\mu}$$

- Probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio o Factor de utilización para la instalación de servicio

$$\text{Ecuación 10. } Pw = \left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)$$

- Probabilidad de n unidades en el sistema

$$\text{Ecuación 11. } Pn = \frac{\left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)^n}{n!} P0$$

6.2.5.1.2 Sistema M/M/K

Este fenómeno de espera por lo general tipo $M/M/K$, donde K es el número de estaciones, y las tasas se ajustan para el caso de las llegadas, a una distribución de poisson, tiempos de servicios exponenciales y disciplina del servicio “el primer vehículo en llegar se mueve hacia la primera estación de servicio vacante”. (Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. p. 317)

Este tiene una llegada de clientes tipo exponencial con tasa λ y un tiempo de servicio también exponencial de tasa μ para cada uno de sus k servidores. Con $k = 1$ corresponde a M/M/1. (p.15)

Según Anderson D & Sweeney D (2011), en su libro Métodos cuantitativos para los negocios, cumplen con la siguiente condición y sigue la siguiente notación operativa. p. 666-667.

Ecuación 12. Condición $K\mu > \Lambda$

- Probabilidad de que no haya unidades en el sistema

Ecuación 13.

$$P_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^{K-1} \left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^n \frac{1}{n!} + \left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^K \frac{1}{K!} \left(\frac{K\mu}{K\mu - \Lambda} \right)}$$

- Cantidad Promedio de unidades en línea de espera

Ecuación 14.

$$L_q = \frac{\left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^K (\Lambda\mu)}{(K-1)! (K\mu - \Lambda)^2} P_0$$

- Cantidad Promedio de unidades en el sistema

Ecuación 15.

$$L = L_q + \left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en la línea de espera

$$\text{Ecuación 16. } Wq = \frac{Lq}{\Lambda}$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema

$$\text{Ecuación 17. } W = Wq + \frac{1}{\mu}$$

- Probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio o Factor de utilización para la instalación de servicio

$$\text{Ecuación 18. } Pw = \frac{1}{K!} \left(\left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^K \right) \left(\frac{K\mu}{K\mu - \Lambda} \right) P_0$$

- Probabilidad de n unidades en el sistema

$$\text{Ecuación 19.1 si } n \leq K \text{ entonces } P_n = \frac{\left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^n}{n!} P_0$$

$$\text{Ecuación 19.2 si } n > K \text{ entonces } P_n = \frac{\left(\frac{\Lambda}{\mu} \right)^n}{K! K^{(n-K)}} P_0$$

6.2.5.1.3 Sistema M/G/1

Tiene un tiempo de servicio no exponencial, pero se conoce su media y varianza, siguiendo estas ecuaciones (León M. 2016)

- Probabilidad de que no haya unidades en el sistema

Ecuación 20.
$$P_0 = 1 - \left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)$$

- Cantidad Promedio de unidades en línea de espera

Ecuación 21.
$$L_q = \frac{(\Lambda^2 \sigma_s^2) \left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)^2}{2\left(1 - \frac{\Lambda}{\mu}\right)}$$

- Cantidad Promedio de unidades en el sistema

Ecuación 22.
$$L = L_q + \left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en la línea de espera

Ecuación 23.
$$W_q = \frac{L_q}{\Lambda}$$

- Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema

Ecuación 24.
$$W = W_q + \frac{1}{\mu}$$

- Probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio o Factor de utilización para la instalación de servicio

Ecuación 25.
$$P_w = \left(\frac{\Lambda}{\mu}\right)$$

6.2.5.1.4 Sistema M/G/K

León M., 2016, plantea

- Probabilidad de que los canales j y k estarán ocupados

Ecuación 26.
$$P_j = \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^j / (j!)}{\sum_{i=0}^K \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^i / i!}$$

- Cantidad Promedio de unidades en el sistema

Ecuación 27.
$$L = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right) (1 - P_k);$$
 donde P_k es la probabilidad de que todos los canales están ocupados.

Este modelo tiene una llegada de clientes de tipo exponencial con tasa λ , la atención de cada uno de ellos toma un tiempo de servicio con media $1/\mu$ y varianza σ^2 y cuenta con k servidores. Para este sistema se cumple (Nozaki & Ross, 1978, p.18)

Ecuación 28.
$$\hat{W} = \frac{\left(\frac{1}{\mu} + \sigma^2\right) \lambda \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{k-1}}{2(k-1)! \left(k - \frac{\lambda}{\mu}\right)^2} * \left(\sum_{n=0}^{k-1} \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n}{n!} + \frac{\left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^k}{(k-1)! \left(k - \frac{\lambda}{\mu}\right)} \right)^{-1} =$$

$$\frac{1 + \sigma^2 \mu^2}{2} * = \frac{\lambda^k}{\mu k k! (1-p)^2} \left(\sum_{n=0}^{k-1} \frac{\lambda^n}{n!} + \frac{\lambda^k}{k!} * \frac{1}{1-p} \right)^{-1}$$

Esta última expresión es idéntica a W para el modelo $M/M/k$, multiplicada por el factor $(1 + \sigma_s^2 \mu^2)/2$. Recordando que si la distribución del lapso de servicio es exponencial entonces la desviación estándar σ_s es $1/\mu$, la estimación de W para $M/G/k$ es exacta para $M/M/k$. Si el tiempo de servicio es constante, por lo que $\sigma_s^2 = 0$, la espera en cola se reduce a la mitad que la generada por un sistema $M/M/k$. En la mayoría de los sistemas de espera el número de servidores es el principal ítem de costo (entre un 60% y 70% en los centros de llamadas, según Koole & Mandelbaum, 2002). Una de las fórmulas más prácticas para dimensionar el número necesario de estaciones de trabajo es (Puhalskii & Reiman, 2000) (p.18)

$$\text{Ecuación 29.} \quad k = \frac{\lambda}{\mu} + \gamma \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}} \quad \text{donde } \frac{\lambda}{\mu} =$$

\bar{I} es el número promedio de servidores ocupados en el sistema

$$\text{Ecuación 30.} \quad \gamma \sqrt{\frac{\lambda}{\mu}}$$

Corresponde a la “dotación de seguridad”, es decir, la dotación que se mantiene ociosa en promedio, con el objeto de sostener un grado de servicio γ .

6.2.5.1.5 Sistemas G/M/K, G/D/K Y G/G/K

En los sistemas cuyo arribo de clientes muestra una distribución general de probabilidad se define σ_a como la desviación estándar del lapso

entre arribos consecutivos. Para un sistema **G/M/K** relativamente congestionado, es decir cuyo γ es relativamente bajo, se cumple que (p.18)

$$\text{Ecuación 31.} \quad P(W = 0) \cong \gamma = \frac{(1-p)\sqrt{k}}{\sqrt{(\lambda^2\sigma a^2+1)/2}} \quad \text{donde } p = \frac{\lambda}{\mu}$$

probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio

Para los sistemas **G/D/K** relativamente congestionados se cumple que

$$\text{Ecuación 32.} \quad P(W = 0) \cong \gamma = \frac{(1-p)\sqrt{k}}{\lambda\sigma a}$$

Con valores altos de γ y k , se cumple la siguiente aproximación para **G/G/K** (Whitt, 1992)

$$\text{Ecuación 33.} \quad P(W = 0) \cong \gamma = (1-p)\sqrt{k}$$

6.3 Simulación

Es clave definir que “Al proceso de experimentar con un modelo se denomina *simulación* (Ver Ilustración 5.5). Al proceso de diseñar el plan de experimentación para adoptar la mejor decisión se denomina *optimización*”. (Tarifa E. s.f. Introducción)

Simulación corresponde entonces al “desarrollo de un modelo lógico-matemático de un sistema, de tal forma que se obtiene una imitación de la operación de un proceso de la vida real o de un sistema a través del tiempo”. (Azarang M. & García E. s.f. Introducción)

Para estos autores “Un sistema es una colección de variables que interactúan entre sí dentro de ciertos límites para lograr un objetivo”. (Introducción). Por otra parte, Tarifa E. (s.f) define según otros teóricos

Sistema: Conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin (Shannon, 1988). También se puede definir como la porción del Universo que será objeto de la simulación.

Modelo: Un objeto X es un modelo del objeto Y para el observador Z, si Z puede emplear X para responder cuestiones que le interesan acerca de Y (Minsky). *Simulación:* es el proceso de diseñar un modelo de un sistema real y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (Shannon, 1988).

Según Jácome C.R. (s.f.)

Simulación es el proceso de diseñar un sistema real y llevar a término experiencias con él, con la finalidad de comprender el comportamiento del sistema o evaluar nuevas estrategias dentro de los límites impuestos por un cierto criterio o conjunto de ellos para el funcionamiento del sistema. (p.7)
(Ver Ilustración 6)

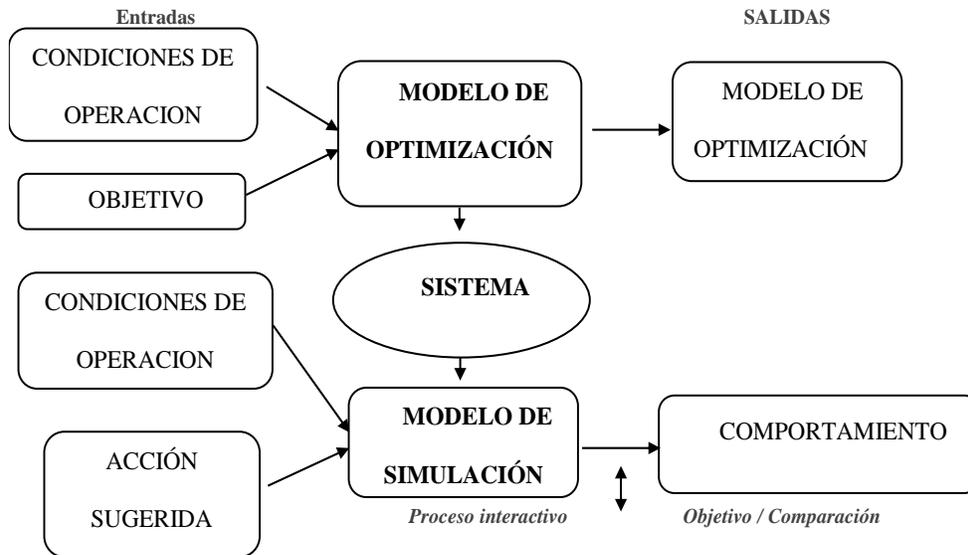


Ilustración 6. *Simulación*

Fuente: Jácome C.R. s.f. p.7

6.3.1 Ventajas de la Simulación

Azarang M. & García E. (s.f.) manifiesta los siguientes beneficios de la aplicación de la simulación de un modelo

- Una vez construido, el modelo puede ser modificado de manera rápida con el fin de analizar diferentes políticas o escenarios.
- Generalmente es más barato mejorar el sistema vía simulación, que hacerlo directamente en el sistema real.
- Es mucho más sencillo comprender y visualizar los métodos de simulación que los métodos puramente analíticos.

- Los métodos analíticos se desarrollan casi siempre, para sistemas relativamente sencillos donde suele hacerse un gran número de suposiciones o simplificaciones, mientras que con los modelos de simulación es posible analizar sistemas de mayor complejidad o con mayor detalle.
- En algunos casos, la simulación es el único medio para lograr una solución.

“Actualmente la simulación presta un invaluable servicio en casi todas las áreas posibles, como los Sistemas de transportes pues detecta zonas de posible congestión, zonas con mayor riesgo de accidentes, predicen la demanda para cada hora del día”. (Tarifa E. s.f. p.2)

6.3.2 Desventajas de la simulación

Entre las posibles desventajas de la simulación se pueden citar según Tarifa E. (s.f). (p.2)

- El desarrollo de un modelo puede ser costoso, laborioso y lento.
- Existe la posibilidad de cometer errores. No se debe olvidar que la experimentación se lleva a cabo con un modelo y no con el sistema real; entonces, si el modelo está mal o se cometen errores en su manejo, los resultados también serán incorrectos.

- No se puede conocer el grado de imprecisión de los resultados. Por lo general el modelo se utiliza para experimentar situaciones nunca planteadas en el sistema real, por lo tanto, no existe información previa para estimar el grado de correspondencia entre la respuesta del modelo y la del sistema real.

6.3.3 Modos de simulación y modelado

Estos pueden ser de tres tipos: análisis, diseño y control dependiendo de las variables de salida con respecto al sistema real. El más utilizado es el de análisis ya que

En él las variables de salida del modelo representan a las variables de salida del sistema real. Este modo se utiliza para estimar la respuesta del sistema real ante entradas especificadas. Debido a que imita un sistema que realmente funciona, el modelo es matemáticamente más estable y se asegura la existencia de una solución. (Tarifa E. s.f. p.11)

Modelado es el proceso de construcción de un modelo. Un modelo es una representación de un objeto, sistema, o idea. Usualmente, su propósito es ayudar explicar, entender o mejorar un sistema (Shannon, 1988)

Un modelo debe ser: fácil de entender por parte del usuario, dirigido a metas u objetivos, sensato, en cuanto no de respuestas absurdas., fácil de manipular y controlar por parte del usuario. Es decir, debe ser sencillo

comunicarse con el modelo, completo, en lo referente a asuntos importantes, adaptable, con un sencillo procedimiento para modificar o actualizar el modelo y evolutivo, debe ser sencillo al principio y volverse más complejo en el tiempo. (Tarifa E. s.f. p.12)

6.3.4 Proceso de desarrollo de un modelo de simulación

Azarang M. & García E. (s.f.) presenta según Banks et al. (1996) las siguientes etapas (ver Ilustración 7)

1. Definición del sistema. Descripción del problema o del sistema. Es decir, que exista una correcta identificación del objetivo, de las variables de decisión, las restricciones, la medida de efectividad y las variables no controlables y su comportamiento estadístico.

2. Análisis del sistema. Deben describirse las interacciones lógicas entre las variables de decisión, de tal suerte que se optimice la medida de efectividad en función de las variables no controlables, sin olvidar las restricciones del sistema. El estado de un sistema es el conjunto de variables que definen al sistema en cualquier instante. Un evento representa un acontecimiento instantáneo que modifica el estado del sistema. Una actividad representa el tiempo requerido para llevar a cabo una operación. Una entidad es cualquier objeto dentro del sistema.

3. *Formulación del modelo.* Consiste en generar un código lógico-matemático que defina en forma exacta las interacciones entre las variables; debe ser una definición sencilla pero completa del sistema.

4. *Selección del lenguaje.* De la selección del lenguaje dependerá el tiempo de desarrollo del modelo de simulación, es importante utilizar el lenguaje que mejor se adecúe a las necesidades de simulación que se requieran.

5. *Codificación del modelo.* Consiste en generar las instrucciones o código computacional necesario para lograr que el modelo pueda ser ejecutado en algún tipo de computadora.

6. *Validación del modelo.* Tiene como objetivo determinar la habilidad que tiene un modelo para representar la realidad. La validación se lleva a cabo mediante la comparación estadística entre los resultados del modelo y los resultados reales.

7. *Experimentación.* En este paso se determinan las diversas alternativas que pueden ser evaluadas, seleccionando las variables de entrada y sus diferentes niveles con la finalidad de optimizar las variables de respuesta del sistema real.

8. *Implantación.* Una vez seleccionada la mejor alternativa, es importante llevarla a la práctica

9. *Monitoreo y documentación.* No hay que olvidar que los sistemas son dinámicos y con el transcurso del tiempo es necesario modificar el modelo de simulación, ante los nuevos cambios del sistema real, con el fin

de llevar a cabo actualizaciones periódicas que permitan que el modelo siga siendo una representación del sistema e instructivo del uso del mismo. (p. 3)

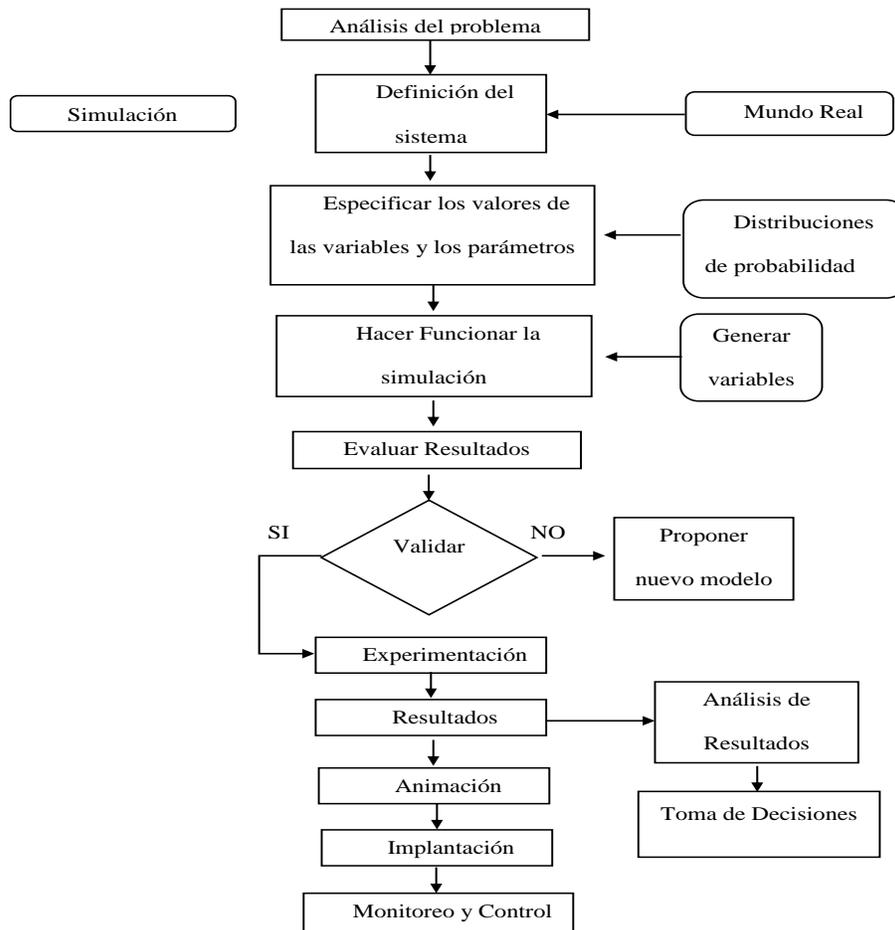


Ilustración 7. *Proceso de desarrollo de un modelo de simulación.*

Fuente: Jácome C.R. s.f. p.8

Una vez formulado el modelo cobra especial relevancia la programación y el uso de software para poder llevar a cabo las siguientes etapas, respecto a este ítem se tienen como programas útiles y sencillos al software R y Arena que permite un adecuado modelado y

simulación del sistema objeto de estudio y que además permite experimentar desde diferentes partes del proceso con las variables que intervienen.

6.3.5 Software R

De acuerdo con la página oficial de R www.r-project.org

R es un lenguaje y un entorno para la informática estadística y los gráficos, [...], proporciona una amplia variedad de modelos estadísticos (modelos lineales y no lineales, pruebas estadísticas clásicas, análisis de series de tiempo, clasificación, agrupación,...) y técnicas gráficas, siendo muy extensible; es un conjunto integrado de instalaciones de software para la manipulación de datos, cálculo y visualización gráfica, que incluye una instalación eficaz de tratamiento y almacenamiento de datos, una serie de operadores para cálculos sobre matrices, en particular matrices, una gran colección coherente e integrada de herramientas intermedias para el análisis de datos, instalaciones gráficas para el análisis de datos y visualización en pantalla o en papel, y un lenguaje de programación bien desarrollado, simple y eficaz que incluye condicionales, bucles, funciones recursivas definidas por el usuario y las instalaciones de entrada y salida.

R es un lenguaje Orientado a Objetos: bajo este complejo término se esconde la simplicidad y flexibilidad de R. [...] pues la sintaxis de R es muy simple e intuitiva, [...]. Donde orientado a Objetos significa que las

variables, datos, funciones, resultados, etc., se guardan en la memoria activa del computador en forma de objetos con un nombre específico. El usuario puede modificar o manipular estos objetos con operadores (aritméticos, lógicos, y comparativos) y funciones (que a su vez son objetos). (Paradis E., 2002, p.4)

6.3.6 Software Arena

El software Arena es una herramienta de simulación de eventos discretos desarrollado por Rockwell Automation. En arena, el usuario construye un modelo de experimentación mediante la colocación de módulos (cajas de diferentes formas) que representan los procesos o la lógica. (Jácome C.R. s.f. p 22)

Es un modelo de simulación por computadora que ofrece un mejor entendimiento y las cualidades del sistema, ya que además de representar el sistema efectúa automáticamente diferentes análisis del comportamiento. (A. 2010)

Esta es una herramienta que permite la representación visual de escenarios alternativos y la observación sobre los posibles resultados si se manipulan las variables o modifica estructuralmente dichos escenarios, de ahí su gran utilidad en la simulación de sistemas y eventos.

6.4 Programación Lineal

Hillier, S. y Lieberman, G. (2010) refieren en su trabajo *Metodología de programación lineal* que

La Programación lineal (PL) utiliza un modelo matemático para describir un problema. El adjetivo *lineal* significa que todas las funciones matemáticas del modelo deben ser *funciones lineales*. En este caso, la palabra *programación* es sinónimo de *planeación*. Por lo tanto, la programación lineal involucra la *planeación de actividades* para obtener un resultado óptimo; esto es, el resultado que mejor alcance la meta especificada – de acuerdo con el modelo matemático- entre todas las alternativas factibles. [...] El procedimiento de solución más eficiente para resolver estos problemas de PL es conocido como *el método Simplex*. (p.21)

De acuerdo con Acosta A. J, (2015) “La Programación Lineal aborda el problema general de la asignación de recursos limitados entre las actividades competitivas de la mejor manera posible” (p.3). El cual consta de cuatro (4) pasos. (Ver Ilustración 8) correspondiendo al modelo que se muestra en la Ilustración 9.

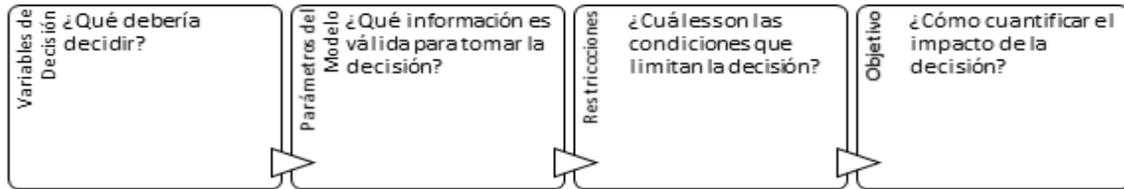


Ilustración 8. Paso a Paso de la Programación lineal.

Fuente: Acosta A. J. 2015. p.7

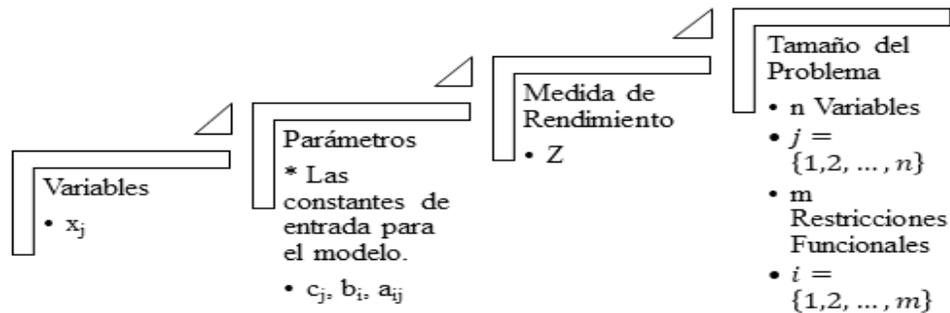


Ilustración 9. Modelo de PL

Fuente: Acosta A. J. 2015. p.8

Según lo cual se tiene entonces, (p.9)

Z = Valor de la medida global del rendimiento

x_j = Nivel de actividad j (para $j = 1, 2, \dots, n$). Variables de decisión.

c_j = Aumento en Z que resultaría de cada aumento de unidad en el nivel de actividad j . Contribución a la función objetiva.

b_i = Cantidad del recurso i disponible para la asignación a las actividades (para $i = 1, 2, \dots, m$). Recursos.

a_{ij} = Cantidad de recurso i consumida por cada unidad de actividad j . Consumo de recursos.

Estandarizándose así el modelo de la siguiente forma (p.11) y de conformidad con Hillier F. & Lieberman G. (2010)

Ecuación 34. Función Objetivo $Z = \sum_{j=1}^n c_j x_j$

Ecuación 35. Sujeto a: $\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_i \quad \forall i = 1, \dots, m$

Ecuación 36. Para $x_j \quad \forall j = 1, \dots, n$

A partir de lo cual, se debe tener en cuenta la restricción de No Negatividad

Ecuación 37. Donde $x_1, x_2, \dots, x_n \geq 0 ; x_j \in \mathbb{R}$.

6.4.1 Programación Lineal Entera

La programación lineal entera (PLE) [...], tiene su aplicación cuando la naturaleza de la situación impide la asignación de valores fraccionarios a las variables del modelo. Por ejemplo, la determinación del número óptimo de máquinas o entes necesarias para realizar una tarea (variable general entera); [...]. Cuando todas las variables de un problema son enteras este se define como un programa entero puro. (Taha A., H., 2012. p.315)

“Un problema de programación entera, es entonces, un modelo matemático que tiene una función objetivo lineal y restricciones lineales pero que requiere que sus variables estén restringidas a tener un valor entero”. (Mathur K & Solow D. 1996.p.299)

6.4.2 Problema De Asignación

En su Forma más genérica se define como

Hay un número de agentes y un número de tareas. Cualquier agente puede ser asignado para desarrollar cualquier tarea, contrayendo algún coste que puede variar dependiendo del agente y la tarea asignados. Es necesario, para desarrollar todas las tareas, asignar un solo agente a cada tarea de modo que el coste total de la asignación sea mínimo. [...]; es decir, El problema de asignación consiste en encontrar la forma de asignar ciertos recursos disponibles (máquinas o personas) para la realización de determinadas tareas al menor coste, suponiendo que cada recurso se destina a una sola tarea, y que cada tarea es ejecutada por uno solo de los recursos. (Enciclopedia Libre, 2017)

Ojeda V. 2012 asevera que “un Modelo de Programación Lineal da pauta a resolver eficientemente el complejo problema de asignación de personal a horarios de trabajo en una empresa”. (p.5)

De acuerdo con López R.D (s.f)

Thorndike (1950), define este tipo de problema: “Sea un conjunto de N tareas y N trabajadores, debemos asignar a cada trabajador una tarea de

forma que el beneficio sea máximo” El nombre del problema, sin embargo, no fue inventado por Thorndike, sino por Votaw y Orden (1952) en un documento titulado: ‘El problema de asignación de personal’. (p.15)

El problema de asignación (PA) es uno de los problemas más interesantes de la Programación lineal. El problema consiste en asignar a cada trabajador una tarea, sabiendo que hay el mismo número de tareas que de trabajadores, n . (p.8)

6.4.3 Método Simplex

El método simplex fue expuesto por primera vez, por su creador George Dantzig, en 1948; este optimiza la búsqueda de una solución reduciéndola a unas dimensiones razonables. El método es iterativo, y consiste en cada iteración, en pasar de una solución básica factible, asociada a una matriz A , a otra asociada a una matriz A' , en la cual la función objetivo presenta una mejora con respecto a la anterior. (Gómez R., O. 2004, p.26)

“El Método Simplex es un Algoritmo Iterativo, es decir, un procedimiento sistemático que repite una secuencia fija de pasos hasta alcanzar un objetivo”. (Acosta A. J. 2015.p.9)

(Ver Ilustración 10)

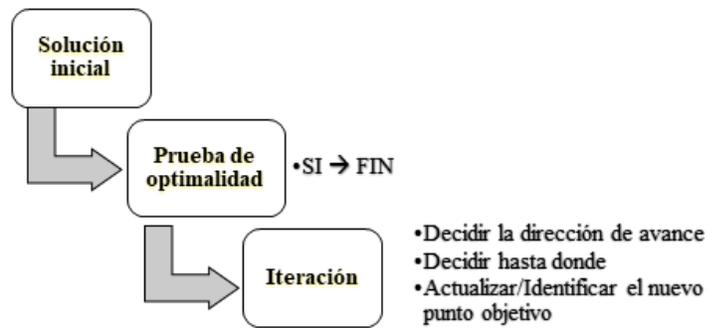


Ilustración 10. *Algoritmo Iterativo del Método Simplex*

Fuente: Acosta A. J. 2015.p.9

Capítulo 7

Diseño Metodológico

7.1 Alcance de la Investigación

La presente investigación tiene un alcance de nivel comprensivo y de tipo proyectiva puesto que con ella se busca proponer escenarios óptimos alternativos de cambio o mejora para el sistema de servicio del peaje de la Mesa de Los Santos Santander.

7.2 Diseño de la Investigación

De acuerdo con la investigación planteada se considera que su diseño es de tipo experimental, debido a que se realizará manipulación de variables; transeccional, ya que la información recolectada se pretende recopilar en un solo momento del tiempo (segundo semestre académico de 2017); así mismo dado que su alcance es proyectivo, su diseño también lo es, puesto que se busca proponer soluciones para la problemática de congestión durante el cobro en el peaje de La Mesa de Los Santos. Además, es comparativo respecto a que se desea conocer los posibles resultados al optimizar las operaciones confrontados con el estado actual del sistema.

La estructura metodológica está diseñada en tres fases, cada una de estas corresponde con uno de los objetivos específicos. Cada fase involucra una serie de actividades, todas estas encaminadas al cumplimiento del objetivo específico que le corresponde, (Ver tabla 5); obteniendo así el siguiente plan de trabajo. (Ver ilustración 12)

Tabla 5

Actividades propias de la investigación

Fases de la Metodología		
Fases	Actividades	Objetivo Especifico Asociado
FASE 1. Desarrollo de estudio de tiempos; Registro condiciones actuales del sistema	Selección y descripción de trabajo objeto de estudio. Elaboración de formularios para toma de Información. Registro y recolección de datos. (Aplicación de formularios). Elaboración de diagrama de operaciones. Modelado en R del sistema operaciones Actuales. (Codificación del modelo) Determinación de tasas de llegada y de servicio del sistema.	1. Modelar a partir de diferentes modelos de línea de espera el servicio del peaje de la Mesa de los Santos definiendo las tasas de llegada y de servicio a través de un estudio de tiempos, utilizando R.

<p>FASE 2.</p> <p>Estudio de Modelos de Línea de espera y diseño de escenario óptimo</p>	<p>Análisis probabilístico de las líneas de espera.</p> <p>Aplicación de modelos matemáticos teoría de colas. (Codificación en lenguaje de programación y su desarrollo).</p> <p>Modelado de escenarios alternativos en R. (Experimentación del modelo).</p> <p>Simular condiciones actuales del sistema mediante Arena.</p> <p>Representar escenario óptimo propuesto mediante arena.</p>	<p>2. Simular el sistema de servicio del peaje de la Mesa de los Santos, comparando diferentes escenarios de líneas de espera con la situación actual de servicio, utilizando Arena.</p>
<p>FASE 3.</p> <p>Evaluación propuesta de Optimización</p>	<p>Optimización del sistema en R.</p> <p>Análisis de Resultados.</p>	<p>3. Optimizar mediante la aplicación de programación entera la asignación de personal</p>

y conclusiones,	Asignación óptima de personal a turnos	para los turnos
recomendacion	Presentación plan de mejora	asociados a los
es del estudio.	Conclusiones y recomendaciones.	escenarios de modelos de líneas de espera propuestos, planteando alternativas apropiado para el contexto que mejoren la eficiencia del servicio prestado; utilizando R.

Fuente: Autor

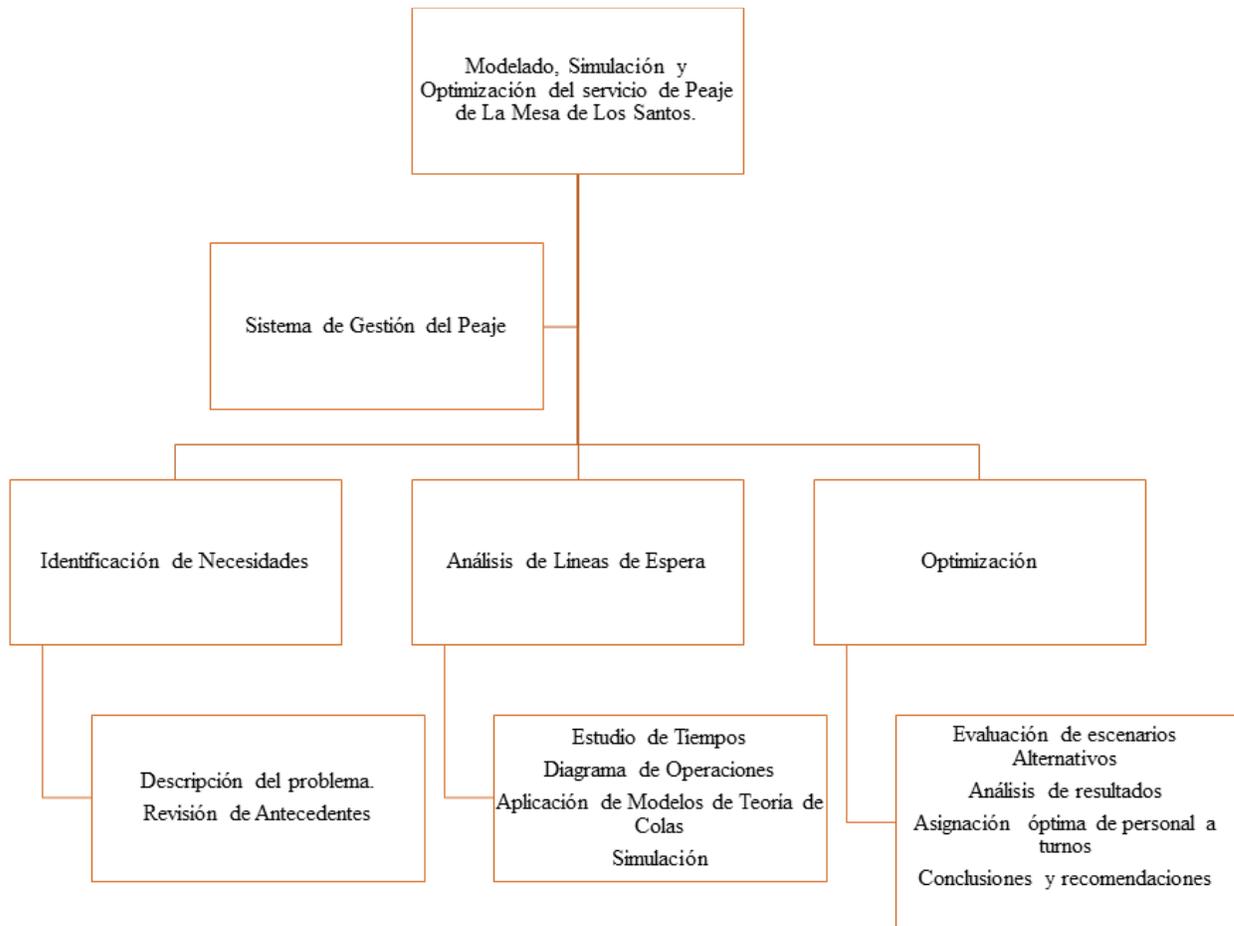


Ilustración 11. *Resumen estructura de trabajo.*

Fuente: Autor

7.3 Área de Estudio

El desarrollo del estudio planteado se llevará a cabo en inmediaciones de los municipios de Piedecuesta y Los santos Santander, zona de influencia del peaje de La Mesa de Los Santos.

7.4 Población

7.4.1 Unidad de observación.

(Ver Ilustraciones 13, 14 y 15)

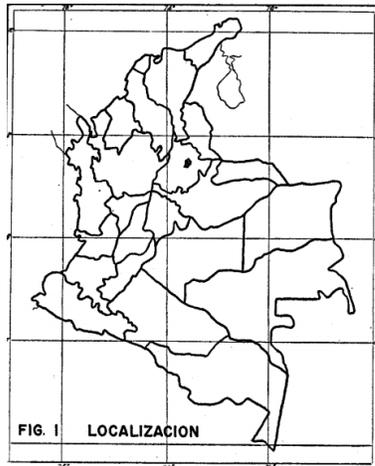


Ilustración 12. *Ubicación geográfica Mesa de Los Santos.*

Fuente: Cabrera O.W. 1958. p.3

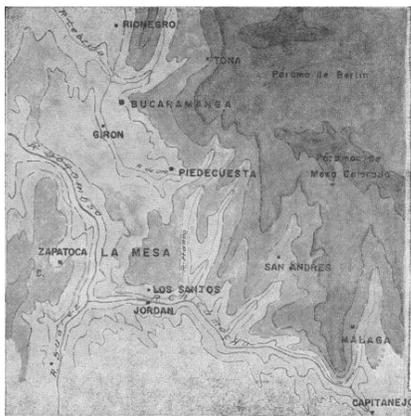


Ilustración 13. *Vinculación orográfica Mesa de Los Santos.*

Fuente: Cabrera O.W. 1958. p.5.

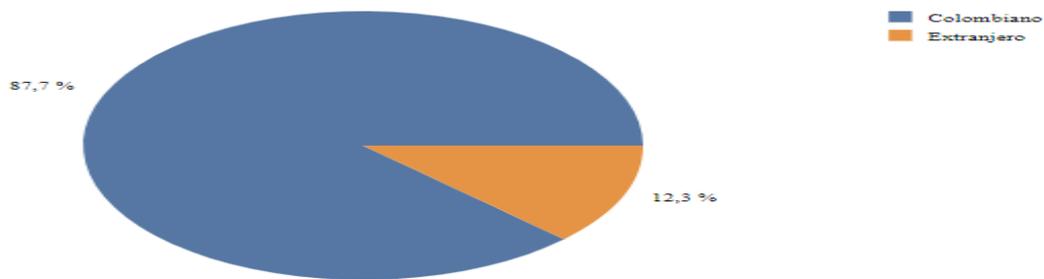


Ilustración 14. *Caracterización de visitantes del departamento de Santander.*

Fuente: Sistema de información de Turismo de Santander. *¿Cuáles son las características de los visitantes?*

7.4.2 Tamaño Unidad de Observación.

De acuerdo con previos estudios hacia 1993 había 7714 habitantes en el municipio de Los Santos, Según indicadores presentados en la página oficial del municipio para el año 2013 se contaban con 8283 habitantes; y según proyecciones se esperaba que para el 2011 se alcanzaría una cifra superior a 8355 habitantes. (Ver Ilustraciones 16, 17)

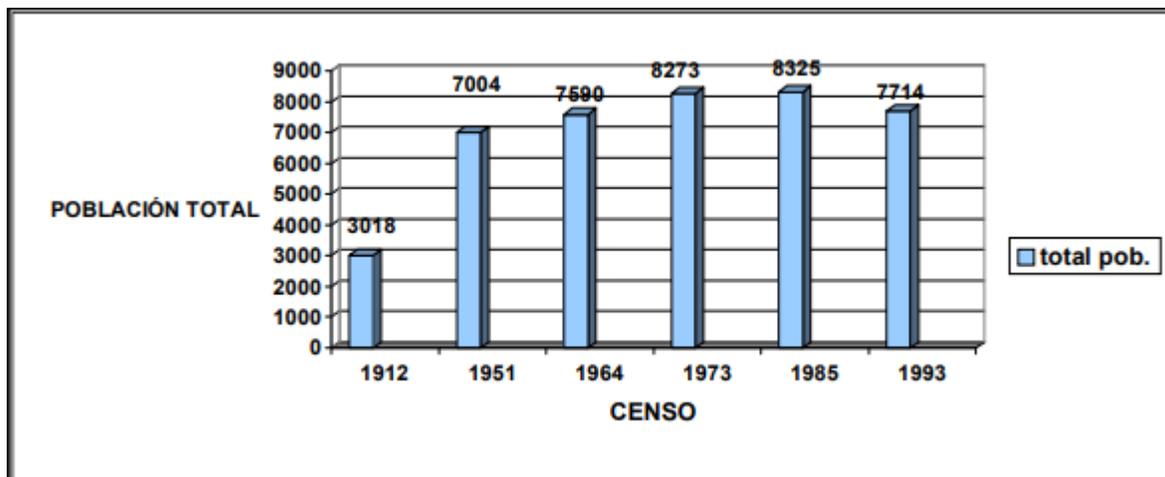


Ilustración 15. *Comportamiento histórico poblacional 1912-1993.*

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, Municipio de los Santos, Santander. p.4.

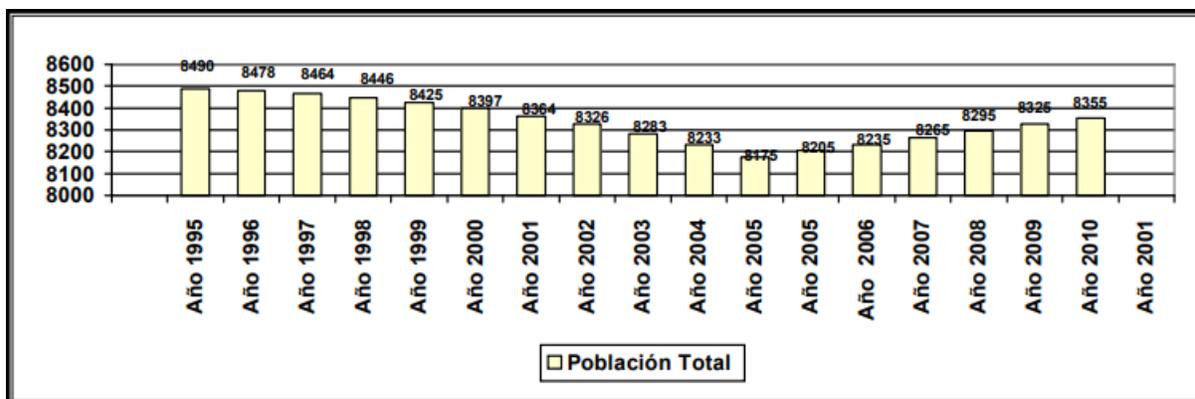


Ilustración 16. *Proyección de crecimiento poblacional 1995-2011 de Los Santos.*

Fuente: Esquema de Ordenamiento Territorial, Municipio de los Santos, Santander. p.5

Por otra parte, cabe tomar en cuenta la población de los municipios vecinos o área metropolitana quienes corresponden a potenciales viajeros hacia el municipio de los Santos.

(Ver tabla 6)

Tabla 6

Resumen proyección poblacional área metropolitana de Bucaramanga

	1998	2000	2005	2010	2015	2017
Bucaramanga	498.426	509.207	537.192	566.714	597.859	610.791
Piedecuesta	87.905	91.309	102.335	110.416	121.419	126.122
Girón	101.132	107.493	129.080	145.828	169.852	180.536
Floridablanca	239.380	255.457	310.459	353.560	415.945	443.879

Fuente: Plan de Ordenamiento territorial del Municipio de Bucaramanga. p.20

Es importante también tener en cuenta el afluente de viajeros al departamento de Santander y en el área metropolitana. De acuerdo con SITUR para 2015 se tuvo en Santander un estimado de 135.677.000 visitantes; y este tiene un comportamiento estacionario proporcional entre viajeros y temporadas del año (Ver Ilustraciones 18, 19)

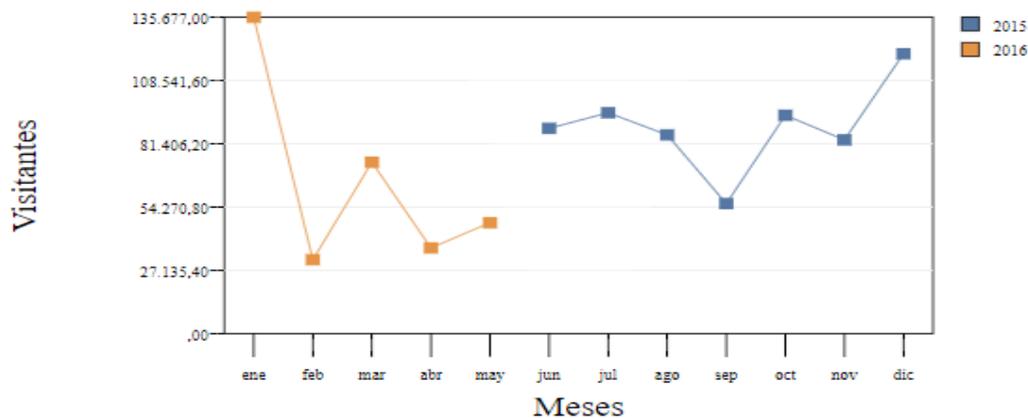


Ilustración 17. *Estimación realizada por SITUR Santander con base a los estudios de turismo receptor y datos administrativos de terminales de transporte y parques temáticos.*

Fuente: Sistema de información de Turismo de Santander. Total de visitantes que llegan a Santander.

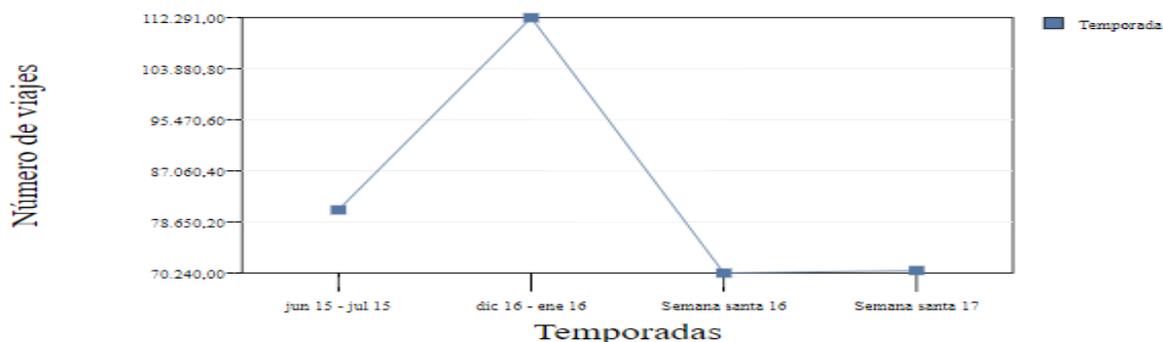


Ilustración 18. *Comportamiento cuantitativo de viajeros en el área metropolitana.*

(Bucaramanga, Floridablanca, Girón, Piedecuesta). 2015- 2017.

Fuente: SITUR Santander.

Cabe destacar que, según reporte de los parques temáticos, terminales de transportes y aeropuerto internacional de Palonegro se tuvo entre el 2007 y el 2015 aproximadamente 4.571.170 visitantes y para el 2009 con la inauguración del parque nacional del Chicamocha y la estación la plazuela con 567.642 turistas los cuales en su mayoría visitaron La mesa de Los santos. (Ver Ilustración 20).

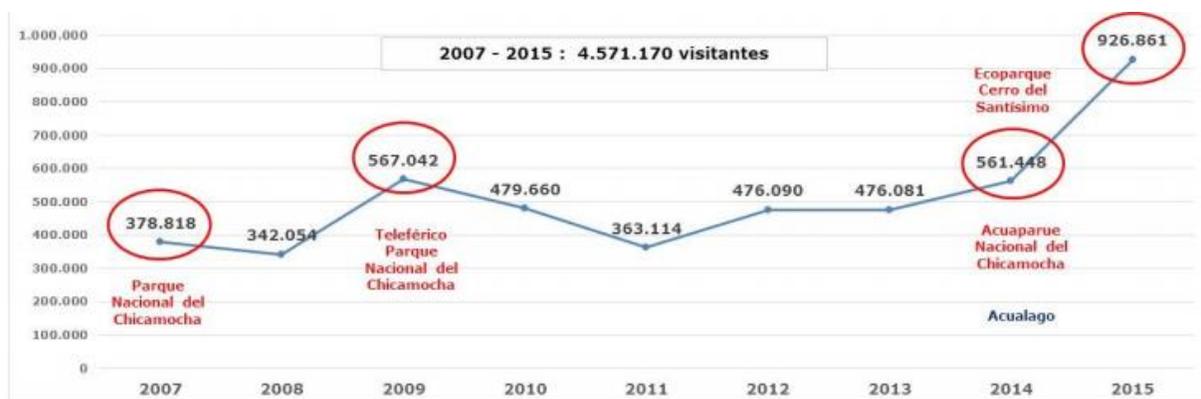


Ilustración 19. *Estimación de llegadas de visitantes a Santander 2007- 2015 según registro de sitios turísticos.*

Fuente: SITUR Santander

Si bien estas cifras dan un panorama a cerca de la unidad de observación, no existe una cifra exacta que determine el número de viajeros por días, ni ninguna otra estacionalidad, por lo tanto, se asume caracterizar la población objeto de estudio como infinita.

7.5 Metodología Estadística

7.5.1 Muestreo

Dado que no es posible determinar con exactitud el número de viajeros hacia La Mesa de Los Santos, Santander (Usuarios del Peaje en días y horas pico); dicha población se caracteriza como infinita, por tanto, para efectos de la presente investigación se procede a realizar toma de datos mediante muestreo definido “como el conjunto de observaciones necesarias para estudiar determinadas características en la totalidad de una población” (Canales, Escobar et al., 2010)

7.5.1.1 Tipo de Muestreo. Muestreo aleatorio simple. “Una muestra aleatoria simple de tamaño n es una muestra de n unidades seleccionadas de tal manera que cada muestra posible de tamaño n tiene la misma probabilidad de ser seleccionada”. (Universidad de Talca, s.f. cap. 2. p.4)

7.5.2 Tamaño de Muestra “N”

El número de Unidades (Vehículos) a estudiar será determinado por conveniencia, teniendo en cuenta que este sea de un tamaño representativo para el estudio. De acuerdo con ello se establecen 17 Horas de trabajo de campo dado el alcance del proyecto y el tiempo de su ejecución.

7.5.2.1 Cálculo de tamaño de muestra óptima

A partir de la necesidad de muestras para el análisis de datos (Especialmente Tiempos de Servicio) y según Martínez B. C (2005) Se tiene las siguientes ecuaciones para dichos cálculos (p. 866)

$$\text{Ecuación 38. } n = \frac{no}{1 + \frac{no}{N}} \text{ donde}$$

$$\text{Ecuación 39. } no = \left(\frac{z^2 s^2}{E^2} \right);$$

$$\text{Ecuación 40. } n = \left(\frac{Nz^2 s^2}{NE^2 + z^2 s^2} \right)$$

$$\text{Ecuación 41. } n = \left(\frac{s^2}{\left(\frac{E}{z}\right)^2 + \frac{s^2}{N}} \right)$$

Se toma como premuestra 116 vehículos aleatoriamente en hora pico, obteniendo los siguientes parámetros. (Ver tabla 7)

Tabla 7

Parámetros obtenidos de premuestra

Datos obtenidos de premuestra	
Media Tiempo De servicio TS	10.38 Segundos
Varianza de TS	45.30 Segundos ²
Error de Muestreo del 5% TS	0.52 Segundos

Fuente: Autor

A partir de lo cual se obtiene

$$\text{Ecuación 42. } no (TS_{95}\%) = 646 \text{ Vehículos}$$

Dado el alcance del proyecto y en consecuencia con el calendario 2017 se establece el siguiente cronograma de trabajo de campo en horas pico (4:00 p.m. a 8:00 p.m.). (Ver tabla 8).

Tabla 8

Cronograma de trabajo de campo

FASE UNO	
DOMINGOS	LUNES FESTIVOS
✓ Agosto 20/2017	Agosto 21/2017
✓ Agosto 27/2017	
✓ Septiembre 3/2017	
✓ Septiembre 10/2017	

Fuente: Autor

7.6 Implicaciones éticas

El desarrollo del proyecto en mención involucra el profesionalismo y moralidad del investigador y calidad de sus colaboradores; el compromiso para con la comunidad de ofrecer un trabajo veraz, fidedigno a la información recolectada por trabajo de campo y a los hallazgos encontrados durante el mismo y confidencialidad sobre tal información. Implica responsabilidad sobre todas y cada una de las actividades a realizar, además del deber hacia el medio ambiente y la responsabilidad social de elaborar un proyecto sostenible y que impacte positivamente las partes involucradas.

Capítulo 8

Resultados y Discusión

8.1 Desarrollo Primera Fase

En esta fase se hace un reconocimiento físico e interno a las condiciones de operación del Peaje de La Mesa de Los Santos; desde su ubicación geográfica, sus instalaciones hasta el análisis funcional de sus operaciones y actividades que realiza empleando diagramas de flujo y de operaciones para su representación.

8.1.1 Localización del peaje

(Ver ilustraciones 21, 22 y 23)



Ilustración 20. Ubicación geográfica del Peaje.

Fuente: Google Maps



Ilustración 21. *Vista Posterior Peaje.*

Fuente: Google Maps

Cabe notar, que para efectos de la investigación y dada la limitación en cuanto a alcance como unico investigador se supone la entrada al sistema desde el punto donde se abre la vía principal a dos carriles para el ingreso a la estación de peaje hasta donde dichos carriles vuelven a ser uno, pasando por la caseta de cobro; es decir, cubriendo una distancia estimada de aproximadamente 49,5 metros.



Ilustración 22. *Vista Frontal Peaje.*

Fuente: Google Maps

8.2 Caracterización de operaciones del peaje

El peaje de La Mesa de Los Santos no cuenta con un sistema de cobro electrónico, por tanto, dicho proceso se realiza de forma manual. A continuación, se detallan las operaciones realizadas en el proceso de servicio del peaje. (Ver ilustraciones 24, 25).

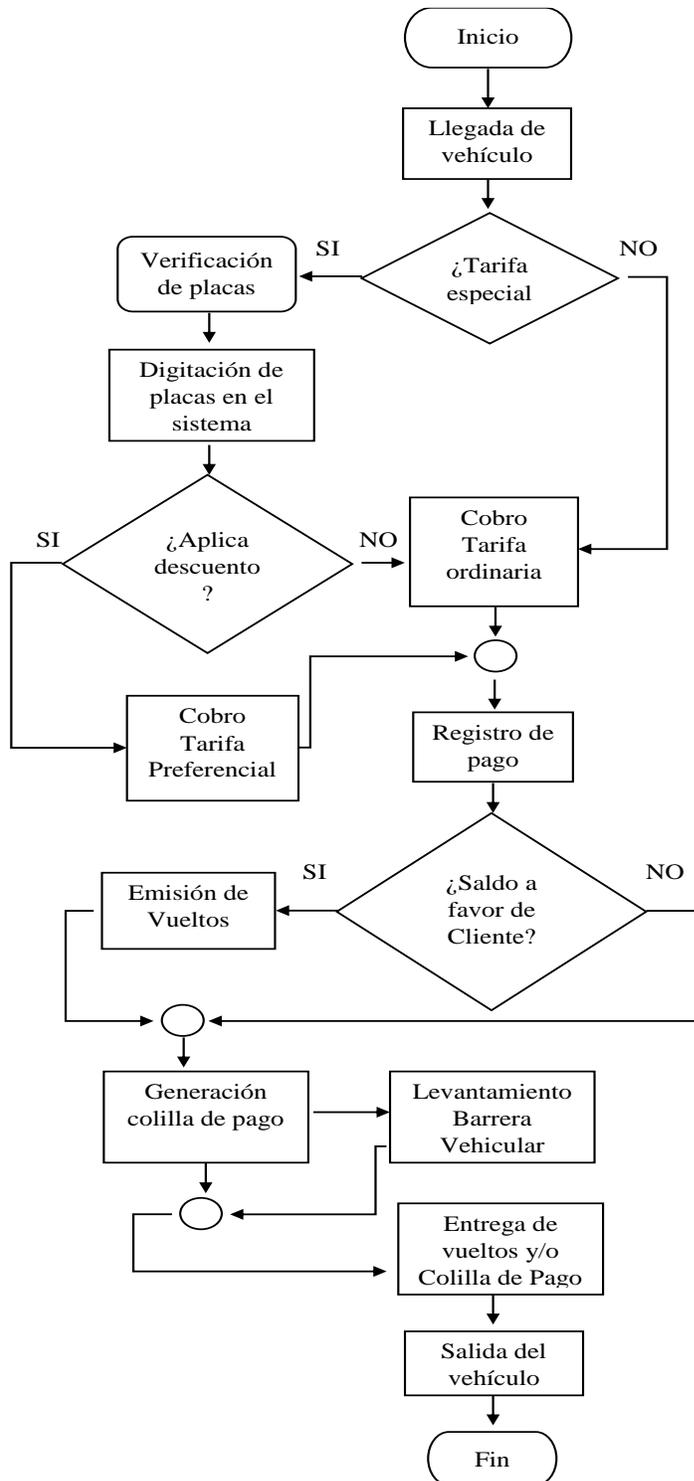


Ilustración 23. Diagrama de Flujo Sistema de Servicio del Peaje Mesa de Los Santos
Escenario Actual.

Fuente: Autor

Diagrama de proceso								
Ubicación: Concesión Vial Construvicol								
Departamento: Peaje Mesa de Los Santos						Fecha: 23/08/2017		
Realizado por: Jessica Rey						Revisado:		
Operaciones: Cobro de peaje								
Método		Actual	x					
		Propuesto						
No.	Descripción de actividad	Nota	○	→	■	◐	▲	◑
1	Llegada de vehículos		x					
2	Verificación de placa	Usuarios con descuento		x		x		x
3	Digitación de placa			x				x
4	Cobro de tarifa							x
5	Registro de pago				x		x	
6	Emisión de Vueltos					x		x
7	Generación de colilla				x			
8	Entrega a conductor			x				
9	Salida de vehículo		x					

Ilustración 24. Diagrama de operaciones actuales del peaje.

Fuente: Autor

8.2.1 Análisis de operaciones

De acuerdo con las ilustraciones antes mostradas, y según se evidencia en el estudio de tiempos las actividades que generan demoras en el sistema corresponden a *verificación de placa* y *emisión de vueltos* (2,6), estas actividades podrían suprimirse si hay una sofisticación el sistema de cobro para usuarios con tarifa especial puesto que no solo la *verificación*, sino también la *digitación* (3,4) y *cobro de tarifa preferencial* hace incurrir a la cobradora en desplazamientos y por ende en un incremento de tiempos durante la prestación de servicio, además de esto, es necesario generar conciencia en los viajeros de llevar la suma de dinero exacta para el pago para así agilizar el servicio, pues este es gran parte el factor social de mayor incidencia de las demoras ocasionadas.

Otro aspecto que incide es que el cobro se realiza solo bajando, por ende, se da el represamiento en el día de plan retorno de todos los vehículos que en el transcurso de días anteriores ingresaron a la Mesa de Los Santos; Cabe notar las condiciones de operatividad del peaje, pues solo cuenta con una estación con dos cobradoras que realizan el recaudo a los usuarios y que la entrada al sistema se supone desde el momento en que se abre en dos carriles la vía principal en dicha ubicación del peaje. (Ver ilustración 26)

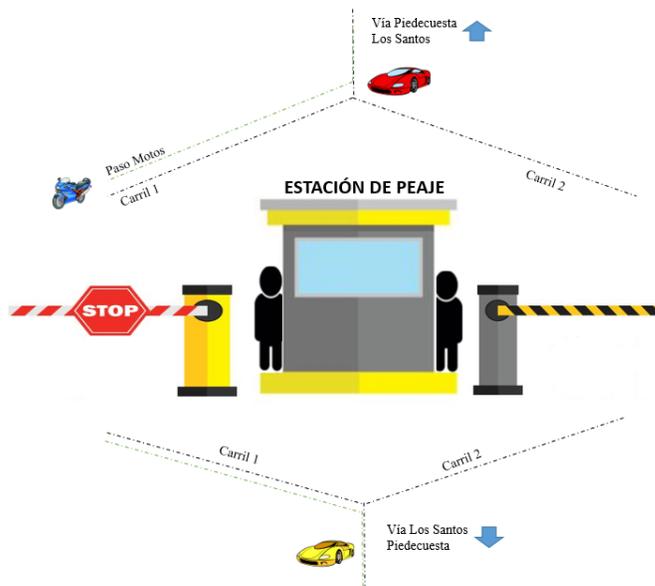


Ilustración 25. Esquema gráfico escenario actual.

Fuente: Autor

8.3 Tratamiento de datos

8.3.1 Ajuste de datos a través de software R

Mediante la utilización del software R se procede al análisis estadístico de las variables teniendo que, estas corresponde a las tasas de llegada y de servicio del sistema, variables

necesarias para la posterior estructuración de los escenarios actuales y alternativos que hacen parte de la propuesta de simulación como solución a la problemática objeto de estudio. Cabe notar, que dichos datos se recolectaron mediante trabajo de campo dentro del sistema antes delimitado y que además, el código en el Software R que modela todo el estudio del presente trabajo se evidencia en el apéndice.

8.3.1.1 Tiempo de Servicio TS

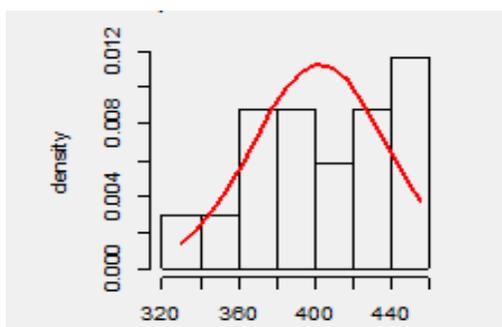


Ilustración 26. *Comportamiento Normal de los datos TS (Vehículos Atendidos por Hora)*

Fuente: Autor (Software R)

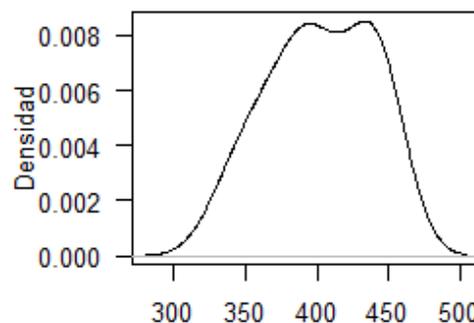


Ilustración 27. *Función de densidad TS (Vehículos atendidos por Hora)*

Fuente: Autor (Software R)

Cuya media corresponde a 402 Vehículos por Hora, con una desviación estándar de 35 Vehículos. (Ver ilustraciones 27, 28)

Tras dicha normalización de los datos y partiendo del tamaño de muestra óptimo establecido (646 Vehículos Seleccionados aleatoriamente de una base de Datos de 3154

Vehículos Observados) se obtuvo el siguiente comportamiento de los tiempos de servicios
(Ver ilustraciones 29, 30)

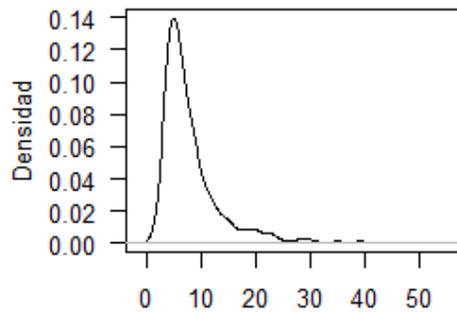


Ilustración 28. *Función de densidad muestra óptima TS*

Fuente: Autor (Software R)

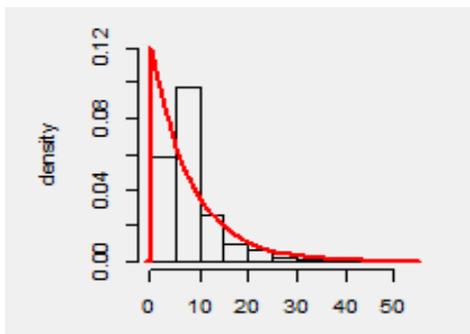


Ilustración 29. *Función de distribución muestra óptima TS*

Fuente: Autor (Software R)

Donde el eje x Corresponde a los tiempos empleados para atender un vehículo expresado en Segundos.

Posterior al ajuste de los datos se asume que estos siguen una distribución de Markov, cuya exponencial más cercana corresponde al parámetro μ , el cual se aproxima a la Tasa promedio de Servicio registrada a través del estudio de tiempos 0.1117 vehículos por segundo, es decir, cerca de 7 vehículos atendidos por minuto.

8.3.2 Tiempo entre Llegadas TL

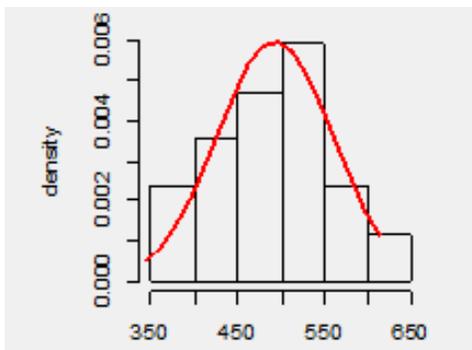


Ilustración 30. *Comportamiento Normal de Los Datos TL (Llegada de Vehículos por Hora)*

Fuente: Autor (Software R)

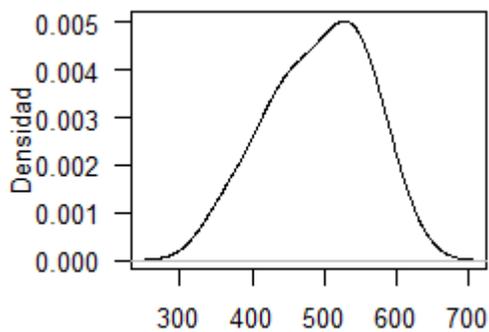


Ilustración 31. *Función de densidad TL (Vehículos atendidos por hora)*

Fuente: Autor (Software R)

Datos para los cuales se tiene una media de llegada de 492 Vehículos por Hora con una desviación estándar de 67 Vehículos. (Ver ilustraciones 31, 32)

Una vez se realiza el ajuste de los datos y aplicando los test pertinentes se estima que cerca de 0.1366 Vehículos por segundo llegan al peaje de La Mesa en Hora pico, es decir, aproximadamente 8 vehículos por minuto, y que esta tasa sigue un patrón de distribución de tipo Poisson.

A partir de tales hallazgos, se establece que el modelo que caracteriza el comportamiento entre llegadas y tiempo de servicio se ajusta a una línea de espera que sigue el modelo de colas M/M/K, es decir, las tasas de llegada y de servicio siguen una distribución de Markov (Poisson y exponencial respectivamente). Cumpliendo a cabalidad con las características definidas por el modelo.

8.4 DESARROLLO SEGUNDA FASE

En esta sección se presenta el modelado de los escenarios actuales y alternativos de las operaciones del Peaje usando el Software R, así como la simulación mediante software Arena de los escenarios actual y alternativo óptimo. También se muestran propuestas de mejora que impacten positiva y sustancialmente las condiciones actuales del sistema antes delimitado .

8.4.1 Modelado Escenario Actual en R.

Una vez aplicadas las ecuaciones propias del modelo se obtienen los siguientes resultados para el escenario actual a partir del modelado en R (Ver tabla 9)

Tabla 9

Resultados modelado escenario actual (k=2)

Po	Lq	L	Wq	W	Pw	Pn (n=4)
24,07%	1	2	7.317073	16.2723	46,45%	6,75%

Fuente: Autor (Software R)

Obteniendo a partir de las tasas establecidas, que la probabilidad actual de que no haya vehículos en el sistema es cercana a un 24,07%, con un promedio de un vehículo en línea de espera y dos vehículos en el sistema, donde se estima que el tiempo promedio que pasa un vehículo en línea de espera sea cercano a los 8 segundos, y el doble el tiempo que pase dentro del sistema, cabe resaltar que no se tienen en cuenta tiempos de desplazamiento y cobros de tarifa especial a los residentes de la mesa que se presenta esporádicamente asumiendo que cerca del 5% de los viajeros tengan dicho descuento, sin embargo, dichos tiempos si implican un incremento considerable en el tiempo total que tiene que esperar un usuario para salir del sistema, comportamiento que se aproxima más a la realidad en la simulación mediante Arena.

También se puede decir, que en el sistema actual del peaje la probabilidad de que un vehículo tenga que esperar es próxima a un 47%, y que solo considerar que haya 4 unidades en espera tiene una probabilidad cercana al 7%.

8.4.2 Simulación en Arena escenario actual

Teniendo en cuenta las características del sistema se construye en Arena un modelo que represente sus condiciones actuales, considerando los tiempos de desplazamiento y cobro de tarifa preferencial que significa tiempos adicionales para llegar así a una estimación más real a las situaciones operativas del Peaje (Ver ilustraciones 33, 34)

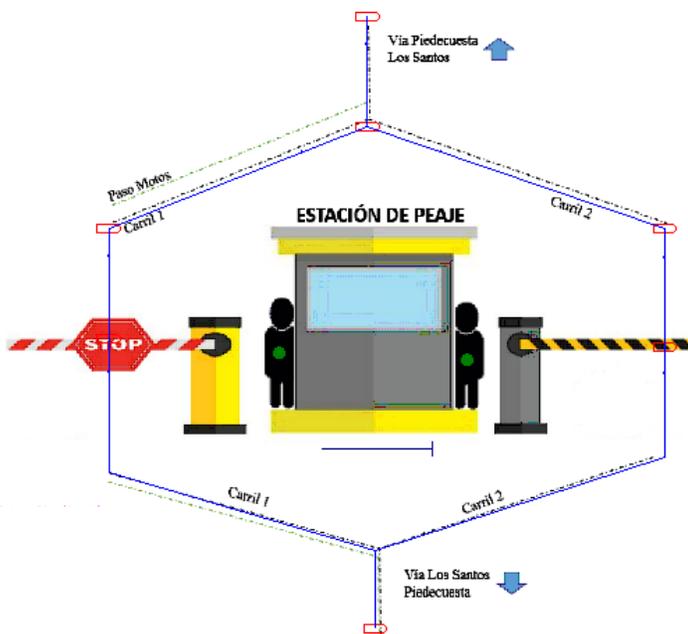


Ilustración 32. Esquema gráfico escenario actual ($k=2$)

Fuente: Autor (Software Arena)

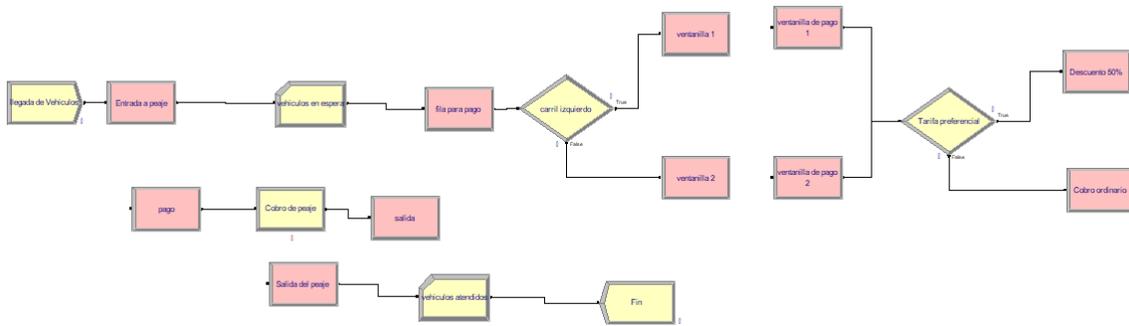


Ilustración 33. Modelado escenario actual en Arena (Estructura Funcional)

Fuente: Autor (Software Arena)

Simulación que arrojo los siguientes resultados (Ver ilustración 35)

6:56:33p. m. Category Overview noviembre 17, 2017

Unnamed Project

Replications: 1 Time Units: Seconds

Key Performance Indicators

System		Average			
Number Out		402			
Wait Time					
		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
vehiculos		310.62	(Correlated)	0.00	625.56
Transfer Time					
		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
vehiculos		12.1642	0,763610267	10.0000	40.0000
Total Time					
		Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value
vehiculos		331.69	(Correlated)	18.9100	656.71
Scheduled Utilization					
		Value			
cobrador1		0.9986			
Cobrador2		0.9986			

Ilustración 34. Resumen de reporte de simulación escenario actual.

Fuente: Autor (Software Arena)

Frente a dichos resultados, es posible decir, que se estima que un vehículo demora aproximadamente 5.5 minutos en promedio en el sistema e incluso pueda tardar hasta 10.95 minutos o más en él; y que solo 5.2 minutos corresponden a tiempo de espera, minutos que se pueden extender hasta 10.4 minutos; cabe notar, que el personal contratado labora a una tasa de 99,86% de productividad. Es claro que las largas filas que se presentan se dan por la acumulación de dichos tiempos lo cual ocasiona un colapso en la capacidad de atención del peaje, ya que más de 80 vehículos quedan en línea de espera en el sistema tal como lo evidencia el reporte del Software Arena para una réplica de una (1) hora. (Ver ilustración 36)

Counter

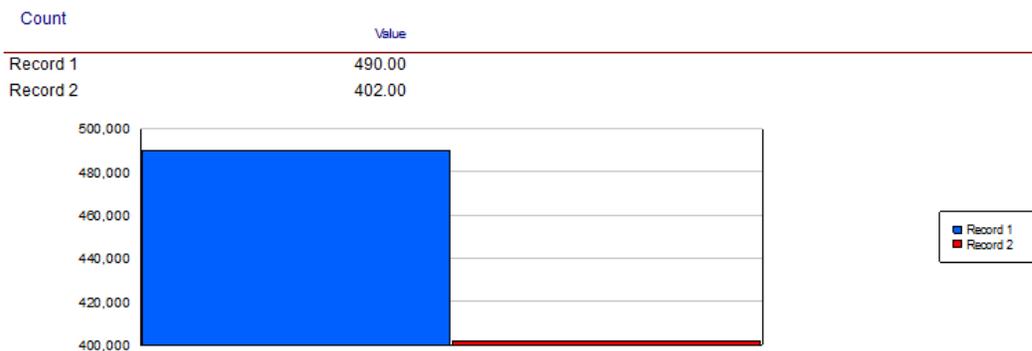


Ilustración 35. Contadores de Vehículos escenario actual.

Fuente: Autor (Software Arena)

Dado que un vehículo en promedio tiene una longitud de cinco (5) metros contemplando la distancia adecuada que se debe conservar entre un vehículo y otro en una fila y de acuerdo con los datos arrojados por el software Arena para una réplica de 1 hora, estos 80 vehículos podrían cubrir una cola con una longitud inclusive superior a 400 metros, es decir,

alrededor de medio kilómetro valorando que la longitud entre los diferentes tipos de vehículos (carros, camionetas, camiones, buses) varía. Además de ello, y según los datos, se estima que en promedio un vehículo dentro del sistema (entendiéndose como sistema desde el inicio de la apertura de los dos carriles para la caseta de cobro hasta la salida de este), demora entre 5,2 y 10,4 minutos, es decir, alrededor de 7,8 minutos en una distancia estimada de 49,5 metros. Según lo cual en coherencia con la replica hecha en el software Arena, proyectando dichas estimaciones de distancia de acuerdo con tales datos, estos 80 vehículos tardan a aproximadamente una hora (63 minutos) en recorrer los 400 metros antes mencionados, lo que podría significar gastar hasta 2 horas tan solo recorriendo un kilómetro dado el grave problema de congestionamiento que se presenta.

8.4.3 Modelado Escenarios alternativos

Evaluando las alternativas de mejora del sistema teniendo en cuenta lo expuesto por Según Anderson D & Sweeney D (2011) (p.663)

Para mejorar la operación de la línea de espera, los analistas se enfocan a menudo en formas de mejorar la tasa de servicios. En general, la tasa de servicios mejora con uno o ambos de los siguientes cambios:

1. Incrementar la tasa de servicios por medio de un cambio de diseño creativo o una nueva tecnología.
2. Agregar uno o más canales de servicio de modo que más clientes puedan ser atendidos al mismo tiempo.

Para efectos de optimización del servicio se evalúan los resultados agregando canales de atención en el sistema. (Ver tablas 10,11,12)

Tabla 10

Resultados modelado escenario alternativo (k=3)

Po	Lq	L	Wq	W	Pw	Pn (n=4)
28,66%	0	1	0	8.955224	14,79%	3,57%

Fuente: Autor (Software R)

Tabla 11

Resultados modelado escenario alternativo (k=4)

Po	Lq	L	Wq	W	Pw	Pn (n=4)
29,3%	0	1	0	8.955224	3,95%	2,7%

Fuente: Autor (Software R)

Tabla 12

Resultados modelado escenario alternativo (k=5)

Po	Lq	L	Wq	W	Pw	Pn (n=4)
29,39%	0	1	0	8.955224	0.89%	2,74%

Fuente: Autor (Software R)

Uno de los aspectos más relevantes del peaje de La Mesa de los Santos es su ubicación geográfica, ya que esta no permite considerar una apertura de varios carriles adicionales para incrementar su capacidad de atención, pues a lo sumo solo se podría adicionar un carril más, pero para ello tendría que considerarse rubros notables para la adecuación de terrenos, negociación con lotes aledaños, inversión en infraestructura y ampliación de malla vial, además de la reestructuración de diseño que conllevaría dicha

mejora, o podría considerarse el trasladar la ubicación del peaje hacia terrenos más amplios y planos en la Mesa pero representaría renunciar al pago que realizan los vehículos de las veredas que quedarían fuera del alcance del peaje y esto también figuraría una alta suma en inversión; es decir, dicho cambio mejoraría sustancialmente la problemática de congestión que se presenta tal como se evidencia en los resultados presentados en la tabla 3.2 (abriendo un carril adicional) pues la probabilidad de que un usuario tenga que esperar por el servicio pasa de 46,45% a 14,79%, incrementando la probabilidad de que no haya un vehículo en el sistema de 24,07% a aproximadamente un 28,66%, pero esto, a un alto costo de inversión para la Concesión vial.

En consecuencia, la ampliación o apertura de más canales de atención en paralelo sería una solución satisfactoria pero no óptima considerando los costos asociados. Por otra parte, la apertura de nuevos canales de atención en serie permitiría disminuir los niveles de congestión, asumiendo costos razonables, además de ser una solución mucho más rápida. Si bien es cierto, que lo que se busca es disminuir el represamiento de vehículos en la zona también debe contemplarse de que la solución a implementar no signifique inversión innecesaria, capacidad desperdiciada para los días ordinarios (No pico) o personal ocioso, a partir de esto el uso de ventanillas de cobro en serie adicionales sería una medida cuya funcionalidad dependerá directamente del afluente de viajeros.

Partiendo de esto, la implementación de cinco (5) canales de atención ayudaría enormemente en la disminución de colas en el sistema como se evidencia en la tabla 3.4, pero la probabilidad de que un usuario tenga que esperar por ser atendido es aproximadamente

igual a si se implementara solo cuatro (4) canales, es decir tener Cinco (5) canales implicaría capacidad ociosa.

En cuanto a la implementación de cuatro (4) canales de atención dispuestos en serie (dos y dos por cada carril ya existente), significaría pasar del 46,45% de probabilidad de que una unidad tenga que esperar en el sistema a solo 3,95% e incrementando la probabilidad de que no haya vehículos en espera a un 29,3%, significando una disminución marcada en los tiempos de espera y el número de vehículos en cola tal como se muestra en la tabla 3.3. en comparación con los demás escenarios.

8.4.4 Simulación escenario alternativo

Evaluando los escenarios propuestos, se considera adecuada la implementación de un sistema con cuatro (4) canales dispuestos en serie tal como se representa en la ilustración 37.

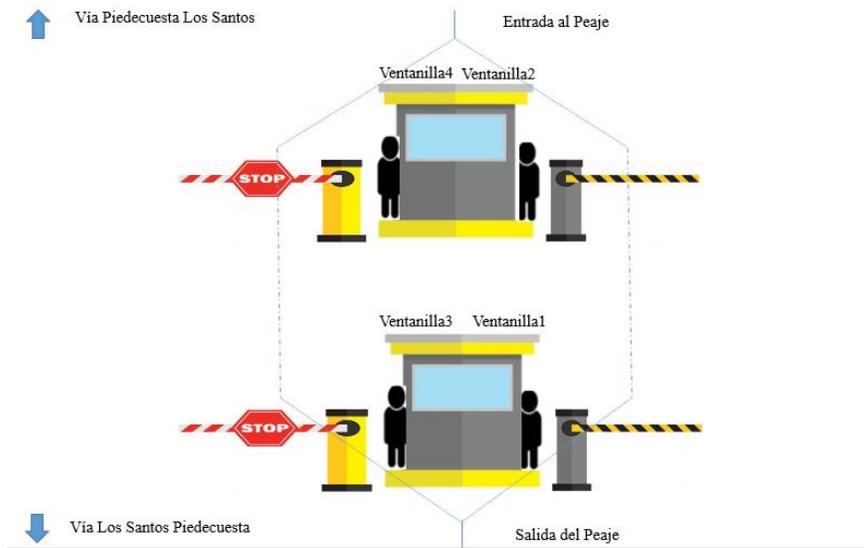


Ilustración 36. Esquema gráfico escenario alternativo ($k=4$)

Fuente: Autor (Software Arena)

Esquema sobre el cual se modela y simula para analizar los resultados y comparar la eficiencia entre el escenario actual y el propuesto. (Ver ilustraciones 38, 39)

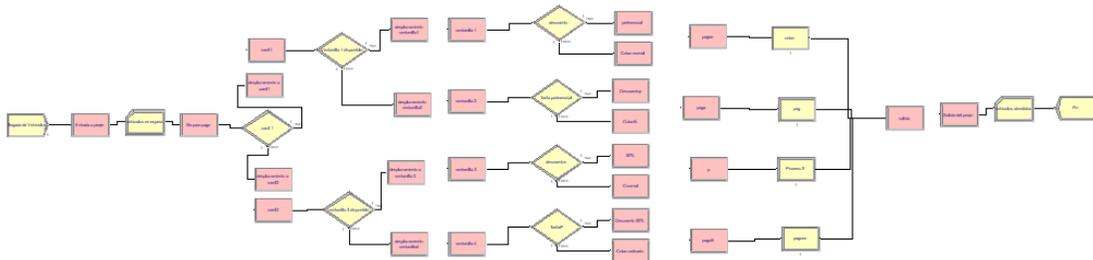


Ilustración 37. Modelado escenario alternativo en Arena (Estructura Funcional)

Fuente: Autor (Software Arena)

5:32:07p. m.		Category Overview		noviembre 21, 2017	
Unnamed Project					
Replications: 1		Time Units: Seconds			
Key Performance Indicators					
System		Average			
Number Out		487			
Wait Time					
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
vehiculos	0.5556	0,126534740	0.00	9.8700	
Transfer Time					
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
vehiculos	15.7043	0,714650822	12.0000	46.0000	
Total Time					
	Average	Half Width	Minimum Value	Maximum Value	
vehiculos	25.1700	0,721992081	20.9100	63.2200	
Scheduled Utilization					
	Value				
cobrador1	0.3193				
cobrador2	0.3242				
cobrador3	0.2803				
cobrador4	0.2846				

Ilustración 38. Resumen de reporte de simulación escenario alternativo.

Fuente: Autor (Software Arena)

Es evidente la disminución de tiempos de espera pasando a ser estos inferiores a un minuto, agilizando cuantiosamente el flujo de vehículos, información que se muestra en la ilustración 39, en la cual también se evidencia que el personal tendrá oportunidad de tener pausas activas y no generarse futuras complicaciones de salud por acumulación de carga de trabajo puesto que los porcentajes de utilización de capacidad laboral no superan el 33% y que el número de vehículos atendidos por hora se aproxima al número de vehículos que entran al sistema, es decir, una eficiencia operativa superior al 90%. (Ver ilustración 40)

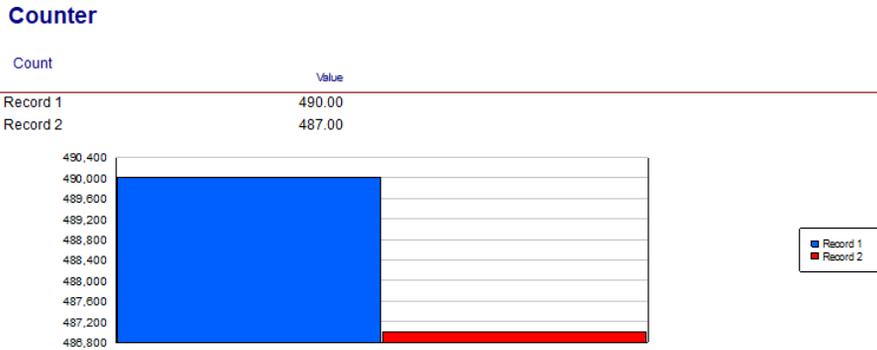


Ilustración 39. Contadores de Vehículos escenario alternativo

Fuente: Autor (Software Arena)

8.5 Propuestas de Mejora

Teniendo como punto de partida lo afirmado por Anderson D & Sweeney D (2011) además de agregar más canales de atención, está la posibilidad de “Incrementar la tasa de servicios por medio de un cambio de diseño creativo o una nueva tecnología” (p.663)

Una de las mayores falencias en el cobro del peaje es la falta de sistematización y de mejoras tecnológicas que agilicen la prestación del servicio, por ejemplo, en cuanto al cobro de tarifa especial para residentes esta es simple y manual, en lugar de agilizar genera demoras y por ende largas colas.

Un cambio que representaría una mejora significativa sería a través de la implementación de un sistema de Recaudo electrónico Vehicular inteligente, la cual permitiría a los usuarios “ pagar mediante una transacción electrónica el pago, mediante la utilización de tecnologías de apoyo, instaladas en la infraestructura o en dispositivos a

bordo del vehículo” (Ministerio de Transporte, 2015), para lecturas de placas, esto en el caso de viajeros frecuentes y vehiculos con tarifa preferencial por residencia.

Con la implementación de estos SIT (Sistemas Inteligentes para Infraestructura, tránsito y Transporte) (Intelligent transportation Systems) se abordaría un denotante de las largas colas producto de demoras en el servicio, con esto se innovaría y haría de esta región un lugar mucho más competitivo y a la vanguardia de las nuevas tecnologías. En este sentido cobra importancia la implementación del SiGSI (Sistema de información para la gestión de la seguridad de la Información) con la cual se garantice la protección de datos de quienes estén registrados en el software de cobro inteligente.

Una de las alternativas para la tecnificación del sistema del peaje sería colocar lectores de placas en las barandas de la estación de cobro, con lo cual el sistema indique que es un usuario con tarifa especial y el sistema automáticamente pueda hacer el descuento de la cuenta del titular o propietario del vehículo, o bien, sería más práctico un sistema de cobro digital como las tarjetas recargables de metrolínea, con lo cual el viajero pueda recargar la tarifa del pago y solo pasando esta tarjeta pueda pasar sin generar demoras en la transacción, tal como se hace al salir de un centro comercial hoy día, pero con la facilidad de que esta tarjeta sea personalizable y se pueda recargar en varios puntos clave en la Mesa como los lugares más representativos (Mercado Campesino, Teleferico, Casco Urbano del municipio de Los Santos, de esta manera se logre agilizar, mejorar el servicio, satisfacer al viajero e transformar la visión tradicional de los sistemas rudimentarios de cobro.

La Mesa de Los Santos, día tras día crece y con ello la necesidad de ampliar las visiones de emprendimiento y atractivos como sector turístico, lo que demanda idelaizar alternativas de mejora que no solo sean rentables, sino que además sean sostenibles en el tiempo, amigables con el medio ambiente y en pro de la satisfacción de los visitantes y a la vez que estas sean innovadoras. Si bien es cierto, la implementación de un software de estas características implica una inversión considerable, la relación beneficio costo demuestra cuan ventajoso sería para el sistema en particular y para la región la ejecución de un proyecto de tales características, pues sería pionero en el departamento de Santander.

Tal como lo expuso el periódico Colombiano el Tiempo (2005) “Si usted es uno de esos gomosos de la tecnología y prefiere hacer uso de los mecanismos de pago electrónico, ahora podrá incluso viajar sin un peso en el bolsillo”; en esta publicación también se afirma que las investigaciones acerca de este ambicioso proyecto aunque ya se ha implementado en varios países hasta ahora en Colombia se estaría contemplando según lo afirma el subdirector de Apoyo Técnico de Invías de ese año, Guillermo Sarabia

Es el primer paso que da el país en esta materia. [...]. En ciudades como Toronto, Buenos Aires y Santiago se utilizan sistemas mixtos, es decir que el conductor puede pagar en efectivo, tarjeta prepago o mediante un sensor instalado en el parabrisas del vehículo que genera el pago posterior con una cuenta de cobro.

En dicha noticia se explica que

La idea es que el conductor pueda adquirir con anterioridad la tarjeta, y cargarla con el monto que desee, con el fin de que al paso por la estación de peaje acerque la tarjeta a unos 15 centímetros del lector y pueda pagar el valor del peaje. Este sistema permitirá reducir el tiempo en el pago de los peajes hasta en un 50 por ciento, ya que el operario no deberá dar vueltas, el conductor sólo esperará unos segundos el recibo de pagado y la autorización para que el lector reconozca el recaudo y se levante la vara de siga [...]. La tarjeta tendrá un chip electrónico como el que tienen las tarjetas usadas para el sistema TranMilenio.[...], Inicialmente se ha pensado que el costo de las tarjetas sea mínimo para los vehículos de servicio particular y gratis para los de servicio público.

Bajo esta idea de modernizar y agilizar los sistema de cobro del país en la actualidad ya se han realizado varios adelantos en el tema, como es el caso de la denominada Tarjeta “Facilpass” bajo la razón social de Peajes electrónicos S.A.S. De acuerdo con su pagina oficial <http://www.facilpass.com> (2015)

FacilPass es una solución tecnológica para el pago electrónico de peajes. Funciona instalando en la parte interna del parabrisas del vehículo un Dispositivo Electrónico TAG, el cual es leído por una antena permitiendo agilizar el paso por las estaciones sin usar efectivo. Sus principales ventajas son: Evita el uso de efectivo, Agiliza el paso por la estación de peaje, Brinda mayor seguridad, Facilita el control administrativo, Ofrece información oportuna de los vehículos.

Según informan este sistema Facilpass en Colombia

Opera en 5 importantes Concesiones Viales ubicadas en los Departamentos de Valle del Cauca, Meta, Cundinamarca, Boyacá, Cesar. Contamos con una cobertura superior a 800Km, abarcando 13 Peajes con 44 Carriles vinculados al servicio. Los carriles se encuentran señalizados de esta manera: 1. Carril SOLO Telepeaje: Carril exclusivo donde circulan vehículos afiliados al Servicio de Pago Electrónico Vehicular; carriles sin colas de congestión y paso rápido. Contamos con 6 carriles[...] 2. Carril Mixto: Carril donde circulan vehículos afiliados al Servicio de Pago Electrónico Vehicular y los que pagan en efectivo; carriles con colas de congestión y paso lento. Contamos con 38 carriles.

Datos que dan cuenta de la viabilidad y factibilidad de materializar dicha propuesta, y de significar un gran impacto en la región.

8.6 DESARROLLO TERCERA FASE

Esta fase corresponde al planteamiento de la asignación de personal a sus horarios de trabajo como un problema de optimización en la que se busca minimizar costos y adecuado manejo de los recursos humanos con que cuenta la concesión vial. Lo anterior teniendo en cuenta información proporcionada por el peaje sobre remuneración de sus cobradores vigentes durante el año 2017, sus respectivos

turnos de trabajo y contemplando la alternativa de mejora resultante de la fase dos (apertura de nuevos canales de atención), con lo cual se pueda establecer si la asignación de personal actual es adecuada o si existe una forma mucho mejor de hacerla.

8.6.1 Asignación de personal

La concesión vial Construvicol S.A, cuenta con tres (3) turnos de ocho (8) Horas en su estación de peaje de la Mesa de Los Santos, en día ordinario solo se trabaja dos canales, en día pico hasta cuatro es lo recomendado (Ver tabla 13)

Tabla 13

Turnos de trabajo

TURNO	1	2	3
HORARIO	6:00 a.m. – 2:00 p.m.	2:00 p.m. – 10:00 p.m.	10:00 p.m. – 6:00 a.m.

Fuente: Concesión vial Mesa de Los Santos- Construvicol S.A.

Actualmente cada turno recibe como remuneración un (1) salario mínimo mensual legal vigente (SMMLV), más auxilio de transporte, recargos por horas nocturnas y aportes reglamentarios de ley. (ver tabla 14)

Tabla 14

Costo básico por turno

	Turno 1	Turno 2	Turno 3
SMMLV (2017)	\$ 737.717	\$ 737.717	\$ 737.717
Auxilio de transporte	\$ 82.086	\$ 82.086	\$ 82.086
Salario Base	\$ 819.803	\$ 819.803	\$ 819.803
Cesantías (8.33%)	\$ 68.290	\$ 68.290	\$ 68.290
Prima (8.33%)	\$ 68.290	\$ 68.290	\$ 68.290
vacaciones (4.17%)	\$ 30.763	\$ 30.763	\$ 30.763
intereses a las cesantías (1%)	\$ 8.198	\$ 8.198	\$ 8.198
Salud (8.5%)	\$ 69.683	\$ 69.683	\$ 69.683
Pensión (12%)	\$ 98.376	\$ 98.376	\$ 98.376
Parafiscales (9%)	\$ 73.782	\$ 73.782	\$ 73.782
Dotación (5%)	\$ 40.990	\$ 40.990	\$ 40.990
Subtotal	\$ 1.278.175	\$ 1.278.175	\$ 1.278.175
Costo diario	\$42.610	\$42.610	\$42.610
Costo por Hora Ordinaria (HO)	\$5326,3	\$5326,3	\$5326,3
Recargo por horas Nocturnas (10:00 p.m. a 6:00 a.m.) (75%HO)	NA	NA	\$ 3994,73
Valor total por Hora laborada	\$5326,3	\$5326,3	\$9321,03

Fuente: Concesión vial Mesa de Los Santos- Construvicol S.A. Vigencia 2017

Según dicha información, se tiene el planteamiento del problema de asignación de personal presentado en la tabla 15.

Tabla 15

Datos del problema de programación de personal del peaje.

Periodo	Canales				Número Mínimo de personal por día
	K1	K2	K3	K4	
Lunes	✓		✓		6
Martes		✓		✓	6
Miércoles	✓		✓		6
Jueves		✓		✓	6
Viernes	✓		✓		6
Sábado	✓	✓	✓	✓	8
Domingo	✓	✓	✓	✓	8

Fuente: Concesión vial Mesa de Los Santos- Construvicol S.A. & Autor.

Cabe notar que, en el Turno 2 es cuando se presenta las horas neurálgicas en el sistema, por lo cual se requiere la implementación de K canales de atención adicionales a los que en días ordinarios se necesitan, siguiendo el siguiente esquema (Ver tabla 16)

Tabla 16

Distribución turnos de trabajo por canal en días pico

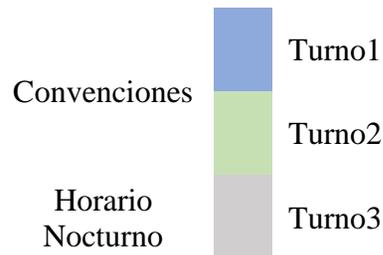
	Turno 1	Turno 2	Turno 3
K1	✓	✓	✓
K2		✓	
K3	✓	✓	✓
K4		✓	

Fuente: Escenario alternativo propuesto

Según lo cual, se procede al planteamiento a partir de los costos en horas (Ver tabla 17) y la disposición de empleados asignados por horas para días picos (Ver tabla 18).

Tabla 17

RECARGO NOCTURNO (R.N)					HORARIO DIURNO																	R. N							
S0	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	S11	S12	S13	S14	S15	S16	S17	S18	S19	S20	S21	S22	S23						
					42610.40									42610.40															
55.926,18																												18.642,06	



Costo en Horas por empleado.

Fuente: Concesión vial Mesa de Los Santos- Construvicol S.A. Vigencia 2017

Dado lo anterior se procede a modelar el problema de asignación a través del software R, para lo cual se tiene la siguiente matriz (ver tabla 18)

Tabla 18

Matriz de asignación de personal actual a horas de trabajo por día

	S6	S14	S22		
Para la 1 am	0	0	1	\geq	2
Para las 2 am	0	0	1	\geq	2
Para las 3 am	0	0	1	\geq	2
Para las 4 am	0	0	1	\geq	2
Para las 5 am	0	0	1	\geq	2
Para las 6 am	1	0	0	\geq	2
Para las 7 am	1	0	0	\geq	2
Para las 8 am	1	0	0	\geq	2
Para las 9 am	1	0	0	\geq	2
Para las 10 am	1	0	0	\geq	2
Para las 11 am	1	0	0	\geq	2
Para las 12 m	1	0	0	\geq	2
Para la 1 pm	1	0	0	\geq	2
Para las 2 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 3 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 4 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 5 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 6 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 7 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 8 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 9 pm	0	1	0	\geq	4
Para las 10 pm	0	0	1	\geq	2
Para las 11 pm	0	0	1	\geq	2
Para las 12 pm	0	0	1	\geq	2

Fuente: Autor

8.6.1.1 Costo total asignación de personal actual

Ecuación 43. Variable de decisión:

x_i : número de empleados asignados por hora i de inicio del turno , ($i: 1,2,3$)

Ecuación 44. Función Objetivo

$$Z = \$42610.40x_1 + \$42610.40x_2 + \$74568.24x_3$$

Una vez modelado en el Software R dicho planteamiento se tiene que la actual asignación de personal con la que cuenta la estación de peaje le figura un costo estimado de \$404.798,9 pesos diarios en día pico; representados en la disposición de dos (2) personas en el turno que inicia a las 6:00 a.m., cuatro (4) personas para el horario de las 2:00 p.m. y dos (2) personas para las 10:00 p.m., cada turno con duración de ocho (8) Horas de trabajo diarias. (ver ilustración 40)

```
> solucion$objval
[1] 404798.9
> solucion$solution
[1] 2 4 2
> |
```

Ilustración 40. *Resultados asignación de personal actual*

Fuente: Autor (Software R)

8.6.2 Optimización con horario de entrada de trabajadores variante

Como alternativa propuesta para la asignación de personal se evaluó la posibilidad de que el ingreso del personal no se dé estrictamente en las horas estipuladas en el planteamiento anterior, sino que exista un horario flexible que permita la entrada de los cobradores en cualquier hora del día siempre que estos cumplan con la totalidad de horas de jornada laboral. Este análisis se efectúa con el ánimo de estudiar si hay

una forma más adecuada de realizar dicha asignación o si la forma actual de realizarse efectivamente es la recomendada. Para esto se contemplaron los costos en que se incurrirían en dicho escenario (ver tabla 19) y se realizó el respectivo modelado en el software R en el que se tuvo en cuenta la matriz que se muestra en la tabla 20.

								6,3	26	6,3	26	6,3	6,3	6,3	6,3	26											
																		532	53	532	532	532	532	53	93	93	
																		6,3	26	6,3	6,3	6,3	6,3	26	21	21	
932																			53	532	532	532	532	53	93	93	
1,03																		26	6,3	6,3	6,3	6,3	26	21	21		
932	932																			532	532	532	532	53	93	93	
1,03	1,03																			6,3	6,3	6,3	6,3	26	21	21	
932	932	932																			532	532	532	53	93	93	
1,03	1,03	1,03																			6,3	6,3	6,3	26	21	21	
932	932	932	932	932																		532	532	53	93	93	
1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03																	6,3	6,3	26	21	21	
932	932	932	932	932	932	932																	532	53	93	93	
1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03																	6,3	26	21	21	
932	932	932	932	932	932	932	932																	53	93	93	
1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03																	26	21	21	
932	932	932	932	932	932	932	932	932																	93	93	
1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03																		21	21	
932	932	932	932	932	932	932	932	932																		93	
1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03	1,03																			21

Fuente: Autor (Concesión vial Mesa de Los Santos- Construvicol S.A. Vigencia 2017)

Para las 2 pm	0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0 0	≥ 4
Para las 3 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0 0	≥ 4
Para las 4 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0 0	≥ 4
Para las 5 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0 0	≥ 4
Para las 6 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	≥ 4
Para las 7 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0 0	≥ 4
Para las 8 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0 0	≥ 4
Para las 9 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1 0 0	≥ 2
Para las 10 pm	0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1 1	≥ 2
Para las 11 pm	1 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 1 1 1 1 1	≥ 2

Fuente: Autor

8.6.2.1 Notación canónica del problema de asignación de personal

Ecuación 45. Variable de decisión:

x_i : número de empleados asignados por hora i de inicio del turno , ($i: 1,2,3,4 \dots 24$)

Ecuación 46. Función Objetivo

$$\begin{aligned}
 \text{Min } Z = & 71905.08x_1 + 67910.35x_2 + 63915.62x_3 + 59920.89x_4 + 55926.16x_5 \\
 & + 51931.43x_6 + 47936.7x_7 + 47936.7x_8 + 47936.7x_9 + 47936.7x_{10} \\
 & + 47936.7x_{11} + 47936.7x_{12} + 47936.7x_{13} + 47936.7x_{14} \\
 & + 51931.43x_{15} + 55926.16x_{16} + 59920.89x_{17} + 63915.62x_{18} \\
 & + 67910.35x_{19} + 71905.08x_{20} + 75899.81x_{21} + 79894.54x_{22} \\
 & + 83889.27x_{23} + 83889.27x_{24}
 \end{aligned}$$

Sujeto a las siguientes restricciones

$$\text{Ecuación 47. } x_1 + x_2 + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 48. } x_1 + x_2 + x_3 + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 49. } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 50. } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 51. } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 52. } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 53. } x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 \geq 2$$

$$\text{Ecuación 54. } x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 \geq 2$$

$$\text{Ecuación 55. } x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 56. } x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 57. } x_5 + x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 58. } x_6 + x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 59. } x_7 + x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 60. } x_8 + x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 61. } x_9 + x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 62. } x_{10} + x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 63. } x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 64. } x_{12} + x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 65. } x_{13} + x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 66. } x_{14} + x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 67. } x_{15} + x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} \geq 4$$

$$\text{Ecuación 68. } x_{16} + x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 69. } x_{17} + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 70. } x_1 + x_{18} + x_{19} + x_{20} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{24} \geq 2$$

$$\text{Ecuación 71. } x_1, x_2, x_3 \geq 0 \text{ No negatividad}$$

8.6.2.2 Resultados asignación de personal Alternativo

Según dicho planteamiento y lo encontrado a través de la ejecución del modelado en el software R se encuentra que este planteamiento alternativo un costo estimado de \$463388,2 pesos , es decir, \$58589 pesos más con respecto al planteamiento actual que tiene la concesión vial para la asignación de personal; según dicha flexibilización de horarios de entrada contemplando 24 posibilidades (24 horas del día) las horas apropiadas para el ingreso de trabajadores serían dos (2) personas a las 5:00 a.m., dos (2) personas a la 1:00 p.m., dos (2) personas a las 2:00 p.m. y dos (2) personas a las

9:00 p.m. Turnos de trabajo óptimas para el ingreso de trabajadores al sistema. (ver ilustración 41)

```
> solucion$objval
[1] 463388.2
> solucion$solution
[1] 0 0 0 0 0 2 0 0 0 0 0 0 0 2 2 0 0 0 0 0 0 2 0 0
```

Ilustración 41. *Resultados asignación de personal alternativo*

Fuente: Autor (Software R)

Capítulo 9

Conclusiones y Recomendaciones

9.1 Conclusiones

- ❖ A través del estudio de tiempos se determinó que las tasas actuales de servicio y de llegada de vehículos al peaje de La Mesa de Los Santos, Santander en hora pico corresponden a un estimado de siete (7) y ocho (8) vehículos respectivamente.

- ❖ Dado el análisis operativo de las condiciones actuales del sistema y simulando dichas condiciones en el software Arena, se pudo tener un acercamiento a la situación real de congestionamiento en la que se estima que alrededor de 80 vehículos quedan represados por hora y que dicha cola representa una distancia superior a los 400 metros teniendo que las longitudes de un vehículo a otro puede variar y la distancia que se debe conservar entre un vehículo y otro, en consecuencia, dado en promedio un vehículo puede tardar hasta 7,8 minutos dentro del sistema (entendiéndose por sistema desde el punto en que sobre la vía principal se abren los dos carriles de entrada a la caseta de cobro hasta el final de este), recorrer un kilómetro en dicho trancón implicaría tardar hasta 2 horas en línea de espera, cabe notar, que dicha extensión de la fila se evidencia sobre la vía principal en la que también entra vehículos que desplazan de una vereda a otra sin siquiera tener que pasar por el peaje y que por ser la única ruta de acceso principal

- a la mesa deben usar por tanto en hora pico, quedan también represados. De ahí que en noticias se hallan reportado hasta 750 vehículos en espera y filas de más de 5 kilómetros de longitud cuando ya la capacidad del sistema se ha desbordado.
- ❖ Se modeló a través del software R, los diferentes escenarios para análisis de líneas de espera, se determinó que se debería contar con mínimo 4 canales de atención, de tal manera que se estableció que cuatro (4) canales en serie en los dos carriles habilitados serían la solución más factible e ideal para mitigar la problemática de congestiónamiento.
 - ❖ Se planteó como alternativa de mejora la flexibilización de horarios de trabajo para los cobradores cumpliendo la jornada de 8 horas contemplando cualquier hora del día para su ingreso, lo que representaría \$58589 pesos más con respecto a la asignación de personal vigente, pasando así de 3 a 4 turnos de trabajo cubriendo con ello la apertura del número recomendado de canales de atención.
 - ❖ Se estableció que operaciones como el cobro de tarifa especial de manera rudimentaria es un factor que incide notablemente en el congestiónamiento por lo cual se sugiere la implementación de un sistema de recaudo electrónico vehicular REV que permita un crecimiento competitivo y unas operaciones del peaje mucho

más eficientes, se recomienda la implementación del sistema de cobro electrónico por lector de placas o mediante tarjeta magnética recargable.

- ❖ Otro factor incidente en los problemas de largas colas es la falta de conciencia social de llevar a la mano la tarifa a pagar, por lo que se agregan segundos precitados de espera, se sugiere llevar a cabo una campaña de socialización de tarifas y de conciencia social al respecto para que tanto operarios como usuarios contribuyan a agilizar el servicio.

9.2 Recomendaciones

- ❖ Se recomienda a la Concesión vial de Construvicol en lo posible la implementación de las alternativas de mejora aquí sugeridas, ya que esto significará un impacto positivo para si mismo sistema, y para la región como tal.
- ❖ Se sugiere realizar campaña social sobre la importancia de llevar a la mano la suma a pagar en el peaje para evitar congestionamientos imprevistos, y aportar con ello en la agilización de las operaciones.
- ❖ Para futuros estudios se recomienda tener un grupo de apoyo en cuanto al trabajo de campo que permita ser más eficientes en el registro de datos y con ello facilitar los posteriores análisis.

Lista de Referencias

A.2010.*Tecnología líder en simulación, Arena.* Tomado de:
<http://simuladorarena.blogspot.com.co/>

Acosta A. J. 2015. *Notas de Clase, Métodos de Optimización. Introducción a la Programación Lineal.* Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga.

Acosta A. J. 2015. *Notas de Clase, Métodos de Optimización. Método Simplex.* Universidad Pontificia Bolivariana. Bucaramanga.

Alcaldía de Los Santos – Santander, s.f. *Los Santos Con Agua Crece 2016-2019, Nuestro Municipio.* Tomado de: http://www.lossantos-santander.gov.co/informacion_general.shtml#

Alcaldía de Los Santos, Santander. 2 agosto 2017. *Nuestro municipio, indicadores.* Tomado de: <http://www.lossantos-santander.gov.co/indicadores.shtml>

Anderson D & Sweeney D., 2011. *Métodos cuantitativos para los negocios.* Cap. 15. 11^a Ed. México. Tomado de:
<https://simulacionunaulablog.files.wordpress.com/2016/09/metodos-cuantitativos-para-los-negocios-anderson-11th.pdf>

Angel, Vila et al. s.f. *La distribución normal*. UOC. Tomado de:
https://www.uoc.edu/in3/emath/docs/Distrib_Normal.pdf

Aquilano et al. 2009. *Administración de operaciones, producción y cadena de suministros*. McGraw Hill/ interamericana editores, S.A de C.V, XII edición. México.

Aquilano, Nicholas J. Chase, Richard B. Jacobs, F. Robert, 2005. *Administración de la Producción y Operaciones para una Ventaja Competitiva*. McGraw-Hill, México.

Aquilano, Nicholas J. Chase, Richard B. Jacobs, F. Robert, 2009. *Administración de operaciones: Producción y Cadena de suministros*. 12a Ed, McGraw-Hill, México.

Aventure Colombia. 2013. *Mesa de Los Santos*. Tomado de:
<http://aventurecolombia.com/es/destino/mesa-de-los-santos>

Ayuga T. E. s.f. *Investigación operativa en ingeniería, Concepto, historia y Métodos de Investigación de Operaciones*. Tomado de: http://ocw.upm.es/estadistica-e-investigacion-operativa/tecnicas-de-investigacion-operativa-en-ingenieria/Contenido/Materiales/eat_tema-1_io_rev

Azarang M. & García E. s.f. *Simulación y análisis de modelos estocásticos*. Mc. Graw Hill. México.

Belegundu, Ashok D. Chandrupatla, Tirupathi R. 2011. *Optimization concepts and applications in engineering*. 2nd ed. Cambridge University Press, New York.

Bonini, Hausman & Bierman. 2000. *Análisis cuantitativo para los negocios*. McGraw Hill, Colombia.

Cabrera O.W. 1958. *La Mesa de Los Santos*. Geográfica de Colombia, Academia Santandereana de la historia. Tomado de: http://sogeocol.edu.co/documentos/058_la_mesa_de_los_san.pdf

Canales, Escobar et al. 2010. *Tamaño de Muestra, Estadística Inferencial*. Facultad de Administración turística, Universidad Veracruzana. Tomado de: <https://es.slideshare.net/guest8a3c19/tamao-de-la-muestra-4141371>

Caracol Radio, 2017. *Con dificultades bajan de la Mesa de los Santos al final del puente festivo*. Tomado de: http://caracol.com.co/emisora/2017/03/21/bucaramanga/1490052459_339549.html

Castro A.A. 2016. *Aún no hay solución a los trancones en peaje a la Mesa de los Santos*. Tomado de: <http://www.vanguardia.com/area-metropolitana/piedecuesta/377431-aun-no-hay-solucion-a-los-trancones-en-peaje-a-la-mesa-de-los->

El tiempo, 2005. *Colombia estrenaría el pago de peajes con la tarjeta electrónica.*

Tomado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/MAM-1626748>

El tiempo, 2017. *Sistemas start/stop, sí ahorran combustible.* Tomado de:
<http://www.motor.com.co/actualidad/tecnologia/sistemas-start-stop-ahorran-combustible/27178>

Esquema de ordenamiento territorial Municipio de Los Santos Santander. s.f. *Documento de Diagnóstico, componente social.* Tomado de: http://lossantos-santander.gov.co/apc-aa-files/38366633363761366233646564663361/1_Demografia__org._social.pdf

Facultad de Ingeniería s.f. *Estudio del Trabajo.* UNAM

Fernández C. 2014. El tiempo. *Esto causa los trancones en su organismo, de la cabeza a los pies.* Tomado de: <http://www.eltiempo.com/archivo/documento/CMS-13988619>

Gómez R., O. 2004. *Fundamentos matemáticos del método simplex.* Fundación universitaria Konrad Lorenz. Tomado de:

http://www.konradlorenz.edu.co/images/stories/suma_digital_matematicas/Metodo%20simplex.pdf

Hillier F. & Lieberman G. 2010. *Introduction to Operations Research*. Ed. 9. McGraw-Hill, Boston.

Hillier, S. & Lieberman, G. 2010. *Introducción a la programación lineal. Introducción a la Investigación de Operaciones*, Cap. 3. McGraw-Hill/Inter Americana Editores. México. Tomado de: http://metabase.uaem.mx/bitstream/handle/123456789/1496/282_3.pdf?sequence=1

Jácome C.R. s.f. *Talleres a desarrollar en Informática para Ingenieros*. Universidad Pontificia Bolivariana, Bucaramanga.

Kleinrock, Leonard, Gail, Richard. 1996. *Queueing Systems: Problems and solutions*. John Wiley & Sons, New York.

León M. 2016. *Apuntes de Clase Investigación de Operaciones*. Universidad Pontificia Bolivariana, Seccional Bucaramanga.

Lieberman, Hillier. 2001 *Introduction to operations research*. 7th.ed, McGraw-Hill, Boston.

López R. D, s.f. *El método Húngaro de Asignación: Aplicaciones*. Universidad de Sevilla. España. Tomado de:
<https://idus.us.es/xmlui/bitstream/handle/11441/43823/L%C3%B3pez%20Reyes%2C%20Danae.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Machuca, González et al., 1995. *Dirección de operaciones, aspectos tácticos y operativos en la producción y los servicios*. McGraw Hill; España.

Martínez B. C. 2005. *Estadística y Muestreo*. 12 ed. Ecoediciones. Bogotá

Mathur K & Solow D. 1996. *El arte de tomar decisiones, Investigación de operaciones*. Universidad de Case Western Reserve. Prentice- Hall. Hispanoamericana S.A. México

Meredith, Jack R. 1999. *Administración de las operaciones: Un énfasis conceptual*. 2a. ed, Limusa, México.

Montufar Benítez, Marco A., [et al.]. 2009. *Investigación de operaciones*. Grupo Editorial Patria. México.

Nahmias, S. 1999. *Análisis de la producción y las operaciones*. Santa Clara University; Continental, México

Nahmias, Steven, 2007. *Análisis de la producción y las operaciones*. 5a.ed, McGraw-Hill, México.

Ojeda V. 2012. *Programación lineal para la asignación de personal a horarios de trabajo: El caso de una empresa de atención telefónica en México*. Universidad Nacional Autónoma de México.

Página Oficial Facilpass, 2015. *Solución pago de peajes*. Tomado de: <http://www.facilpass.com/pagfacilpass>

Página oficial R. 1 de agosto de 2017. *Acerca de R*. Tomado de: <https://www.r-project.org/about.html>

Paradis E. 2002. *R para principiantes*, Institut des Sciences de l'Évolution, Université Montpellier II, France.

Pastrana M. s.f. *El modelo de transporte y sus aplicaciones en la Ingeniería Industrial*. Asignación. Cap. 3. Tomado de: <https://pastranamoreno.files.wordpress.com/2012/10/hungaro.pdf>

Plan de Ordenamiento territorial del Municipio de Bucaramanga. s.f. *Diagnóstico dimensión social, Aspectos demográficos.* Tomado de: <http://unicesar.ambientalex.info/infoCT/POTbucaramanga2.pdf>

Rader, David J. 2010. *Deterministic operations research: models and methods in linear optimization.* John Wiley & Sons, New Jersey.

Raúl, 2012. *Las emisiones contaminantes de los coches.* Tomado de: <https://twenergy.com/a/las-emisiones-contaminantes-de-los-coches-605>

Render, Hanna at el. 2006. *Métodos cuantitativos para los Negocios.* Pearson educación; México

Rivera A., Salcedo G at el. s.f. *Estudio de métodos y tiempos, Ingeniería del trabajo.* Unexpo

Singer at el, 2008. *Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios.* Revista ABANTE, VOL: 11, N°2. Tomado de: <https://www.google.com.co/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=1&ved=0ahUKEwins4uLqbLWAhUDKyYKHdBIDpkQFggkMAA&url=http%3A%2F%2Feacc10.puc.cl%2Ffiles%2FABT%2FContenidos%2FVol-11-N2%2FSinger.pdf&usg=AFQjCNFzBPMcSDca8HTDqX90QvOWykQufQ>

Singer et al. 2008. *Una introducción a la teoría de colas aplicada a la gestión de servicios*. Revista ABANTE, VOL. 11, N° 2. Tomado de:
<http://eds.a.ebscohost.com/consultaremota.upb.edu.co/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=1&sid=4737457b-8f0f-4608-94ce-491e287ffca0%40sessionmgr4006>

Spíndola R; M. & Grisales J., 2000. *Ingeniería de tránsito, fundamentos y aplicaciones*. Universidad del Valle. Alfa y omega. Colombia

Taha A., H., 2012. *Investigación de Operaciones*. Ed 9. Pearson Educación, México.
Tomado de:
<http://gfebres.net/Downloads/eCourses/Docs/2012.Taha.InvestigacionDeOperaciones9naEdicion.pdf>

TAHA, H 1998, *Investigación de operaciones una introducción*, Prentice Hall, México.

Tarifa E. s.f. *Teoría de Modelos de simulación*. Facultad de Ingeniería - Universidad Nacional de Jujuy.

Universidad de Talca, s.f. *Capítulo 2: Muestreo*. Chile. Tomado de:
<http://dta.otalca.cl/estadistica/ejercicios/recoger/Muestro/muestreo.pdf>

Ustate E. (2007) *Estudio de métodos y tiempos en la planta de producción de la empresa Metales y Derivados S. A.* Universidad Nacional de Colombia, Medellín.

Vázquez P.R. s.f. *Introducción a la optimización.* Tomado de:
http://www.rvazquez.org/Misitio/Materialia2_files/objetodeestudio1ia2.pdf

Velandia R.G. (2016). *Boletín técnico N° 2, Turismo receptor.* Sistema de información Turística de Santander. Tomado de:
http://sitursantander.co/cdn/_ts_1480969656000/shareppy/sitursantander/pdfs/receptor/BoletinNo2.pdf

Anexos

Anexo 1. Muestreo trabajo de campo I (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1	5,53	11,88
2	10,1	6,31
3	4,26	13,06
4	5,96	5,04
5	6,6	16,37
6	6,03	10,84
7	8,88	19,59
8	20,77	6,86
9	11,2	8,61
10	7,56	30,06
11	9,19	6,71
12	7,03	8,85
13	5,16	12
14	5,36	9,69
15	7,89	8,37
16	2,34	4,91
17	14,57	7,77
18	6,32	6,86
19	11,77	9,48
20	10,6	8,15
21	7,26	5,87
22	2,34	15,28
23	5,24	4,33
24	1,02	3,6
25	5,99	6,14
26	6,97	6,02
27	5,62	6,35
28	6,91	6,26
29	6,88	9,91
30	7,72	8,52
31	4,51	13,16
32	6,92	6,28
33	7,28	20,37
34	9,37	6,58

35	5,68	4,33
36	4,59	4,31
37	3,48	5,11
38	5,03	4,13
39	6,43	3,02
40	10,43	3,42
41	6,15	9,58
42	8,33	5,23
43	5,02	7,95
44	5,6	22,48
45	7,87	11,8
46	5,53	7,25
47	2,56	7,25
48	5,5	4,1
49	4,77	6,67
50	6,85	18,46
51	7,26	6,43
52	6,34	7,35
53	5,33	4,47
54	3,6	27,2
55	7,64	4,69
56	5,62	18,79
57	6,57	21,94
58	7,88	24,6
59	7,97	41,34
60	5,9	11,92
61	6,57	7,45
62	13,11	13,74
63	7,99	8,48
64	5,99	6,73
65	7,43	4,09
66	3,99	11,8
67	9,7	10,62
68	4,73	6,33
69	2,82	13,87
70	4,89	4,34
71	9,35	8,04
72	6,16	3,55
73	5,14	12,16

74	9,27	14,44
75	1,6	12,53
76	10,32	12,81
77	5,59	4,48
78	7,67	11,9
79	6,61	10,87
80	4,61	4,53
81	6,43	2,84
82	6,9	5,47
83	5,7	8,43
84	3,29	11,86
85	8,77	6,63
86	3,16	18,42
87	6,99	7,67
88	7,37	4,39
89	5,41	14,37
90	11,54	10,94
91	1,56	13,41
92	9,15	5,51
93	6,74	10,65
94	6,23	6,95
95	5,22	8,13
96	5,3	20,69
97	7,28	23,4
98	6,85	13,01
99	11,61	27,66
100	15,88	3,21
101	5,53	9,74
102	4,21	3,8
103	5,39	3,98
104	5,99	4,78
105	4,4	5,2
106	6,64	12,63
107	4,75	6,34
108	8,67	13,31
109	4,34	28,87
110	4,74	16,12
111	7,38	9,42
112	7,44	10,24

113	5,03	16,24
114	3,51	19,9
115	4,51	7,78
116	7,85	5,59

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 2. Muestreo trabajo de campo II (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
117	3,47	7
118	5,38	8,24
119	5,5	9,34
120	4,31	6,42
121	4,04	7,65
122	7,32	8,38
123	3,3	6,22
124	4,4	7,62
125	5,08	8,3
126	4,57	11,43
127	4,87	17,21
128	6,42	13,79
129	7,32	12,58
130	6,74	7,65
131	6,48	6,33
132	8,63	10,2
133	4,99	8,95
134	3,92	14,34
135	5,07	9,77
136	5,03	8,03
137	5,99	5,85
138	3,15	6,04
139	5,65	7,23
140	5,64	10,19
141	5,06	4,86
142	7,85	9,34
143	4,64	8,3
144	8,82	18,93
145	4,58	12,42
146	5,64	5,71
147	6,89	8,94
148	5,4	6,64
149	4,24	8,71
150	5,47	8,93
151	4,12	6,98
152	8,21	9,38

153	6,47	5,12
154	5,21	8,88
155	3,56	7,09
156	26,68	16,08
157	4,42	8,35
158	6,05	5,05
159	3,48	7,76
160	10,84	5,41
161	9,56	22,95
162	5,3	7,56
163	4,25	8,75
164	7,14	8,25
165	5,68	5,61
166	7,83	7,43
167	8,14	6,83
168	9,79	21,22
169	6,66	6,88
170	7,59	6,87
171	7,37	6,87
172	6,87	9,87
173	3,62	5,99
174	7,62	6,78
175	5,17	4,71
176	4,9	8,48
177	7,97	15,5
178	7,17	6,3
179	4,36	4,62
180	6,89	5,07
181	5,01	9,34
182	3,91	6,03
183	5,56	9,51
184	4,98	6,82
185	6,56	7,65
186	6,87	13,05
187	10,02	12,97
188	6,62	6,18
189	6,77	14,03
190	7,31	22,73
191	7,68	13,58

192	9,97	14,33
193	6,82	12
194	4,55	10,23
195	4,93	28,52
196	5,82	8,15
197	5,47	6,34
198	5,42	6,81
199	6,07	12,08
200	6,28	5,29
201	6,96	6,27
202	3,97	7,15
203	5,56	9,48
204	5,49	4,6
205	8,46	8,56
206	5,9	4,43
207	5,46	20,86
208	4,75	6,39
209	7,01	4,86
210	3,73	5,09
211	6,93	7,78
212	6,06	10,83
213	6,87	16,24
214	6,52	9,97
215	8,24	5,8
216	4,39	39,06
217	4,14	13,13
218	7,67	5,71
219	3,64	7,1
220	11,95	6,82
221	12,03	4,7
222	5,79	7,92
223	13,57	7,33
224	3,62	9,2
225	4,11	3,16
226	5,99	8,92
227	5,21	4,8
228	8,41	52,85
229	5,6	11,61
230	6,43	6

231	15,47	3,76
232	7,98	4,62
233	6,36	5,09
234	4,79	24,04
235	4,6	3,73
236	6,43	23,88
237	6,35	29,55
238	8,65	3,02
239	3,09	5,96
240	13,5	7,42
241	3,1	3,19
242	3,61	4,83
243	21,9	5,2
244	4,05	5,34
245	11,37	17,43
246	6,13	8,43
247	4,14	4,1
248	6,29	5,73
249	5,61	4,17
250	2,94	8,23
251	5,69	8,36
252	6,63	7,47
253	4,3	7,18
254	6,73	22,97
255	5,18	4,52
256	3,66	3,31
257	4,55	3,51
258	6,17	6,79
259	4,09	4,1
260	5,33	3,83
261	3,35	5,07
262	3,98	22,89
263	4,7	9,12
264	5,86	6,09
265	7,4	6,95
266	5,34	22,69
267	4,78	5,9
268	13,22	5,43
269	4,75	10,34

270	3,93	9,87
271	5,98	5,62
272	4,35	3,77
273	3,51	22,3
274	8,63	6,91
275	6,03	11,34
276	7,01	5,17
277	4,26	5,53
278	6,89	7,98
279	5,96	5,82
280	6,67	4,99
281	4,26	6,36
282	5,03	7,33
283	9,12	7,74
284	5,95	8,68
285	5,42	11,11
286	6,39	6,43
287	4,77	6,89
288	5,52	12,07
289	6,38	3,01
290	4,79	3,43
291	8,44	17,01
292	5,5	39,63
293	15,25	4,44
294	5,12	13,91
295	6,05	5,22
296	6,11	3,36
297	6,1	4,86
298	3,62	3,48
299	3,78	4,96
300	9,64	3,65
301	9,9	5,01
302	3,27	3,25
303	3,82	5,14
304	6,16	6,63
305	5,73	20,43
306	2,35	5,35
307	5,03	3,52
308	6,36	4,84

309	4,91	7,28
310	5,59	10,74
311	5,11	5,53
312	6,14	5,49
313	4,06	6,25
314	10,19	13,25
315	4,14	10,92
316	4,93	17,73
317	4	5,57
318	5,21	8,21
319	7,22	6,69
320	6,72	7,83
321	7,17	8
322	4,04	5,57
323	9,09	3,76
324	4,09	10,98
325	7,08	5,48

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 3. Muestreo trabajo de campo III (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
326	25,37	2,11
327	46,43	19,72
328	5,94	9,09
329	6,42	8,59
330	4	11,47
331	4,36	11,56
332	5,08	5,4
333	6,42	8,59
334	13,68	17,07
335	17,81	6,17
336	8,29	7,03
337	12,16	11,49
338	8,59	4,99
339	7,77	5,39
340	4,61	5,13
341	22,57	20,37
342	7,07	6,29
343	4,1	4,65
344	5,34	5,22
345	19,08	29,07
346	8,29	7,45
347	7,97	12,83
348	9,41	4,07
349	6,05	2,18
350	3,58	6,44
351	11,42	2,97
352	4,85	3,96
353	6,65	11,24
354	9,36	3,36
355	6,15	4,56
356	8,43	6,01
357	6,82	10,81
358	7,69	3,8
359	8,46	4,04
360	12,09	3,57
361	3,87	19,5

362	6,36	20,57
363	4,38	6,42
364	7,22	4,78
365	3,17	4,85
366	3,62	4,4
367	5,46	4,14
368	7,34	6,21
369	6,8	2,54
370	49,11	22,11
371	3,87	6,92
372	4,88	4,78
373	4,27	4,73
374	6,74	5,95
375	6,86	3,57
376	8,96	3,87
377	9,91	10,59
378	4,95	4,49
379	4,01	32,47
380	4,12	2,39
381	4,92	3
382	3,95	8,6
383	7,21	4,03
384	4,94	5,07
385	6,82	5,17
386	11,9	9,28
387	5,08	4,82
388	9,84	9,75
389	4,78	5,2
390	3,65	3,92
391	3,91	4,45
392	4,98	2,19
393	5,65	2,62
394	14,16	5,95
395	8,01	9,4
396	9,05	8,78
397	9,22	11,97
398	4,23	4,56
399	9,65	10,99
400	5,94	3,64

401	3,92	5,64
402	4,7	7,07
403	6,32	3,78
404	4,56	4,68
405	4,56	4,68
406	3,87	4,5
407	5,67	14,84
408	5,12	3,77
409	4,29	7,23
410	5,13	5,37
411	4,1	5,9
412	3,35	5,79
413	7,26	10,36
414	7,27	9,05
415	9,13	4,26
416	4,35	3,67
417	4,55	3,79
418	3,17	6,01
419	6,81	13,54
420	12,47	9,42
421	5,43	6,6
422	11,07	3,67
423	18,05	19,27
424	5,35	5,32
425	5,52	4,3
426	4,69	3,11
427	5,79	8,5
428	5,43	1,47
429	6,1	2,89
430	4,73	3,64
431	3,83	6,92
432	7,34	8,12
433	12,91	6,27
434	3,19	10,65
435	9,13	19,64
436	4,41	6,78
437	4,84	15,44
438	8,01	6,77
439	5,8	6,64

440	4,89	4,62
441	3,53	3,33
442	3,54	19,49
443	5,05	4,87
444	5,17	4,76
445	5,64	4,52
446	4,82	26,9
447	5,43	3,41
448	5,44	4,05
449	2,95	5,19
450	9,96	16,16
451	8,07	8,47
452	9,64	6,91
453	5,25	14,8
454	7,4	6,03
455	7,65	16,69
456	5,34	4,45
457	5,73	3,75
458	9,19	7,71
459	4,57	9,05
460	6,34	3,86
461	7,31	20,9
462	9,41	5,58
463	3,86	11,65
464	52,7	5,67
465	3,62	17,91
466	5,21	9,84
467	8,2	30,73
468	7,07	6,25
469	4,06	7
470	31,51	6,31
471	5,03	3,44
472	4,08	3,26
473	4,81	30,1
474	4,55	5,01
475	13,73	6,86
476	6,22	6,94
477	14,32	4,46
478	4,68	3,64

479	6,05	22,22
480	6,45	6,02
481	7,35	9,5
482	6,47	28,51
483	5,66	6,6
484	4,99	6,91
485	5,65	7,59
486	4,21	5,77
487	6,83	4,96
488	3,56	3,87
489	4,59	3,93
490	3,88	9,57
491	7,62	6,05
492	9,94	5,85
493	6,16	5,75
494	6,34	5,6
495	5,31	6,6
496	3,7	5,92
497	4,27	4,43
498	3,97	6,07
499	4,12	3,26
500	3,74	5
501	8,68	13,59
502	7,03	4,14
503	6	7,51
504	5,85	9,32
505	5,53	4,95
506	5,41	20,69
507	4,16	6,24
508	6,18	4,05
509	5,57	5,09
510	5,61	7,9
511	5,1	3,56
512	6,03	7,9
513	7,18	9,54
514	3,4	9,89
515	5,93	8,41
516	5,84	34,7
517	5,23	7,07

518	6,58	11,99
519	4,13	4,22
520	3,43	5,37
521	3,54	6,22
522	4,98	28,5
523	2,73	13,4
524	5,78	20,9
525	3,01	19,2

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 4. Muestreo trabajo de campo IV (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
526	6,56	9,43
527	10,96	8,1
528	54,69	10,44
529	5,64	8,69
530	6,18	11,95
531	6,22	5,97
532	3,31	15,76
533	5,85	8,29
534	5,41	7,48
535	4,92	18,47
536	6,99	11,79
537	7,09	13,31
538	3,35	3,53
539	6,06	4,71
540	5,82	4,62
541	4,63	4,34
542	4,75	3,62
543	3,2	3,4
544	3,33	3,63
545	4,37	3,82
546	5,27	4,22
547	4,8	11,08
548	5,9	3,87
549	5,04	4,51
550	3,93	4,1
551	3,15	4,22
552	5,52	6,45
553	6,81	5,73
554	6,71	5,65
555	5,61	14,6
556	5,64	7,96
557	3,23	12,33
558	15,46	35,15
559	8,32	9,05
560	3,71	13,84
561	7,88	14,88

562	7,52	11,74
563	6,91	5,59
564	4,79	10,21
565	2,35	8,86
566	5,58	8,64
567	6,85	8,27
568	6,66	10,2
569	4,05	27,23
570	6,88	7,04
571	5,51	9,56
572	4,9	5,25
573	4,15	8,78
574	6,04	13,16
575	7,01	9,56
576	4,88	10,93
577	4,82	4,97
578	4,79	9,91
579	6,09	10,09
580	10,71	17,64
581	2,35	10,97
582	4,69	5,06
583	4,62	11,55
584	5,5	7,07
585	6,18	5,92
586	5,97	4,47
587	4,08	4,53
588	5,46	7,95
589	10,2	10,13
590	3,1	5,47
591	9,09	9,71
592	4,41	12,01
593	10,25	7,65
594	3,31	8,78
595	5,95	4,08
596	3,66	6,95
597	6,21	15,73
598	7,23	8,1
599	9,33	12,02
600	6,42	14,91

601	5,51	5,81
602	10,25	4,85
603	5,41	5,99
604	6,46	4,32
605	6	12,99
606	13,68	12,22
607	8,62	6,65
608	11,2	6,34
609	4,14	7,42
610	5,95	10,43
611	12,3	14,34
612	8,96	4,07
613	13	14,38
614	4,78	11,62
615	18,42	15,48
616	46,81	20,19
617	13,58	18,55
618	3,07	2,65
619	3,08	5,87
620	9,38	8,02
621	6,79	10,09
622	4,99	6,76
623	4,49	5,83
624	4,01	4,58
625	4,44	3,74
626	3,64	8,01
627	5,75	4,11
628	3,92	4
629	8,56	4,07
630	5,99	4,23
631	4,49	24,44
632	8,15	5,54
633	5,39	2,35
634	5,63	1,81
635	4,99	4,51
636	4,72	5,99
637	6,23	21,12
638	6,97	9
639	4,21	4,23

640	3,74	7,05
641	7,92	15,69
642	6,08	4,6
643	4,56	5,18
644	5,39	5,49
645	2,61	10,32
646	7,84	15,23
647	3,55	3,51
648	2,97	5,29
649	3,53	5,15
650	4,62	6,72
651	3,97	4,07
652	5,8	4,96
653	4,62	3,72
654	5,31	10,33
655	5,45	5,45
656	6,91	2,57
657	3,65	8,74
658	25,01	3,8
659	4,47	8,92
660	9,88	4,45
661	3,83	7,1
662	8,17	2,1
663	7,3	1,57
664	4,69	2,15
665	4,91	2,57
666	9,21	3,87
667	3,33	8,44
668	4,66	10,14
669	6,15	8,34
670	6,2	7,18
671	3,56	5,52
672	3,79	12,83
673	5,83	5,55
674	3,45	5,14
675	3,9	4,18
676	6,92	7,11
677	4,69	7,38
678	4,23	14,4

679	7,59	4,3
680	3,57	8,01
681	5,28	7,64
682	6,95	4,49
683	4,52	4,55
684	4,18	1,89
685	7,85	6,35
686	4,91	35,03
687	4,84	5,04
688	5,21	5,83
689	5,91	3,44
690	6,3	5,81
691	7,84	8,08
692	6,83	4,22
693	5,23	3,43
694	4,45	3,43
695	4,35	8,23
696	5,59	5,6
697	3,81	6,87
698	5,94	5,79
699	4,82	4,97
700	3,69	5,85
701	3,69	5,37
702	5,41	5,93
703	8,84	7,63
704	3,5	4,53
705	6,79	10,82
706	5,47	6,4
707	4,93	4,71
708	6,46	4,66
709	5,46	4,97
710	4,28	6,36
711	4,16	4,8
712	6,51	3,85
713	4,56	7,3
714	5,97	11,38
715	6,94	22,91
716	5,94	18,74
717	8,84	8,97

718	6,16	11,17
719	5,3	4,52
720	7,57	7,86
721	7,6	24,46
722	6,6	6,01
723	3,95	10,31
724	5,08	4,37
725	7,32	4,53

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 5. Muestreo trabajo de campo V (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
726	5,1	3,64
727	16,18	7,74
728	8,66	5,33
729	5,38	28,18
730	4,55	7,15
731	7,98	6,2
732	6,25	4,77
733	5,19	5,65
734	5,53	12,12
735	9,57	9,76
736	10,62	24,15
737	7,23	4,67
738	6,59	9,22
739	7,99	3,6
740	3,82	6,36
741	6,16	4,48
742	9,03	3,49
743	4,27	13,28
744	6,91	3,02
745	7,55	4,04
746	5,83	4,43
747	5,86	4,74
748	3,59	6,04
749	8,21	5,72
750	8	3,17
751	4,63	5,35
752	11,76	21,52
753	5,86	7,38
754	5,4	5,68
755	10,44	4,48
756	16,78	4,92
757	6,31	9,07
758	5,25	19,87
759	4,86	5,09
760	56,59	4,52
761	5,22	3,29

762	4,61	4,4
763	12,85	5,34
764	5,48	10,75
765	8,74	10,04
766	8,35	12
767	10,54	6,38
768	4,54	6,15
769	5,72	6,78
770	2,99	6,56
771	4,2	8,51
772	5,47	17,74
773	6,39	2,96
774	6,68	6,33
775	5,68	20,44
776	5,55	6,07
777	6,27	3,44
778	3,17	14,53
779	6,78	6,39
780	5,75	8,55
781	8,04	7,65
782	7,18	2,09
783	5,92	4,25
784	2,79	7,79
785	5,19	6,41
786	5,08	6,92
787	6,05	52,53
788	6,26	7,5
789	9,87	5,52
790	4,44	5,86
791	5,11	4,66
792	5,54	4,63
793	6,54	7,25
794	7,33	4,32
795	5,83	21,44
796	5,07	3,78
797	3,55	5,37
798	3,92	20,06
799	4	3,64
800	5,7	4,87

801	3,05	3,56
802	3,66	5,6
803	6,33	5,3
804	7,75	5,69
805	4,66	8,15
806	4,97	4,25
807	3,92	36,15
808	4,08	3,41
809	7,86	33,76
810	6,08	6,85
811	6	6,38
812	7,58	11,83
813	8,2	20,04
814	7,34	4,3
815	3,98	6,87
816	5,21	14,1
817	4,13	4,28
818	5,11	4,48
819	5,64	6,04
820	8,56	4,06
821	1,62	6,83
822	5,09	4,84
823	5,07	4,92
824	4,78	5,61
825	7,46	11,05
826	5,98	9,09
827	5,2	6,99
828	6,35	10,21
829	7,82	11,05
830	6,31	7,13
831	7,15	18,35
832	5,99	9,03
833	6,64	9,92
834	5,98	22,37
835	8,59	7,97
836	8,98	8,77
837	7,89	11,25
838	4,99	5,27
839	6,38	13,11

840	9,18	6,51
841	6,34	3,82
842	5,89	4,51
843	10,45	40,14
844	5,81	5,31
845	5,28	8,99
846	8,4	6,15
847	4,47	5,87
848	3,51	6,04
849	5,08	6,34
850	3,59	5,6
851	4,06	5,81
852	4,34	5,73
853	5,31	3,6
854	3,56	14,68
855	10,39	7,26
856	7,01	3,91
857	7,21	17,3
858	36,4	5,12
859	4,17	5,43
860	5,87	4,01
861	6,17	3,06
862	7,33	6,04
863	8,13	5,31
864	4,14	10,71
865	5,78	5,33
866	3,57	6,3
867	5,32	12,45
868	16,38	17,95
869	5,44	7
870	6,21	5,33
871	5,31	5,37
872	4,9	3,25
873	2,93	6,13
874	6,96	3,43
875	5,04	11,08
876	4,99	5,14
877	5,75	6,51
878	5,27	8,97

879	6,61	4,33
880	5,96	8,72
881	4,91	6,56
882	6,17	6,6
883	9,24	5,19
884	5,36	6,57
885	11,87	12,84
886	6,51	8,93
887	5,04	8,52
888	6,87	4,17
889	5,27	5,48
890	4,53	4,04
891	5,52	9,57
892	4,71	5,37
893	5,09	6,54
894	10,4	7,65
895	2,84	6,38
896	4,83	7,59
897	7,05	6,12
898	8,74	8,16
899	6,92	7,48
900	6,11	6,51
901	4,61	10,7
902	4,78	3,57
903	4,37	3,83
904	3,08	4,67
905	4,82	5,1
906	9,64	20,37
907	5,75	8,07
908	3,37	4,61
909	6,72	4,35
910	3,83	7,61
911	7,44	14,25
912	6,57	11,05
913	5,21	11,43
914	5,4	8,66
915	3,25	16,72
916	6,09	10,99
917	10,63	6,13

918	6,12	12,04
919	4,13	8,04
920	7,29	6,85
921	5,03	5,3
922	4,51	6,8
923	5,83	3,91
924	3,53	5,27
925	4,73	4,23

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 6. Muestreo trabajo de campo VI (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
926	4,5	5,49
927	6,25	9,71
928	7,25	4,85
929	3,6	1,81
930	4,4	9
931	7,25	7,86
932	8,28	4,97
933	32,28	8,69
934	5,6	5,83
935	8,13	3,63
936	7,69	10,2
937	10,36	8,78
938	7,52	4,22
939	9,32	13,84
940	25,4	8,29
941	8,6	4,18
942	5,67	4,51
943	8,76	8,78
944	6,43	5,15
945	9,2	10,44
946	5,12	5,83
947	6,14	3,53
948	17,87	2,65
949	4,63	6,36
950	7,36	5,59
951	9,35	12,02
952	9,45	4,22
953	3,96	3,87
954	4,78	12,99
955	7,69	8,01
956	5,12	14,38
957	8,31	8,86
958	4,68	14,34
959	4	5,87
960	3,8	6,72
961	10,98	15,69

962	5,16	4,52
963	7,12	7,95
964	8,98	5,29
965	4,62	3,8
966	25,65	3,87
967	6,35	15,48
968	4,6	4,34
969	4,98	2,1
970	5,32	5,97
971	7,46	1,81
972	4,82	8,08
973	9,36	14,38
974	4,25	4,58
975	4,87	3,53
976	4,98	4,53
977	6,18	7,63
978	15,69	2,1
979	9	3,87
980	6,24	8,29
981	4,36	6,01
982	7,15	1,81
983	9,15	6,76
984	34,8	8,01
985	4,36	9,05
986	6,18	5,49
987	5,32	4,55
988	7,49	8,1
989	9	3,85
990	3,98	4,18
991	7,21	12,33
992	9,45	4,08
993	6,4	7,86
994	6,64	10,14
995	7,98	5,52
996	10,46	10,32
997	4,32	12,01
998	5,68	5,73
999	7,64	5,65
1000	4,8	12,83

1001	15,71	15,73
1002	6,225	5,85
1003	5,75	4,58
1004	9,45	5,65
1005	7,99	18,74
1006	6,57	4,62
1007	3,76	4,23
1008	9,78	3,43
1009	13,33	5,25
1010	5,61	10,32
1011	7,62	7,1
1012	5	10,2
1013	5,76	15,76
1014	9,13	7,95
1015	5,21	13,31
1016	6,41	10,21
1017	9	10,97
1018	24	4,22
1019	7,44	17,64
1020	3,28	24,46
1021	7,36	13,31
1022	4,25	5,25
1023	8,49	7,63
1024	13,68	5,65
1025	5,64	8,64
1026	7,65	18,55
1027	18,6	7,96
1028	8,23	7,38
1029	4,63	5,06
1030	8,63	4,07
1031	5,34	5,25
1032	5,44	7,1
1033	7,89	8,08
1034	15,19	7,65
1035	6,58	18,47
1036	5,41	8,29
1037	7,71	5,47
1038	9,21	14,88
1039	4,82	8,08

1040	7,89	8,74
1041	3,9	5,14
1042	4,56	5,87
1043	8,47	6,4
1044	8,98	5,14
1045	9	5,29
1046	5,2	9,05
1047	12,33	15,48
1048	8,72	5,49
1049	6,49	15,23
1050	9,48	7,95
1051	3,76	6,45
1052	5,42	12,99
1053	4,63	5,59
1054	6,12	12,83
1055	8,63	10,09
1056	48,95	10,32
1057	16,35	5,87
1058	12	6,76
1059	7,8	5,04
1060	4,56	35,03
1061	8,16	12,22
1062	9,37	4,22
1063	4,62	1,89
1064	9,65	7,42
1065	7,23	24,9
1066	3,56	7,86
1067	7,58	15,32
1068	4,69	8,33
1069	4,87	8,01
1070	4	8,23
1071	5,98	3,72
1072	9,48	7,38
1073	7,68	4,97
1074	15,9	3,62
1075	5,7	4,11
1076	6,4	3,87
1077	17,98	8,27
1078	4,56	7,63

1079	7,84	4,97
1080	3,78	5,06
1081	4,21	4,97
1082	6,41	10,32
1083	6,38	7,48
1084	6,47	8,44
1085	5,29	6,95
1086	7,25	4,6
1087	8,48	5,65
1088	9,32	8,78
1089	7,25	8,74
1090	5,15	4,23
1091	5,64	7,38
1092	7,48	8,69
1093	5,82	8,74
1094	5,36	4,53
1095	5,3	5,65
1096	6,97	3,87
1097	16,98	3,53
1098	7,5	8,08
1099	4,6	3,85
1100	4,98	9,43
1101	6,79	14,4
1102	8,49	4,52
1103	5,92	4,52
1104	4,38	11,79
1105	6,77	6,36
1106	9,58	7,3
1107	7,54	7,1
1108	6,24	15,48
1109	8,15	6,76
1110	4,19	10,21
1111	6,78	4,07
1112	5,47	6,95
1113	4,98	1,89
1114	7,92	5,47
1115	4,65	9,56
1116	9,12	4,96
1117	5,87	6,76

1118	6,87	20,19
1119	18,97	1,89
1120	15,87	21,12
1121	10,3	14,7
1122	24,98	8,1
1123	5,87	5,14
1124	6,28	6,95
1125	4,72	15,73

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 7. Muestreo trabajo de campo VII (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1126	7,07	6,29
1127	5,46	4,14
1128	3,54	6,22
1129	6,47	28,51
1130	3,87	6,92
1131	6,83	4,96
1132	4,69	3,11
1133	7,97	12,83
1134	4,68	3,64
1135	3,19	10,65
1136	3,87	19,5
1137	7,65	16,69
1138	4	11,47
1139	11,07	3,67
1140	3,43	5,37
1141	6,36	20,57
1142	7,07	6,25
1143	4,1	4,65
1144	5,53	4,95
1145	6,34	5,6
1146	4,13	4,22
1147	9,64	6,91
1148	5,94	9,09
1149	5,1	3,56
1150	4,84	15,44
1151	4,23	4,56
1152	5,65	7,59
1153	5,05	4,87
1154	9,96	16,16
1155	5,67	14,84
1156	3,58	6,44
1157	4,56	4,68
1158	9,13	19,64
1159	5,1	3,56
1160	5,43	3,41
1161	22,57	20,37

1162	7,65	16,69
1163	4,73	3,64
1164	4,85	3,96
1165	5,05	4,87
1166	5,05	4,87
1167	4,57	9,05
1168	3,92	5,64
1169	4,94	5,07
1170	6,36	20,57
1171	5,34	4,45
1172	3,87	19,5
1173	4,27	4,43
1174	7,77	5,39
1175	4,99	6,91
1176	5,53	4,95
1177	9,65	10,99
1178	4,38	6,42
1179	5,13	5,37
1180	3,91	4,45
1181	4,98	3,64
1182	9,41	5,58
1183	19,08	29,07
1184	4,92	8,7
1185	6,18	4,05
1186	6,42	8,59
1187	3,53	3,33
1188	8,96	3,87
1189	17,8	13,23
1190	6,65	11,24
1191	5,94	9,09
1192	3,87	6,92
1193	7,34	6,21
1194	5,08	4,82
1195	9,13	4,26
1196	3,95	8,6
1197	4,56	4,68
1198	7,34	6,21
1199	8,59	4,99
1200	7,34	8,12

1201	4,55	3,79
1202	3,17	4,85
1203	6,05	22,7
1204	5,52	4,3
1205	9,05	8,78
1206	4,27	4,73
1207	8,46	4,04
1208	6,65	11,24
1209	8,29	7,03
1210	8,01	6,77
1211	8,29	7,45
1212	5,08	4,82
1213	5,85	9,32
1214	4,68	3,64
1215	3,56	3,87
1216	3,97	6,07
1217	4,16	6,24
1218	7,22	4,78
1219	4,98	3,64
1220	4,61	5,13
1221	7,22	4,78
1222	7,22	4,78
1223	5,66	6,6
1224	8,43	6,01
1225	7,65	16,69
1226	4,72	4,47
1227	6,3	17,64
1228	3,53	8,27
1229	3,74	1,89
1230	10,71	11,79
1231	5,82	5,14
1232	5,95	5,14
1233	7,23	27,23
1234	3,65	6,72
1235	5,58	1,81
1236	4,18	4,47
1237	5,47	5,73
1238	6,42	3,72
1239	5,52	4,22

1240	46,81	13,31
1241	3,23	8,08
1242	4,9	5,79
1243	5,58	11,79
1244	4,88	5,55
1245	4,05	4,34
1246	4,05	8,69
1247	5,41	10,09
1248	5,95	4,37
1249	8,15	22,91
1250	5,52	7,42
1251	4,75	11,17
1252	7,09	9,05
1253	3,97	5,04
1254	12,3	14
1255	4,84	12,83
1256	6,46	3,4
1257	5,41	2,57
1258	5,41	8,23
1259	7,57	4,18
1260	3,74	5,37
1261	9,21	13,31
1262	3,15	6,65
1263	9,33	7,95
1264	4,56	4,55
1265	7,23	4,51
1266	7,57	7,95
1267	3,07	12,33
1268	6,99	4,85
1269	9,38	5,73
1270	11,2	3,51
1271	6,22	4,58
1272	4,44	2,65
1273	10,25	4,23
1274	9,38	4,1
1275	10,71	8,92
1276	5,95	11,62
1277	6,16	7,3
1278	7,84	8,29

1279	7,85	3,74
1280	7,3	14,6
1281	3,95	1,89
1282	7,6	4,97
1283	7,6	4,07
1284	8,56	7,05
1285	5,94	5,81
1286	6,81	6,72
1287	9,33	2,15
1288	13,68	8,74
1289	6,81	4,52
1290	9,19	10,44
1291	7,32	5,99
1292	6,71	8,01
1293	4,66	15,73
1294	3,95	5,73
1295	8,84	4,34
1296	8,32	6,34
1297	3,07	35,15
1298	5,64	5,99
1299	7,09	8,1
1300	5,85	10,2
1301	5,45	18,74
1302	3,53	8,1
1303	10,71	8,69
1304	5,59	5,04
1305	4,91	6,4
1306	3,83	8,64
1307	9,21	4,96
1308	3,83	4
1309	6,79	4,97
1310	4,16	21,12
1311	4,72	7,95

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 8. Muestreo trabajo de campo VII (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1312	6,54	6,82
1313	7,65	6,34
1314	10,68	6,18
1315	5,89	4,17
1316	7,56	18,93
1317	6,45	39,06
1318	5,87	3,48
1319	8,65	13,05
1320	9,35	8,25
1321	3,87	3,76
1322	9,87	6,39
1323	15,98	6,89
1324	7,55	5,48
1325	5,98	5,62
1326	9,78	17,73
1327	4,56	6,88
1328	9,87	7,47
1329	16,98	4,1
1330	7,98	4,86
1331	5,87	39,06
1332	6,87	8,71
1333	7,31	3,16
1334	5,64	16,24
1335	8,79	3,43
1336	9,45	6,82
1337	9,78	8,3
1338	5,69	5,07
1339	8,76	7,62
1340	9	22,3
1341	6,45	6,88
1342	26,64	7,15
1343	15,78	12,08
1344	8,45	6,27
1345	6,47	6,98
1346	5,49	5,53
1347	6,87	5,62

1348	8,79	7,23
1349	9,48	8,93
1350	7,63	6,64
1351	8,87	5,34
1352	10,68	13,2
1353	6,54	5,12
1354	4,97	7,18
1355	4,33	10,2
1356	8,68	6,43
1357	5,98	14,03
1358	4,68	6,88
1359	9,66	5,48
1360	6,87	5,71
1361	8,45	7,09
1362	9,78	3,76
1363	5,32	9,51
1364	3,68	5,71
1365	4,57	6,22
1366	9,58	7,18
1367	5,47	3,01
1368	8,97	28,52
1369	5,46	22,3
1370	6,78	6,09
1371	6,32	8,75
1372	4,58	17,43
1373	7,25	4,62
1374	5,86	3,16
1375	7,87	9,38
1376	9,48	5,43
1377	8,32	11,34
1378	6,45	9,34
1379	8,75	8,48
1380	5,4	8,71
1381	6,75	16,3
1382	4,98	3,36
1383	7,98	4,44
1384	5,68	22,69
1385	9,64	15,5
1386	8,79	3,43

1387	19,3	9,38
1388	10,87	4,62
1389	9,87	7,65
1390	5,68	22,89
1391	9,47	6,03
1392	11,68	6,25
1393	5,98	6,69
1394	7,57	11,61
1395	8,64	4,6
1396	5,4	6,79
1397	4,67	5,34
1398	6,87	5,82
1399	5,73	5,2
1400	6,74	8,25
1401	6,87	7,76
1402	7,42	5,71
1403	5,87	6,34
1404	7,54	8,38
1405	6,47	3,73
1406	3,18	5,57
1407	9,87	5,35
1408	9,45	11,61
1409	8,75	9,12
1410	5,36	9,34
1411	6,49	5,96
1412	8,57	9,12
1413	7,98	6,48
1414	4,68	5,75
1415	8,69	8,46
1416	4,68	4,65
1417	6,94	7,58
1418	4,98	3,63
1419	5,76	8,01
1420	9,48	18,47
1421	5,64	18,47
1422	8,73	5,25
1423	9,45	13,31
1424	7,64	4,23
1425	8,32	3,63

1426	4,13	10,32
1427	6,45	12,33
1428	8,76	8,1
1429	6,87	8,86
1430	15,48	5,87
1431	6,78	8,78
1432	9,45	5,06
1433	5,46	7,63
1434	5,78	5,34
1435	5,62	3,87
1436	7,94	10,97
1437	8,64	13,84
1438	7,23	7,8
1439	3,77	5,85
1440	7,56	8,78
1441	8,76	3,53
1442	5,67	7,1
1443	7,64	6,76
1444	7,54	4,62
1445	4,95	4,97
1446	6,98	4,22
1447	7,49	4,11
1448	5,94	4,07
1449	5,76	7,95
1450	9,75	5,83
1451	6,74	4,34
1452	8,54	10,32
1453	6,87	6,33
1454	9,48	10,14
1455	5,67	9,56
1456	8,34	4,97
1457	7,64	4,53
1458	5,97	6,6
1459	4,67	7,38
1460	9,48	9,1
1461	15,68	7,95
1462	11,48	6,36
1463	6,97	10,44
1464	4,61	6,36

1465	3,59	5,49
1466	8,45	20,19
1467	7,25	6,01
1468	5,78	5,14
1469	7,64	5,73
1470	8,46	5,87
1471	6,98	3,53
1472	7,54	14,34
1473	4,79	18,74
1474	9,78	4,58
1475	8,45	11,79
1476	5,48	5,87
1477	9,45	4,07
1478	13,75	10,21
1479	8,46	15,48
1480	5,78	8,74
1481	6,78	5,14
1482	5,78	21,2
1483	6,48	14,38
1484	8,49	7,42
1485	5,98	12,29
1486	7,64	37,8
1487	5,87	6,76
1488	8,49	5,83
1489	7,48	3,63
1490	9,48	35,6
1491	8,54	4,11
1492	18	7,63
1493	10,64	12,83
1494	8,47	10,2
1495	4,68	10,14
1496	8,76	5,14
1497	4,98	3,63
1498	6,87	6,72
1499	18,79	8,23
1500	18,64	20,19
1501	5,47	9,56
1502	10,98	12,02
1503	9,48	5,47

1504	8,78	7,96
1505	5,48	8,13
1506	7,64	14,38
1507	8,34	10,32
1508	10,87	18,9
1509	9,48	5,47
1510	7,45	18,9
1511	6,45	7,1
1512	7,89	8,08
1513	9,42	10,2
1514	18,79	9,56
1515	9,78	18,9
1516	6,78	9,05
1517	8,07	4,62
1518	7,98	5,49
1519	4,87	18,47
1520	4,97	6,4
1521	8,97	5,65
1522	9,48	8,64
1523	7,56	5,97
1524	9,48	6,36
1525	7,56	6,4
1526	6,48	12,99
1527	7,54	18,4
1528	6,45	8,29
1529	9,48	5,59
1530	7,58	4,23
1531	4,68	8,29

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 9. Muestreo trabajo de campo IX (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1532	6,87	4,45
1533	7,25	4,99
1534	9,45	6,72
1535	5,45	5,07
1536	10,01	5,37
1537	8,99	8,92
1538	4,94	5,99
1539	5,86	4,22
1540	9,13	35,15
1541	16,74	4,96
1542	6,31	5,6
1543	9,45	14,6
1544	6,81	5,14
1545	7,29	11,79
1546	5,19	3,67
1547	4,79	5,64
1548	5,16	5,04
1549	4,61	7,95
1550	9,87	10,2
1551	7,65	15,73
1552	9,47	8,69
1553	18,76	16,69
1554	10,35	5,73
1555	5,78	4,34
1556	8,32	5,6
1557	8,67	3,74
1558	7,41	5,64
1559	9,87	9,09
1560	7,56	8,27
1561	7,98	12,83
1562	5,64	3,64
1563	28,64	5,04
1564	9,58	6,07
1565	7,49	4,43
1566	5,97	27,23
1567	28,79	6,22

1568	22,64	7,95
1569	15,13	4,14
1570	9,52	1,89
1571	6,14	4,22
1572	8,46	14,84
1573	7,15	5,13
1574	5,49	3,33
1575	6,48	8,01
1576	7,58	10,44
1577	6,17	6,29
1578	7,63	4,07
1579	9,48	3,64
1580	5,55	21,12
1581	5,49	7,03
1582	6,34	4,47
1583	8,25	4,43
1584	4,97	4,78
1585	5,16	3
1586	4,91	4,07
1587	9,38	7,59
1588	8,41	8,6
1589	6,59	1,89
1590	9,78	4,87
1591	4,96	5,37
1592	5,12	11,47
1593	8,49	4,26
1594	15,02	6,44
1595	4,73	28,51
1596	8,49	8,6
1597	11,65	6,92
1598	9,48	4,78
1599	5,72	12,33
1600	8,47	4,78
1601	5,18	2,57
1602	9,87	20,57
1603	6,48	4,96
1604	5,72	10,44
1605	9,15	6,44
1606	4,81	4,58

1607	5,36	5,39
1608	9,78	4,97
1609	4,65	6,4
1610	6,78	5,07
1611	8,48	4,95
1612	7,23	9,05
1613	12,99	6,42
1614	9,54	10,65
1615	8,34	4,78
1616	7,26	12,33
1617	9,48	3,64
1618	6,48	5,73
1619	5,38	16,69
1620	5,76	4,96
1621	6,98	4,99
1622	8,76	28,51
1623	9,45	4,65
1624	8,16	8,69
1625	6,44	8,69
1626	9,85	6,07
1627	6,78	9,32
1628	12,15	8,29
1629	6,98	10,99
1630	4,98	4,87
1631	10,91	4,85
1632	8,97	3,48
1633	6,13	4,33
1634	5,54	3,16
1635	7,69	6,18
1636	9,24	9,77
1637	8,72	5,96
1638	6,48	7,09
1639	7,58	5,43
1640	5,98	9,83
1641	6,42	5,34
1642	9,47	3,74
1643	12	4,77
1644	4,78	8,75
1645	6,15	14,03

1646	9,48	7,47
1647	7,25	5,97
1648	4,65	7,92
1649	9,48	10,98
1650	5,42	25,05
1651	7,64	5,48
1652	8,15	4,62
1653	10,64	5,34
1654	14,6	5,21
1655	7,15	5,09
1656	9,48	8,05
1657	8,54	8,92
1658	8,76	9,77
1659	9,48	10,83
1660	5,12	7,92
1661	6,54	5,21
1662	7,86	6,73
1663	9,48	7,52
1664	7,68	3,25
1665	8,74	12,07
1666	9,48	6,34
1667	6,15	9,87
1668	4,65	4,62
1669	7,25	6,18
1670	10,98	7,42
1671	9,45	4,17
1672	5,87	3,63
1673	9,25	4,1
1674	7,65	8,92
1675	4,69	8,72
1676	7,23	3,02
1677	9,15	4,96
1678	8,4	9,67
1679	10,94	17,21
1680	5,87	5,94
1681	8,45	5,2
1682	7,61	7
1683	6,48	20,86
1684	15,27	4,62

1685	10,97	5,99
1686	9,42	8,69
1687	7,31	8,74
1688	8,42	5,53
1689	6,42	10,34
1690	4,74	6,25
1691	10,84	13,13
1692	8,71	8
1693	6,48	9,77
1694	8,15	5,34
1695	6,37	6,78
1696	9,58	28,52
1697	7,41	5,34
1698	5,25	24,04
1699	6,41	8,3
1700	8,79	20,86
1701	4,68	4,96
1702	8,72	5,49
1703	9,46	4,62
1704	10,75	5,48
1705	8,64	6,76
1706	5,94	6,73
1707	4,61	5,85
1708	1,76	7,47
1709	3,45	7,28
1710	8,46	20,86
1711	9,16	7,23

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 10. Muestreo trabajo de campo X (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1712	6,47	24,04
1713	7,45	3,74
1714	8,96	6,78
1715	9,48	5,8
1716	4,58	6,15
1717	6,12	5,96
1718	7,84	5,49
1719	9,28	13,13
1720	11,98	10,83
1721	7,58	13,13
1722	9,45	8,93
1723	6,12	5,34
1724	4,85	3,52
1725	8,23	8,75
1726	6,37	4,87
1727	8,21	7,28
1728	9,58	6,64
1729	8,47	5,49
1730	6,76	4,77
1731	9,2	5,01
1732	15,27	7,28
1733	6,44	7
1734	7,88	4,32
1735	8,46	15,03
1736	6,97	3,52
1737	8,43	4,17
1738	4,16	5,96
1739	9,57	10,98
1740	7,12	7,47
1741	6,54	3,74
1742	10,64	7,52
1743	9,48	5,61
1744	7,26	4,32
1745	8,46	15,03
1746	7,32	5,96
1747	11,98	5,41

1748	6,45	10,83
1749	8,41	10,34
1750	12,7	29,55
1751	6,62	8,05
1752	8,64	3,8
1753	9,87	7,47
1754	7,56	24,04
1755	6,42	4,32
1756	8,16	8,93
1757	9,21	5,98
1758	4,65	6,34
1759	6,21	15,03
1760	4,56	7,13
1761	9,03	5,53
1762	5,68	12,59
1763	11,46	6,73
1764	21,98	5,48
1765	7,65	3,74
1766	4,98	20,86
1767	5,68	4,57
1768	9,54	13,05
1769	8,75	3,91
1770	8,45	7,23
1771	9,45	19,34
1772	10,65	6,18
1773	7,65	5,49
1774	8,26	5,97
1775	9,23	24,04
1776	10,47	7,47
1777	5,67	7,28
1778	8,95	3,91
1779	6,48	7,65
1780	5,23	6,8
1781	7,58	6,78
1782	6,48	8,05
1783	7,28	10,83
1784	9,14	20,86
1785	5,16	7
1786	7,16	8,75

1787	11,36	6,83
1788	6,87	13,13
1789	9,56	5,41
1790	4,28	3,52
1791	7,16	7,47
1792	9,48	10,34
1793	10,87	17,64
1794	4,32	5,09
1795	9,87	6,73
1796	5,35	4,62
1797	6,21	4,86
1798	4,7	3,25
1799	9,23	8
1800	7,54	8,72
1801	7,64	9,87
1802	8,52	8,69
1803	9,16	52,85
1804	7,38	5,96
1805	8,34	9,77
1806	13,58	4,33
1807	10,46	3,52
1808	9,25	5,96
1809	11,33	8
1810	8,76	7,42
1811	9,46	3,91
1812	8,52	10,84
1813	9,46	11,8
1814	8,13	7,25
1815	7,54	3,8
1816	10,52	11,9
1817	9,16	8,61
1818	8,26	6,14
1819	6,48	27,2
1820	7,53	11,92
1821	6,89	3,98
1822	4,12	10,24
1823	9,87	7,35
1824	8,46	5,51
1825	7,25	5,59

1826	16,54	10,24
1827	14,85	5,23
1828	10,84	16,24
1829	9,45	21,94
1830	8,78	13,06
1831	8,45	6,86
1832	8,47	27,66
1833	7,68	5,87
1834	4,98	8,43
1835	8,79	8,48
1836	6,48	18,42
1837	5,78	10,87
1838	16,97	7,78
1839	6,54	6,63
1840	4,18	9,58
1841	8,63	5,59
1842	3,46	14,44
1843	6,78	5,51
1844	8,79	9,91
1845	9,42	3,21
1846	15,45	16,37
1847	10,76	6,58
1848	11,64	22,48
1849	7,54	6,33
1850	6,87	8,13
1851	6,78	12
1852	8,17	4,1
1853	18,64	3,42
1854	9,87	9,48
1855	8,91	13,16
1856	9,75	8,13
1857	18,64	9,74
1858	6,78	8,85
1859	9,45	20,37
1860	9,11	8,85
1861	5,67	3,98
1862	6,82	13,41
1863	4,67	13,31
1864	8,31	6,58

1865	8,76	20,37
1866	9,41	18,42
1867	7,35	13,06
1868	5,48	10,87
1869	6,12	5,47
1870	7,39	5,04
1871	6,97	7,67
1872	7,98	6,86
1873	9,85	18,46
1874	8,96	6,86
1875	4,79	6,35
1876	9,48	12,16
1877	14,97	6,02
1878	12	12,53
1879	6,78	21,94
1880	9,87	12
1881	9,46	6,71
1882	6,98	15,28
1883	7,48	6,14
1884	9,78	5,51
1885	12,98	22,48
1886	8,65	7,35
1887	4,91	6,43
1888	6,98	6,31
1889	8,48	41,34
1890	25,3	6,71
1891	12,98	14,37
1892	5,47	27,2
1893	8,97	16,37
1894	15,97	12,16
1895	9,48	3,42
1896	6,48	11,86
1897	7,4	12,53
1898	4,56	7,35
1899	9,15	4,09
1900	10,78	8,13
1901	7,49	3,98
1902	9,48	10,87
1903	7,56	28,87

1904	11,66	6,02
1905	9,45	12,81
1906	18,75	6,14
1907	8,45	4,09
1908	6,45	5,51
1909	5,48	6,71
1910	5,92	8,52
1911	6,48	20,69

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 11. Muestreo trabajo de campo XI (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
1912	6,05	8,72
1913	11,18	25,05
1914	3,93	9,83
1915	5,35	4,89
1916	5,07	7,47
1917	4,31	6,15
1918	4,44	5,09
1919	3,3	3,45
1920	4,69	4,33
1921	5,54	4,87
1922	5,37	5,21
1923	5,35	8,69
1924	5,99	6,76
1925	5,91	6,25
1926	4,19	4,77
1927	4,7	5,96
1928	11,11	19,34
1929	8,2	17,64
1930	4,7	5,48
1931	4,4	6,78
1932	4,53	18,66
1933	5,76	3,8
1934	4,69	3,63
1935	7,14	3,88
1936	4,83	7,13
1937	3,37	12,78
1938	5,04	12,59
1939	5,62	15,03
1940	4,56	7,25
1941	3,71	9,08
1942	5,44	4,62
1943	4,94	5,94
1944	4,56	5,97
1945	4,37	3,91
1946	3,74	3,74
1947	7,63	1,38

1948	4,95	5,84
1949	4,09	6,73
1950	4,12	26,88
1951	24,66	4,32
1952	7,51	4,95
1953	11,17	4,57
1954	8,05	5,61
1955	4,48	5,98
1956	5,25	7,52
1957	7,61	4,18
1958	7,53	6,73
1959	5,35	6,73
1960	5,35	12,39
1961	7,35	8,05
1962	3,67	8,45
1963	7,4	11,42
1964	7,64	6,8
1965	5,57	8,56
1966	4,17	8,74
1967	3,78	11,23
1968	3,75	6,08
1969	6,38	6,91
1970	3,53	4,32
1971	7,08	5,48
1972	5,23	9,67
1973	8,38	24,04
1974	9,46	14,03
1975	14,29	8,88
1976	4,58	4,1
1977	4,92	6,78
1978	6,87	5,41
1979	8,45	10,2
1980	6,32	7,09
1981	6,82	5,85
1982	9,37	4,7
1983	5,73	13,91
1984	8,44	17,21
1985	11,65	4,96
1986	8,95	4,44

1987	6,46	7,92
1988	5,86	8,92
1989	6,25	7,65
1990	4,15	3,48
1991	7,64	5,99
1992	9,24	5,09
1993	5,48	21,22
1994	7,62	9,34
1995	3,75	5,09
1996	4,68	3,48
1997	4,75	5,43
1998	5,64	5,01
1999	8,65	4,62
2000	4,85	13,13
2001	19,68	7,47
2002	13,64	10,34
2003	8,45	3,02
2004	9,21	6,18
2005	6,84	20,86
2006	5,48	8
2007	10,71	17,01
2008	8,72	7,76
2009	7,65	3,16
2010	4,12	9,87
2011	9,54	6,03
2012	7,82	22,95
2013	3,65	12,07
2014	12,48	6,64
2015	9,54	6,82
2016	4,68	5,34
2017	5,98	9,87
2018	9,41	7,23
2019	4,78	5,53
2020	5,63	8,75
2021	5,28	3,52
2022	4,87	52,85
2023	9,58	5,49
2024	4,75	7,42
2025	5,68	4,7

2026	5,74	6,83
2027	6,45	23,88
2028	8,25	9,12
2029	4,84	9,77
2030	5,23	3,25
2031	5,91	24,04
2032	7,89	5,9
2033	7,25	10,74
2034	6,78	28,52
2035	6,98	17,21
2036	7,58	10,83
2037	7,25	7,28
2038	9,58	5,49
2039	5,28	8,93
2040	12,5	5,8
2041	7,46	7,47
2042	9,22	4,86
2043	5,11	5,96
2044	4,76	7
2045	9,54	5,2
2046	8,54	6,78
2047	9,57	5,73
2048	18,26	13,05
2049	9,75	23,88
2050	5,64	3,52
2051	8,45	3,52
2052	4,56	10,98
2053	6,58	20,86
2054	7,65	7,42
2055	8,95	22,95
2056	6,48	10,74
2057	9,57	29,55
2058	8,94	6,34
2059	5,71	8,3
2060	6,22	14,34
2061	5,98	8
2062	7,61	10,83
2063	5,98	5,53
2064	4,98	9,77

2065	7,68	10,34
2066	7,98	5,96
2067	5,68	5,34
2068	7,65	5,71
2069	9,48	4,17
2070	5,86	3,76
2071	12,86	39,63
2072	7,89	6,98

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 12. Muestreo trabajo de campo XII (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2073	6,25	16,48
2074	3,41	7,58
2075	8,75	7,85
2076	3,17	7,65
2077	5,21	12,98
2078	9,22	6,34
2079	5,04	4,36
2080	6,27	9,44
2081	4,91	16,45
2082	6,3	18,46
2083	13,28	4,36
2084	4,06	8,65
2085	3,45	8,15
2086	8,15	9,64
2087	4,74	9,54
2088	8,15	18,54
2089	7,82	13,14
2090	4,61	20,72
2091	6,91	7,98
2092	8,55	6,48
2093	6,25	9,64
2094	4,82	22,68
2095	5,87	7,65
2096	7,61	9,48
2097	6,15	9,46
2098	5,31	8,82
2099	3,57	7,53
2100	5,68	7,48
2101	4,87	6,24
2102	5,31	5,6
2103	12	7,54
2104	4,89	8,54
2105	4,67	7,4
2106	4,91	8,21
2107	13,55	6,12
2108	11,25	9,54

2109	3,83	8,54
2110	14,96	10,8
2111	4,77	7,4
2112	5,69	11,84
2113	6,31	7,21
2114	7,06	5,32
2115	4,87	7,54
2116	7,05	9,24
2117	14,23	8,15
2118	4,04	6,48
2119	14,35	9,48
2120	12,79	8,65
2121	5,46	9,45
2122	7,48	9,45
2123	4,28	6,98
2124	7,82	7,69
2125	14,26	15,74
2126	5,78	9,48
2127	4,54	7,38
2128	6,07	9,65
2129	4,89	9,58
2130	9,31	8,14
2131	7,48	7,65
2132	6,2	9,54
2133	5,46	7,65
2134	5,87	9,54
2135	7,47	9,65
2136	4,33	7,54
2137	6,3	10,45
2138	13,28	7,15
2139	6,13	19,54
2140	6,99	9,65
2141	7,33	6,58
2142	19,87	9,78
2143	8,14	6,45
2144	21,65	9,55
2145	7,86	14
2146	4,82	7,65
2147	4,54	9,58

2148	5,69	6,54
2149	3,98	8,62
2150	10,22	6,74
2151	4,52	3,54
2152	4,86	6,12
2153	6,39	13,54
2154	5,31	7,68
2155	5,3	11,85
2156	7,79	7,48
2157	4,04	7,65
2158	3,59	9,21
2159	4,55	9,64
2160	5,96	9,75
2161	8,15	5,85
2162	5,48	6,48
2163	6,57	12,98
2164	3,83	2,65
2165	8,54	9,54
2166	19,78	9,87
2167	9,3	7,65
2168	10,65	8,79
2169	6,07	7,58
2170	5,68	7,4
2171	4,32	4,56
2172	5,78	22,68
2173	17,74	8,46
2174	16,05	13,14
2175	7,35	8,45
2176	3,57	7,58
2177	9,56	12,98
2178	7,01	19,8
2179	6,91	16,56
2180	6,04	11,87
2181	6,54	15,78
2182	4,87	8,75
2183	6,16	7,54
2184	6,6	9,44
2185	7,01	15,36
2186	8,14	8,46

2187	3,56	9,48
2188	9,31	7,56
2189	5,27	8,74
2190	4,17	20,54
2191	17,74	8,65
2192	5,54	7,85
2193	7,82	15,35
2194	4,87	9,65
2195	5,54	3,48
2196	7,18	8,54
2197	5,3	6,45
2198	15,37	6,21
2199	6,21	7,65
2200	7,24	6,48
2201	4,53	6,48
2202	4,04	10,8
2203	3,98	9,55
2204	4,17	8,41
2205	7,33	20,72
2206	7,35	7,4
2207	4,04	22,45
2208	4,52	7,85
2209	5,31	9,78
2210	3,45	6,15
2211	5,35	7,54
2212	7,16	8,64
2213	9,35	9,65
2214	9,64	9,54
2215	5,83	8,65
2216	5,27	9,45
2217	9,14	7,48
2218	6,15	2,65
2219	5,55	7,45
2220	6,13	7,54
2221	8,74	9,54
2222	9,87	6,45
2223	6,11	6,41
2224	5,27	6,56
2225	3,25	20,06

2226	6,72	4,33
2227	3,82	4,48
2228	16,8	5,3
2229	6,17	6,56
2230	21,62	5,1
2231	4,82	6,13
2232	4,53	9,25
2233	5,04	14,53
2234	4,66	4,92
2235	4,99	4,52
2236	5,08	4,3
2237	5,07	6,04
2238	6,17	7,79
2239	5,75	6,33
2240	5,47	3,64
2241	10,54	4,52
2242	7,01	6,15
2243	7,23	3,83
2244	5,36	5,95
2245	4,08	4,43
2246	5,82	6,3
2247	3,82	4,35
2248	6,51	6,2
2249	4,78	21,44
2250	5,27	4,87
2251	8,74	5,86
2252	4,27	9,92
2253	4,99	4,04
2254	1,62	3,06
2255	6,11	5,3
2256	5,4	5,81
2257	4,99	5,12
2258	8,74	12,84
2259	8	6,12

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 13. Muestreo trabajo de campo XIII (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2260	3,92	9,12
2261	5,09	6,48
2262	4,6	15,75
2263	9,3	8,46
2264	4,25	4,65
2265	8,15	7,58
2266	6,91	15,35
2267	3,98	16,45
2268	3,92	9,87
2269	7,82	8
2270	5,36	3,54
2271	4,37	9,65
2272	3,83	12,47
2273	4,91	5,01
2274	5,55	8,75
2275	14,26	9,64
2276	5,34	71,25
2277	8,75	8,48
2278	6,41	6,21
2279	9,54	6,75
2280	7,58	7,54
2281	4,82	10,63
2282	7,82	17,53
2283	8,2	10,45
2284	8,21	9,5
2285	3,37	11,46
2286	3,59	5,45
2287	5,27	7,65
2288	5,86	9,54
2289	5,83	8,45
2290	9,03	6,54
2291	6,91	11,54
2292	3,55	8,45
2293	5,98	6,34
2294	3,57	7,54
2295	6,16	9,65
2296	4,54	8,54
2297	7,34	6

2298	7,33	20,54
2299	4,61	8,14
2300	5,86	9,47
2301	6,05	7,65
2302	6,31	13,14
2303	10,27	8,54
2304	5,21	9,24
2305	4,65	5,64
2306	7,34	7,85
2307	5,65	4,56
2308	7,24	9,78
2309	6	6,54
2310	9,87	8,79
2311	5,38	6,48
2312	5,27	2,65
2313	3,37	9,45
2314	5,54	7,38
2315	4,2	6,98
2316	7,75	7,65
2317	6,27	6,45
2318	5,09	8,45
2319	5,96	10,8
2320	14,23	8,62
2321	9,48	7,54
2322	7,21	9,65
2323	6,15	10,78
2324	6,16	6,48
2325	9,03	9,54
2326	5,68	8,45
2327	13,91	6,12
2328	10,39	7,69
2329	5,87	9,45
2330	5,78	8,65
2331	4,63	9,15
2332	7,01	14
2333	12,85	9,34
2334	4,86	9,48
2335	4,91	7,54
2336	8,74	6,54
2337	10,62	5,21
2338	5,04	4,64

2339	7,05	7,21
2340	5,03	6,24
2341	21,65	8,54
2342	6,54	6,54
2343	4,54	9,54
2344	4,12	7,15
2345	3,56	9,54
2346	5,86	8,54
2347	6,39	10,87
2348	7,06	8,74
2349	14,96	9,54
2350	4,28	5,32
2351	8,15	6,72
2352	3,56	7,45
2353	4,92	9,54
2354	12,75	17,35
2355	5,68	6,31
2356	7,16	9,48
2357	4,92	7,48
2358	6,12	9,78
2359	6,15	9,45
2360	5,62	8,48
2361	7,97	7,4
2362	6,56	4,38
2363	11,25	6,85
2364	5,81	9,55
2365	5,34	4,73
2366	5,37	6,12
2367	4,84	3,45
2368	4,87	7,21
2369	17,74	9,36
2370	5,19	10,87
2371	8,21	9,6
2372	19,87	11,48
2373	8,52	6,48
2374	4,01	7,51
2375	4,32	8,25
2376	11,75	6,25
2377	4,04	4,32
2378	10,71	7,98
2379	4,28	15,33

2380	7,61	11,54
2381	5,27	10,25
2382	5,31	10,8
2383	7,79	10,56
2384	4,84	9,45
2385	4,32	4,57
2386	4,4	8,54
2387	14,68	4,36
2388	6,3	5,85
2389	5,37	5,67
2390	9,22	18,46
2391	5,68	9,34
2392	3,25	7,65
2393	3,57	8,54
2394	3,41	17,21
2395	7,59	9,84
2396	8,37	9,21
2397	13,28	14,65
2398	3,83	6,21
2399	5,33	7,54
2400	4,43	9,59
2401	8,75	3,48
2402	9,75	6,87
2403	4,77	8,82
2404	14,68	6,45
2405	6,13	8,41
2406	7,68	6,74
2407	11,52	9,65
2408	6,85	9,92
2409	12,45	5,27
2410	8,14	6,54
2411	5,31	7,65
2412	5,35	5,73
2413	8,66	12,98
2414	9,09	9,65
2415	5,3	7,48
2416	6,34	15,36
2417	5,52	8,54
2418	4,04	11,84
2419	4,06	6,48
2420	4,33	7,89

2421	5,81	16,48
2422	3,57	9,4
2423	13,28	5,86
2424	5,37	9,87
2425	4,87	8,98
2426	8,15	9,43
2427	4,04	6,15
2428	4,48	15,87
2429	6,57	10,97
2430	4,53	11,87
2431	7,26	9,54
2432	4,74	8,25
2433	6,83	19,54
2434	8,55	8,74
2435	6,51	9,36
2436	9,92	6,48
2437	6,04	8,21
2438	4,61	7,58
2439	5,1	15,46
2440	9,31	5,85
2441	6,57	7,68
2442	4,17	9,54
2443	7,48	5,6
2444	7,65	7,58
2445	3,17	12,87
2446	4,04	6,91
2447	6,3	6,33
2448	8,07	7,54
2449	8,93	8,15
2450	6,04	6,48
2451	32,96	15,65
2452	17,95	7,65
2453	16,05	8,65
2454	9,09	9,75
2455	33,76	6,54
2456	6,99	8,57
2457	9,14	8,65
2458	5,81	9,44
2459	5,19	6,22
2460	7,15	7,54
2461	6,2	9,13

2462	22,87	9,87
2463	4,67	16,48
2464	4,28	9,45

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 14. Muestreo trabajo de campo XIV (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2465	4,08	3,56
2466	6,54	4,35
2467	8,56	3,83
2468	4,9	2,09
2469	6,16	5,37
2470	5,68	7,79
2471	8,04	5,31
2472	3,25	6,83
2473	4	4,35
2474	5,55	12,84
2475	6,87	7,65
2476	2,99	3,64
2477	5,31	6,78
2478	5,89	4,35
2479	3,17	9,22
2480	2,84	7
2481	6,34	3,64
2482	8,74	4,25
2483	6,87	6,07
2484	3,92	8,07
2485	2,79	9,92
2486	6,12	10,21
2487	4,08	6,87
2488	5,21	6,51
2489	6,91	6,07
2490	4,82	5,33
2491	6,33	4,87
2492	5,07	8,93
2493	6,91	3,44
2494	4,2	20,14
2495	5,11	12,96
2496	5,92	17,95
2497	7,18	21,44
2498	3,17	3,78
2499	5,11	5,72
2500	5,54	8,44
2501	6,05	8,52
2502	3,82	5,48

2503	6,21	6,15
2504	3,92	6,13
2505	6,51	12
2506	3,59	3,06
2507	5,27	5,86
2508	3,56	7,61
2509	5,08	4,01
2510	4,78	8,16
2511	5,21	7,79
2512	5,21	11,43
2513	6,16	5,33
2514	4,99	10,75
2515	6,33	6,39
2516	5,81	14,25
2517	4,14	11,05
2518	5,52	6,04
2519	8,21	6,13
2520	4,08	24,15
2521	5,27	5,37
2522	5,2	6,33
2523	5,68	12,84
2524	4,08	4,48
2525	6,25	5,81
2526	5,72	4,92
2527	5,4	5,3
2528	7,01	11,43
2529	11,76	14,1
2530	4,13	8,15
2531	4,53	3,64
2532	5,08	5,3
2533	4,06	6,56
2534	7,34	4,74
2535	8,66	9,76
2536	10,62	7,97
2537	11,76	5,1
2538	5,52	8,97
2539	5,82	5,87
2540	4,66	22,37
2541	3,05	9,92
2542	5,99	6,04
2543	4,9	4,01

2544	4,82	6,33
2545	3,37	9,22
2546	5,96	3,06
2547	7,82	20,44
2548	4,73	4,48
2549	11,87	4,3
2550	4,28	18,35
2551	6,39	6,36
2552	6,64	4,04
2553	6,08	19,87
2554	5,52	6,2
2555	4,61	9,22
2556	5,19	5,12
2557	4,47	7,61
2558	5,54	6,38
2559	3,98	4,17
2560	4,61	8,16
2561	10,4	19,87
2562	4,73	8,51
2563	8,74	6,6
2564	8,2	5,73
2565	7,34	14,53
2566	5,4	5,69
2567	8,56	4,25
2568	2,93	4,48
2569	8,04	11,05
2570	8,74	19,87
2571	16,18	6,15
2572	13,66	9,57
2573	8	12,12
2574	5,68	17,74
2575	9,61	8,16
2576	4,92	2,95
2577	6,31	6,51
2578	4,97	21,52
2579	5,27	5,86
2580	5,42	3,57
2581	4,99	21,77
2582	8,04	3,25
2583	6,54	40,14
2584	6,11	43,25

2585	5,25	11,83
2586	4,13	6,04
2587	6,17	5,86
2588	6,17	4,23
2589	6,21	22,09
2590	4,53	5,35
2591	7,21	4,92
2592	4,08	6,85
2593	1,62	8,16
2594	3,82	7,13
2595	10,44	4,3
2596	5,07	3,44
2597	16,18	4,52
2598	12,73	13,43
2599	5,04	5,87
2600	5,1	4,67
2601	5,98	10,71
2602	7,99	3,6
2603	6,31	7,15
2604	3,92	5,43
2605	4,78	4,17
2606	6,78	6,39
2607	3,08	8,52
2608	8,74	4,04
2609	8,21	6,51
2610	4,13	7,38
2611	5,68	4,66
2612	3,56	4,25
2613	4,53	8,97
2614	5,08	6,3

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 15. Muestreo trabajo de campo XV (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2615	6,39	6,13
2616	8,56	6,38
2617	36,59	6,56
2618	6,72	6,15
2619	5,36	7,65
2620	4,83	4,87
2621	5,4	21,44
2622	5,86	5,6
2623	18,54	6,13
2624	10,4	7,61
2625	5,11	8,15
2626	8,21	5,33
2627	3,98	6,2
2628	5,11	7,61
2629	5,4	4,33
2630	5,19	5,1
2631	7,23	5,34
2632	5,52	7,65
2633	13,24	10,75
2634	6,92	3,44
2635	5,98	6,41
2636	5,09	6,15
2637	6,59	14,68
2638	7,33	8,66
2639	5,4	20,44
2640	16,59	7,97
2641	5,83	7,26
2642	4,99	4,48
2643	6,87	5,43
2644	5,83	6,38
2645	10,54	11,08
2646	7,33	7,79
2647	16,18	11,43
2648	8,94	20,06
2649	3,51	9,92
2650	10,84	8,72
2651	3,92	5,33
2652	4,51	8,97

2653	5,11	3,82
2654	3,83	7,48
2655	8,59	3,29
2656	11,87	6,15
2657	1,62	5,65
2658	5,81	5,33
2659	12,85	6,83
2660	16,78	6,3
2661	3,56	7,61
2662	5,25	28,18
2663	3,92	12
2664	7,89	6,38
2665	15,83	4,87
2666	3,92	5,69
2667	6,21	4,25
2668	6,35	6,51
2669	10,75	4,33
2670	5,89	7,74
2671	5,04	4,87
2672	7,33	22,37
2673	16,18	4,77
2674	5,32	6,87
2675	14,34	6,12
2676	6,17	8,51
2677	16,38	6,92
2678	5,89	12,84
2679	5,7	6,33
2680	5,38	5,33
2681	8,74	7,13
2682	4,14	12,12
2683	3,82	4,48
2684	7,29	6,33
2685	5,09	9,22
2686	7,01	6,38
2687	6,54	4,28
2688	10,39	7,97
2689	4,63	4,92
2690	7,33	5,6
2691	5,47	5,31
2692	5,92	8,97
2693	4,27	11,83

2694	5,81	10,75
2695	7,86	3,17
2696	16,18	24,15
2697	7,75	4,67
2698	10,67	4,52
2699	10,98	8,04
2700	7,75	22,37
2701	4,66	6,78
2702	4,54	5,33
2703	6,57	4,77
2704	16,8	6,99
2705	4	9,25
2706	5,4	12,84
2707	4,53	7,61
2708	5,75	4,35
2709	3,59	5,81
2710	7,15	7,61
2711	4,71	6,07
2712	6,17	7,65
2713	6,64	11,05
2714	11,93	5,19
2715	8,4	3,82
2716	3,56	7,15
2717	5,75	6,83
2718	6,87	7,65
2719	5,83	8,16
2720	5,55	6,34
2721	16,08	5,3
2722	6,12	3,44
2723	7,34	9,76
2724	11,7	4,01
2725	8,04	4,43
2726	4,06	2,95
2727	5,92	6,56
2728	5,72	3,82
2729	5,08	5,81
2730	5,83	3,49
2731	4,55	6,87
2732	6,39	6,57
2733	8,74	6,83
2734	14,68	4,3

2735	5,89	7,59
2736	6,25	3,44
2737	5,78	8,99
2738	6,31	20,06
2739	4,37	6,04
2740	6,61	4,52
2741	4,66	20,37
2742	24,53	6,13
2743	4,73	7,79
2744	8,74	3,41
2745	5,78	7,25
2746	9,18	20,06
2747	7,23	4,25
2748	6,54	34,67
2749	6,26	3,16
2750	8,56	4,87
2751	21,62	4,33
2752	7,82	14,53
2753	4,78	3,12
2754	5,09	16,13
2755	5,11	6,83
2756	5,27	6,41
2757	5,98	3,91
2758	14,06	4,35
2759	5,03	6,07
2760	6,12	4,04
2761	7,55	6,56
2762	6,91	26,51
2763	4,51	14,06
2764	6,17	5,95

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 16. Muestreo trabajo de campo XVI (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2765	6,99	15,78
2766	3,64	12,98
2767	9,92	7,54
2768	4,61	6,58
2769	20,42	20,87
2770	5,69	22,45
2771	4,04	9,65
2772	6,6	7,58
2773	7,54	7,65
2774	9,92	9,54
2775	5,69	8,75
2776	11,97	17,98
2777	6,04	18,79
2778	6,13	11,26
2779	4,06	9,87
2780	3,06	9,45
2781	15,37	7,56
2782	4,89	6,45
2783	7,47	8,54
2784	6,15	6,54
2785	5,09	8,47
2786	3,45	9,12
2787	4,33	25,87
2788	4,87	18,54
2789	5,21	9,45
2790	18,69	18,54
2791	6,76	9,46
2792	6,25	7,54
2793	4,77	9,54
2794	5,96	11,85
2795	6,13	4,56
2796	6,07	6,45
2797	4,52	9,58
2798	5,69	9,54
2799	17,74	7,58
2800	6,38	6,48

2801	5,86	7,53
2802	6,56	7,54
2803	12	8,64
2804	10,87	9,48
2805	9,07	17,54
2806	4,17	9,36
2807	11,25	5,64
2808	7,13	7,89
2809	4,37	16,56
2810	8,16	12,87
2811	10,22	6,59
2812	3,25	8,51
2813	5,37	7,53
2814	5,31	6,17
2815	5,12	14,39
2816	6,31	13,54
2817	9,64	9,58
2818	7,86	7,98
2819	6,25	9,54
2820	13,55	8,64
2821	5,27	8,65
2822	12,79	15,22
2823	9,56	9,48
2824	5,89	7,58
2825	5,07	9,45
2826	4,73	10,54
2827	4,53	2,14
2828	7,98	6,57
2829	6,91	7,87
2830	4,44	9,54
2831	3,92	8,45
2832	19,78	9,65
2833	16,62	8,47
2834	5,48	15,74
2835	4,27	8,54
2836	7,18	9,52
2837	17,63	8,3
2838	4,91	17,58
2839	4,52	9,48

2840	9,65	7,65
2841	7,35	9,57
2842	8,46	17,25
2843	9,45	7,54
2844	8,54	7,48
2845	7,32	9,65
2846	14,35	8,74
2847	9,35	19,8
2848	4,55	13,49
2849	12,87	22,68
2850	9,87	35,48
2851	10,65	20,72
2852	9,54	15,87
2853	7,35	19,54
2854	5,64	11,48
2855	7,14	8,47
2856	12,74	9,54
2857	18,4	7,54
2858	5,46	9,58
2859	6,21	12,2
2860	5,96	8,9
2861	7,6	13,9
2862	4,3	27,15
2863	8,7	19,6
2864	3,9	10,9
2865	9,5	6,18
2866	3,7	11,13
2867	4,15	15,2
2868	28,63	7,9
2869	42,6	11,6
2870	49,65	13,4
2871	6,5	6,2
2872	4,2	8,3
2873	8,6	7,6
2874	29,1	9,12
2875	3,82	12,8
2876	6,12	8,96
2877	5,4	7,98
2878	13,2	6,8

2879	3,21	9,6
2880	5,4	4,5
2881	6,4	7,61
2882	5,1	17
2883	3,96	13,86
2884	15,2	11,7
2885	7,2	9,13
2886	4,8	10,25
2887	6,57	6,7
2888	4,22	5,62
2889	5,61	4,33
2890	4,3	4,93
2891	6,87	5,77
2892	3,2	4,36
2893	3,56	5,67
2894	3,95	4,79
2895	7,42	11,96
2896	4,37	11,01
2897	10,9	13,4
2898	14,3	9,13
2899	3,51	8,14
2900	5,14	9,37
2901	4,89	8,56
2902	3,29	14,3
2903	8,36	13,2
2904	4,79	10,24

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 17. Muestreo trabajo de campo XVII (Segundos)

N°	Tiempo entre llegada	Tiempo de servicio
2905	8,48	18,48
2906	7,69	10,83
2907	9,58	7,61
2908	9,54	6,6
2909	7,58	8,51
2910	6,57	28,52
2911	12,45	12,39
2912	10,87	6,73
2913	8,45	17,21
2914	9,48	7,79
2915	7,04	11,42
2916	12,61	12,78
2917	8,98	5,69
2918	10,51	10,83
2919	9,45	3,02
2920	8,15	15,2
2921	7,32	6,18
2922	6,15	4,35
2923	4,32	4,04
2924	5,25	3,44
2925	6,51	4,48
2926	9,65	28,52
2927	7,58	17,01
2928	9,32	17,64
2929	21,58	6,08
2930	7,69	6,03
2931	9,85	9,08
2932	6,98	40,14
2933	9,48	5,53
2934	8,65	5,84
2935	8,54	7,61
2936	7,68	6,15
2937	15	6,36
2938	10,68	9,12
2939	9,45	17,01
2940	7,54	4,17

2941	12,65	8,52
2942	8,48	4,96
2943	16,41	8,93
2944	10,53	8,6
2945	9,54	6,07
2946	8,65	7,47
2947	9,5	9,87
2948	9,41	3,63
2949	7,33	8,75
2950	9,75	3,25
2951	8,54	6,33
2952	10,87	2,09
2953	11,25	7,42
2954	7,15	20,44
2955	8,96	2,95
2956	9,33	8,45
2957	8,19	7,61
2958	9,15	20,44
2959	10,87	21,52
2960	9,65	8,69
2961	8,45	5,86
2962	12,54	18,35
2963	7,54	6,15
2964	9,54	21,77
2965	7,98	6,33
2966	9,58	6,34
2967	7,65	6,38
2968	9,48	11,42
2969	10,54	7,23
2970	13,57	14,34
2971	6,97	5,2
2972	8,54	8,56
2973	9,72	3,64
2974	6,48	3,8
2975	8,54	6,34
2976	15,56	13,05
2977	11,75	3,02
2978	9,54	4,17
2979	8,47	5,86

2980	6,48	10,34
2981	7,54	10,74
2982	8,45	4,23
2983	8,87	6,03
2984	9,48	14,34
2985	11,54	6,91
2986	8,98	13,13
2987	11,54	4,3
2988	9,87	3,63
2989	8,54	7,13
2990	16,74	3,52
2991	11,2	8,16
2992	9,87	7,61
2993	7,54	6,78
2994	8,65	5,48
2995	9,47	3,45
2996	10,1	29,55
2997	36,47	5,12
2998	9,65	6,03
2999	11,25	4,32
3000	8,65	6,33
3001	9,47	3,25
3002	7,54	8,74
3003	8,51	5,96
3004	9,54	17,21
3005	8,123	6,34
3006	7,66	6,8
3007	11,4	5,2
3008	6,15	7,47
3009	7,45	8,45
3010	9,57	2,95
3011	8,48	6,04
3012	7,15	9,92
3013	10,45	14,25
3014	9,54	4,77
3015	11,32	7,13
3016	7,82	6,64
3017	9,43	7,52
3018	7,11	4,18

3019	9,87	5,48
3020	9,25	12,39
3021	7,65	5,72
3022	3,15	10,21
3023	5,25	5,84
3024	4,78	4,35
3025	8,65	5,49
3026	15,12	6,36
3027	26,99	6,73
3028	21,78	5,48
3029	8,69	9,76
3030	9,45	8,93
3031	5,46	7,42
3032	6,47	9,77
3033	8,47	14,34
3034	6,48	13,91
3035	12,87	2,95
3036	6,48	5,48
3037	16,75	5,98
3038	6,31	4,87
3039	7,46	9,87
3040	8,67	22,95
3041	9,54	4,7
3042	8,23	3,25
3043	5,27	28,52
3044	7,64	4,32
3045	8,18	12,59
3046	12,54	24,04
3047	9,48	9,12
3048	7,18	8,92
3049	8,98	6,78
3050	7,8	2,95
3051	6,84	3,8
3052	6,31	4,89
3053	4,17	3,02
3054	15,49	6,91
3055	6,82	5,9
3056	10,74	6,51
3057	8,25	24,04

3058	6,48	5,41
3059	8,98	6,15
3060	6,21	8,45
3061	5,7	6,13
3062	12,48	3,91
3063	23,54	22,37
3064	9,87	8
3065	9,452	4,48
3066	7,18	8
3067	9,43	52,85
3068	10,36	8,05
3069	9,87	29,55
3070	8,72	8,75
3071	9,15	5,96
3072	6,47	7,65
3073	8,14	3,64
3074	7,51	8,93
3075	14,82	5,37
3076	25,67	5,09
3077	12,58	8,92
3078	9,48	5,43
3079	5,76	5,9
3080	9,48	5,73
3081	15,48	15,03
3082	10,48	12,84
3083	9,78	7,28
3084	5,64	22,95
3085	8,46	18,35
3086	5,87	6,73
3087	9,67	6,78
3088	15,48	4,17
3089	16,87	3,64
3090	9,47	11,83
3091	9,58	6,78
3092	9,64	3,64
3093	6,57	15,48
3094	7,57	12,52
3095	5,64	10,83
3096	7,21	7,65

3097	6,45	4,92
3098	9,87	13,64
3099	6,37	4,17
3100	7,84	7,13
3101	10,96	8,3
3102	9,48	4,87
3103	7,18	10,34
3104	6,48	6,04
3105	12,81	7,61
3106	6,45	10,21
3107	3,48	23,88
3108	5,21	17,01
3109	9,53	3,06
3110	7,46	17,25
3111	5,18	23,88
3112	6,83	10,83
3113	9,27	7,65
3114	17,62	8,52
3115	13,48	24,44
3116	5,97	5,34
3117	6,47	14,34
3118	8,24	22,09
3119	7,43	10,74
3120	9,48	22,37
3121	7,25	5,21
3122	8,73	4,92
3123	5,44	14,25
3124	9,27	23,88
3125	9,15	4,32
3126	8,65	11,83
3127	6,48	7,96
3128	11,82	6,04
3129	7,15	4,92
3130	8,43	2,95
3131	7,27	10,75
3132	16,87	5,86
3133	10,22	14,03
3134	5,14	5,86
3135	8,52	4,52

3136	6,24	8,52
3137	7,15	11,05
3138	12,44	6,15
3139	6,48	4,35
3140	17,68	14,34
3141	6,15	7,28
3142	9,18	10,21
3143	7,1	24,04
3144	5,3	12,78
3145	9,25	4,92
3146	7,18	6,13
3147	8,42	9,87
3148	9,66	20,44
3149	5,32	5,99
3150	15,48	33,6
3151	5,6	4,04
3152	8,49	5,09
3153	7,28	8,16
3154	6,23	7,47

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 18. Promedios muestreo trabajo de campo (Segundos)

N°	Tiempo Entre llegadas	Tiempo de servicio
I	6,68	10,38
II	6,24	9,14
III	7,29	8,37
IV	6,44	8,17
V	6,59	8,35
VI	8,13	8,02
VII	6,56	8,03
VII	7,91	8,97
IX	8,16	8,06
X	8,59	9,80
XI	6,92	9,27
XII	6,98	8,95
XIII	7,24	9,12
XIV	5,99	8,48
XV	7,66	8,03
XVI	8,24	10,71
XVII	9,33	9,57
Promedio	7,35	8,91

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 19. Estimaciones número de vehículos en un tiempo T

N°	NÚMERO DE VEHÍCULOS					
	1 HORA		60 MINUTOS		3600 SEGUNDOS	
	TL	TS	TL	TS	TL	TS
I	539	347	8	5	0,1498	0,0963
II	577	394	9	6	0,1602	0,1094
III	494	430	8	7	0,1372	0,1195
IV	559	441	9	7	0,1552	0,1224
V	546	431	9	7	0,1518	0,1197
VI	357	362	5	6	0,0991	0,1004
VII	549	448	9	7	0,1525	0,1245
VIII	455	401	7	6	0,1264	0,1115
IX	441	447	7	7	0,1226	0,1241
X	419	367	6	6	0,1164	0,1020
XI	520	388	8	6	0,1444	0,1078
XII	516	402	8	6	0,1433	0,1117
XIII	497	395	8	6	0,1380	0,1096
XIV	601	425	10	7	0,1670	0,1179
XV	470	449	7	7	0,1306	0,1246
XVI	437	336	7	5	0,1214	0,0934
XVII	386	376	6	6	0,1071	0,1045
Promedio	492	402	8	6,7	0,1366	0,1117

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Anexo 20. Muestra Óptima Tiempo de servicio

N°	TS	N°	TS
1	7,00	324	32,47
2	8,24	325	2,39
3	9,34	326	3,00
4	6,42	327	8,60
5	7,65	328	4,03
6	8,38	329	5,07
7	6,22	330	5,17
8	7,62	331	9,28
9	8,30	332	4,82
10	11,43	333	9,75
11	17,21	334	5,20
12	13,79	335	3,92
13	12,58	336	4,45
14	7,65	337	2,19
15	6,33	338	2,62
16	10,20	339	5,95
17	8,95	340	9,40
18	14,34	341	8,78
19	9,77	342	11,97
20	8,03	343	4,56
21	5,85	344	10,99
22	6,04	345	3,64
23	7,23	346	5,64
24	10,19	347	7,07
25	4,86	348	3,78
26	9,34	349	4,68
27	8,30	350	4,68
28	18,93	351	4,50
29	12,42	352	14,84
30	5,71	353	3,77
31	8,94	354	7,23
32	6,64	355	5,37
33	8,71	356	5,90
34	8,93	357	5,79
35	6,98	358	10,36
36	9,38	359	9,05

37	5,12	360	4,26
38	8,88	361	3,67
39	7,09	362	3,79
40	16,08	363	6,01
41	8,35	364	13,54
42	5,05	365	9,42
43	7,76	366	6,60
44	5,41	367	3,67
45	22,95	368	19,27
46	7,56	369	5,32
47	8,75	370	4,30
48	8,25	371	3,11
49	5,61	372	8,50
50	7,43	373	1,47
51	6,83	374	2,89
52	21,22	375	3,64
53	6,88	376	6,92
54	6,87	377	8,12
55	6,87	378	6,27
56	9,87	379	10,65
57	5,99	380	19,64
58	6,78	381	6,78
59	4,71	382	15,44
60	8,48	383	6,77
61	15,50	384	6,64
62	6,30	385	4,62
63	4,62	386	3,33
64	5,07	387	19,49
65	9,34	388	4,87
66	6,03	389	4,76
67	9,51	390	4,52
68	6,82	391	3,21
69	7,65	392	3,41
70	13,05	393	4,05
71	12,97	394	5,19
72	6,18	395	16,16
73	14,03	396	8,47
74	22,73	397	6,91
75	13,58	398	14,80

76	14,33	399	6,03
77	12,00	400	16,69
78	10,23	401	4,45
79	28,52	402	3,75
80	8,15	403	7,71
81	6,34	404	9,05
82	6,81	405	3,86
83	12,08	406	2,90
84	5,29	407	5,58
85	6,27	408	11,65
86	7,15	409	5,67
87	9,48	410	17,91
88	4,60	411	9,84
89	8,56	412	30,73
90	4,43	413	6,25
91	20,86	414	7,00
92	6,39	415	6,31
93	4,86	416	3,44
94	5,09	417	3,26
95	7,78	418	30,10
96	10,83	419	5,01
97	16,24	420	6,86
98	9,97	421	6,94
99	5,80	422	4,46
100	39,06	423	3,64
101	13,13	424	22,22
102	5,71	425	6,02
103	7,10	426	9,50
104	6,82	427	28,51
105	4,70	428	6,60
106	7,92	429	6,91
107	7,33	430	7,59
108	9,20	431	5,77
109	3,16	432	4,96
110	8,92	433	3,87
111	4,80	434	3,93
112	52,85	435	3,07
113	11,61	436	6,05
114	6,00	437	5,85

115	3,76	438	5,75
116	4,62	439	5,60
117	5,09	440	6,60
118	24,04	441	5,92
119	3,73	442	4,43
120	23,88	443	6,07
121	29,55	444	3,26
122	3,02	445	5,00
123	5,96	446	13,59
124	7,42	447	4,14
125	3,19	448	7,51
126	4,83	449	9,32
127	5,20	450	4,95
128	5,34	451	20,69
129	17,43	452	6,24
130	8,43	453	4,05
131	4,10	454	5,09
132	5,73	455	3,39
133	4,17	456	3,56
134	8,23	457	7,90
135	8,36	458	9,54
136	7,47	459	9,89
137	7,18	460	8,41
138	22,97	461	3,90
139	4,52	462	7,07
140	3,31	463	11,99
141	3,51	464	4,22
142	6,79	465	5,37
143	4,10	466	6,22
144	3,83	467	3,64
145	5,07	468	13,40
146	22,89	469	3,90
147	9,12	470	3,61
148	6,09	471	9,43
149	6,95	472	8,10
150	22,69	473	10,44
151	5,90	474	8,69
152	5,43	475	11,95
153	10,34	476	5,97

154	9,87	477	15,76
155	5,62	478	8,29
156	3,77	479	7,48
157	22,30	480	18,47
158	6,91	481	11,79
159	11,34	482	13,31
160	5,17	483	3,53
161	5,53	484	4,71
162	7,98	485	4,62
163	5,82	486	4,34
164	4,99	487	3,62
165	6,36	488	3,40
166	7,33	489	3,63
167	7,74	490	3,82
168	8,68	491	4,22
169	11,11	492	11,08
170	6,43	493	3,87
171	6,89	494	4,51
172	12,07	495	4,10
173	3,01	496	4,22
174	3,43	497	6,45
175	17,01	498	5,73
176	39,63	499	5,65
177	4,44	500	14,60
178	13,91	501	7,96
179	5,22	502	12,33
180	3,36	503	35,15
181	4,86	504	9,05
182	3,48	505	13,84
183	4,96	506	14,88
184	3,65	507	11,74
185	5,01	508	5,59
186	3,25	509	10,21
187	5,14	510	8,86
188	6,63	511	8,64
189	20,43	512	8,27
190	5,35	513	10,20
191	3,52	514	27,23
192	4,84	515	7,04

193	7,28	516	9,56
194	10,74	517	5,25
195	5,53	518	8,78
196	5,49	519	13,16
197	6,25	520	9,56
198	13,25	521	10,93
199	10,92	522	4,97
200	17,73	523	9,91
201	5,57	524	10,09
202	8,21	525	17,64
203	6,69	526	10,97
204	7,83	527	5,06
205	8,00	528	11,55
206	5,57	529	7,07
207	3,76	530	5,92
208	10,98	531	4,47
209	5,48	532	4,53
210	8,72	533	7,95
211	25,05	534	10,13
212	9,83	535	5,47
213	4,89	536	9,71
214	7,47	537	12,01
215	6,15	538	7,65
216	5,09	539	8,78
217	3,45	540	4,08
218	4,33	541	6,95
219	4,87	542	15,73
220	5,21	543	8,10
221	8,69	544	12,02
222	6,76	545	14,91
223	6,25	546	5,81
224	4,77	547	4,85
225	5,96	548	5,99
226	19,34	549	4,32
227	17,64	550	12,99
228	5,48	551	12,22
229	6,78	552	6,65
230	18,66	553	6,34
231	3,80	554	7,42

232	3,63	555	10,43
233	3,88	556	14,34
234	7,13	557	4,07
235	12,78	558	14,38
236	12,59	559	11,62
237	15,03	560	15,48
238	7,25	561	20,19
239	9,08	562	18,55
240	4,62	563	2,65
241	5,94	564	5,87
242	5,97	565	8,02
243	3,91	566	10,09
244	3,74	567	6,76
245	1,38	568	5,83
246	5,84	569	4,58
247	6,73	570	3,74
248	26,88	571	8,01
249	4,32	572	4,11
250	4,95	573	4,00
251	4,57	574	4,07
252	5,61	575	4,23
253	5,98	576	24,44
254	7,52	577	5,54
255	4,18	578	2,35
256	6,73	579	1,81
257	6,73	580	4,51
258	12,39	581	5,99
259	8,05	582	21,12
260	8,45	583	9,00
261	11,42	584	4,23
262	6,80	585	7,05
263	8,56	586	15,69
264	8,74	587	4,60
265	11,23	588	5,18
266	6,08	589	5,49
267	6,91	590	10,32
268	4,32	591	15,23
269	5,48	592	3,51
270	9,67	593	5,29

271	2,11	594	5,15
272	19,72	595	6,72
273	9,09	596	4,07
274	8,59	597	4,96
275	11,47	598	3,72
276	11,56	599	10,33
277	5,40	600	5,45
278	8,59	601	2,57
279	17,07	602	8,74
280	6,17	603	3,80
281	7,03	604	8,92
282	11,49	605	4,45
283	4,99	606	7,10
284	5,39	607	2,10
285	5,13	608	1,57
286	20,37	609	2,15
287	6,29	610	2,57
288	4,65	611	3,87
289	5,22	612	8,44
290	29,07	613	10,14
291	7,45	614	8,34
292	12,83	615	7,18
293	4,07	616	5,52
294	2,18	617	12,83
295	6,44	618	5,55
296	2,97	619	5,14
297	3,96	620	4,18
298	11,24	621	7,11
299	3,36	622	7,38
300	4,56	623	14,40
301	6,01	624	4,30
302	10,81	625	8,01
303	3,80	626	7,64
304	4,04	627	4,49
305	3,57	628	4,55
306	19,50	629	1,89
307	20,57	630	6,35
308	6,42	631	35,03
309	4,78	632	5,04

310	4,85	633	5,83
311	4,40	634	3,44
312	4,14	635	5,81
313	6,21	636	8,08
314	2,54	637	4,22
315	22,11	638	3,43
316	6,92	639	3,43
317	4,78	640	8,23
318	4,73	641	5,60
319	5,95	642	6,87
320	3,57	643	5,79
321	3,87	644	4,97
322	10,59	645	5,85
323	4,49	646	5,37

Fuente: Autor (Estudio de Tiempos Peaje)

Apéndice

CODIGO R

g

"TRABAJO DE GRADO PEAJE MESA DE LOS SANTOS"

#INSTALACIÓN DE LIBRERIAS

```
install.packages("stats")
install.packages("gofest")
install.packages("vcd")
install.packages("gmodels")
install.packages("devtools")
install.packages("mvtnorm")
install.packages("expm")
install.packages("rriskDistributions")
devtools::install_github("mattfor/rriskDistributions")
```

#CARGAR LIBRERIAS

```
library(rriskDistributions)
library(vcd)
library(gofest)
library(gmodels)
library(stats)
```

#DATOS

```
"TOTAL DATOS:3154 Vehículos"
"TRABAJO DE CAMPO:17 Horas Pico en Dias picos"
```

#VEHÍCULOS ATENDIDOS

```
MVA= "Muestras Vehículos Atendidos (por Hora)"
MVA<-read.table("E:TG/FORMALTG/R/MVA.Txt",header=TRUE)
MVA$MVA
```

#Gráfica de MVA

```
par(mfrow=c(2,2))
hist(MVA$MVA,xlab="Vehículos Atendidos por Hora",ylab="Frecuencia",las=1,
main="")
plot(density(MVA$MVA),xlab="Vehículos Atendidos por Hora",ylab="Densidad",
las=1, main="")
```

#AJUSTE DE MUESTRA TRABAJO DE CAMPO

```
resMVA<-fit.cont(MVA$MVA)
resMVA
```

"Se obtiene una Distribución Normal en los datos"

```
PVA="Promedio Vehículos atendidos por hora"
PVA<-round(mean(MVA$MVA))
PVA
```

```
TSS="Tasa de Servicio Promedio Muestra Segundos"
TSS<-((PVA)/3600)
TSS
```

```
TSM="Tasa de Servicio Promedio Muestra Minutos"
TSM<-round((PVA)/60)
TSM
```

#Comportamiento Tiempos de servicio

"De acuerdo al ajuste de los datos estos siguen un comportamiento normal, partiendo de un tamaño de muestra óptimo establecido se determina..."

```
"MUESTRA ÓPTIMA (muestreo Aleatorio Simple)"
MO="Muestra óptima"
MO<-646
MO
```

```
TSMO="Tiempos de servicio Muestra Óptima"
TSMO<-read.table("E:TG/FORMALTG/R/TSMO.Txt",header=TRUE)
TSMO$TSMO
```

```
#Gráfica de TSMO
par(mfrow=c(2,2))
hist(TSMO$TSMO,xlab="Tiempo de atención por Vehículo",ylab="Frecuencia",las=1,
main="")
plot(density(TSMO$TSMO),xlab="Tiempo de atención por Vehículo",ylab="Densidad",
las=1, main="")
```

```
#AJUSTE DE MUESTRA OPTIMA
resMO<-fit.cont(TSMO$TSMO)
resMO
```

"Los Datos se ajustan a una Distribución exponencial"

"Tras el ajuste de los datos se asume que estos siguen una distribución de Markov, cuya exponencial más cercana corresponde al parámetro u. Donde la tasa establecida se asemeja a la Tasa promedio de Servicio de las 17 Horas de trabajo de campo"
 "luego entonces, se estable..."

```
u<-"TasadeServicio"
u=TSS
u
```

```
#VEHÍCULOS QUE LLEGAN AL SISTEMA
```

```
MLV="Muestras Llegada de Vehículos (Por Hora)"
MLV<-read.table("E:TG/FORMALTG/R/MLV.Txt",header=TRUE)
MLV$MLV
```

```
#Gráfica MLV
par(mfrow=c(2,2))
hist(MLV$MLV,xlab="Vehículos que llegan por Hora",ylab="Frecuencia",las=1,
main="")
plot(density(MLV$MLV),xlab="Vehículos que llegan por Hora", ylab="Densidad",
las=1, main="")
resL1<-fit.cont(MLV$MLV)
resL1
```

```
#Los datos siguen un comportamiento Normal
```

```
PLV="Promedio Llegada de Vehículos por hora"
PLV<-round(mean(MLV$MLV))
PLV
```

```
TLS="Tasa de Llegada Segundos"
TLS<-((PLV)/3600)
TLS
```

```
TLM="Tasa de Llegada Minutos"
TLM<-round((PLV)/60)
TLM
```

```
#Ajuste de Datos test Poisson
AJTL<-goodfit(MLV$MLV,type="poisson")
summary(AJTL)
AJTL$par
AJTL$lambda
```

"Lambda es igual al Promedio de llegada de vehículos por Hora (PLV=492)"
 "Se asume que la tasa de llegada tiene un comportamiento POISSON, por tanto, la distribución de probabilidad de llegada sigue un tipo de distribución de Markov"

"luego entonces, se estable..."

lambda<-"TasadeLlegada"

lambda=TLS

lambda

#####

#ANÁLISIS MODELO LÍNEA DE ESPERA PROPIO DE LA SITUACIÓN OBJETO DE ESTUDIO

"Dado lo anterior, se obtiene un modelo de línea de espera de tipo M/M/K; donde se cumple que $K \cdot \mu > \lambda$ "

#VERIFICACIÓN DE CONDICION

K="número de Canales de atención Escenario Actual"

K=2

K

" $K \cdot \mu = x$ "

$x = K \cdot u$

x

#Condición

if(x<=lambda)print("No cumple")

if(x>lambda)print("cumple")

#Cumple

"TEORÍA DE COLAS: MODELO M/M/K"

"Supuesto: Los clientes siempre esperan en una sola línea de espera y luego se distribuyen a los canales de atención"

"ESCENARIO ACTUAL"

"NOTACION OPERACIONAL"

"Parámetros"

K=2

K

u

lambda

#ECUACIONES DEL MODELO

#1. Probabilidad de que no haya unidades en el sistema

k1<-(K-1)

suPo<-c()

for(i in 1:k1)

{suPo[i]<-((lambda/u)^i)/factorial(i)

}

suPo

Po<-round(1/(1+sum(suPo)+(((lambda/u)^K)/factorial(K)*(K*u)/(K*u-lambda))),4)

Po

#2. Cantidad Promedio de unidades en línea de espera

num<- ((lambda/u)^(K))*(lambda*u)

num

den<-factorial(K-1)*((K*u)-lambda)^2

den

Lq<-round((num/den)*Po,0)

Lq

#3. Cantidad promedio de unidades en el sistema

L<-round(Lq+(lambda/u),0)

L

#4. Tiempo Promedio que pasa una unidad en la línea de espera

Wq<-Lq/lambda

Wq

#5. Tiempo promedio que pasa una unidad en el sistema

```
W<-Wq+(1/u)
W
```

#6. Probabilidad de que una unidad que llega tenga que esperar por el servicio ó Factor de utilización para la instalación de Servicio

```
a<-(1/factorial(K))*((lambda/u)^K)
a
```

```
b<-(K*u)/((K*u)-lambda)
b
```

```
Pw<-a*b*Po
Pw
```

#7. Probabilidad de n unidades en el sistema
n="Número de Unidades en el sistema"
n=4

```
if(n<=K)print("Pn1:Caso1 donde n<=K")
Pn1<-{((lambda/u)^n)/factorial(n)}*Po
Pn1
```

```
if(n>K)print("Pn2:Caso2 donde n>K")
Pn2<-{((lambda/u)^n)/(factorial(K)*(K^(n-K)))}*Po
Pn2
```

```
"Resumen de Resultados"
Resum<-data.frame(Po,Lq,L,Wq,W,Pw,Pn1,Pn2)
Resum
```

```
#ESCENARIOS ALTERNATIVOS K=3,4,5
```

```
#####
```

```
#ASIGNACIÓN DE PERSONAL
```

```
FASE TRES
```

```
install.packages("lpSolve")
library(lpSolve)
```

ESCENARIO ACTUAL

#Parámetros del problema de asignación de personal del Peaje

```
coef <- c(42610.40,42610.40,74568.24)
```

```
A1<- matrix(c(
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
1      ,      0      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      1      ,      0      ,
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
0      ,      0      ,      1      ,
```

```
), nrow=24, byrow=T)
```

#Sujeto a

```
b <- c(2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,4,4,4,4,4,4,4,2,2,2)
```

```
dir <- rep('>=',24)
```

Solución

```
solucion <- lp('min', coef, A1, dir, b, all.int=TRUE)
```

```
solucion$objval
```


1	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	1	,	0	,	0	,	0	,	0
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	1	,	1	,	0	,	0	,	0
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	1	,	1	,	1	,	0	,	0
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	0	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,	0
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	1	,
	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	1	,	1	,	1	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,								
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	1	,	1	,	1	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	0	,

	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
0	,	0,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	1	,	1	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	1	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	1	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	1
	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,
	1	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0
	,	0,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	1
	,	0	,	0	,	0	,	0	,	1	,
	1	,	1	,	1	,	1	,	1	,	1
1	,	1,	,	0	,	0	,	0	,	0	,
	0	,	0	,	0	,	0	,	0	,	0

```

      ,      0      ,      0      ,      0      ,      0      ,      0      ,
      1      ,      1      ,      1      ,      1      ,      1      ,
      ,      1
), nrow=24, byrow=T)

```

```
#Sujeto a
```

```

b <- c(2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,2,4,4,4,4,4,4,4,2,2,2)
dir <- rep('>=',24)

```

```
# Solucion
```

```

solucion <- lp('min', coef, A1, dir, b, all.int=TRUE)
solucion$objval
solucion$solution

```

Vita

Nacida el 16 de octubre de 1995, en la ciudad de Bucaramanga del Departamento De Santander, Colombia; hija de Victor Julio Rey Gómez y Teresa Duarte Villamizar, desde niña vivió en La Mesa de Los Santos, lugar que la acogió y vio crecer. Cursó sus estudios primarios y Secundarios en la Institución Educativa La Fuente sede A. Durante sus años de estudio obtuvo notas sobresalientes y menciones honoríficas por su excelente rendimiento, obtuvo la medalla a mejores resultados en las pruebas saber 11 ICFES 2012 del municipio de Los Santos, y recibió la medalla de la excelencia de su institución.

Amante de la naturaleza, la lectura, la música, el canto y el servicio a Dios, miembro de la Iglesia pentecostal unida de Colombia en la cual ha liderado varios comités. Caracterizada por su entrega, dedicación e integridad en lo que hace, buscando siempre dejar una huella en quienes la rodean, perseverante, visionaria, esforzada y de espíritu soñador y aventurero. Podría decirse de ella, tal como una obra de arte con matices, a veces colorida, a veces a blanco y negro, pero siempre con sus ojos llenos de esperanza, jamás se rinde, jamás deja de sorprender.