



**PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**MAESTRÍA EN TRANSPORTES**

**TESIS**

**“PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE PEAJE EN EL PROYECTO RUTA VIVA “VÍA DE INTEGRACIÓN DE LOS VALLES” Y CONEXIÓN AL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO.”**

**TOMO I**

**PREPARADO POR:**

Ing. Jhon Fernando Pesántez Jiménez

**DIRECTOR:**

Ing. Jean Pol Armijos L.

**REVISORES:**

Ing. Fredi Paredes V.

Ing. Mario Villagómez H.

**QUITO, OCTUBRE 2014**



# Pontificia Universidad Católica del Ecuador

FACULTAD DE INGENIERÍA  
MAESTRÍA EN TRANSPORTES

E-MAIL: faparedes@puce.edu.ec  
Av. 12 de Octubre 1076 y Roca  
Apartado postal 17-01-2184  
Fax: 593 – 2 – 299 16 21  
Telf: 593 – 2 – 299 16 20  
Quito - Ecuador

La tesis de Grado “PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE PEAJE EN EL PROYECTO RUTA VIVA “VÍA DE INTEGRACIÓN DE LOS VALLES” Y CONEXIÓN AL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO.”, ha sido realizada enteramente por el señor: **\_ Ing. Jhon Fernando Pesántez Jiménez \_** bajo la Dirección del **\_ Ing. Jean Pol Armijos L.** y revisada por los Ingenieros **\_ Ing. Fredy Paredes V. y Ing. Mario Villagómez H.\_**, quienes dejan constancia de lo antes indicado.

---

Ing. Jean Pol Armijos L.  
**DIRECTOR DE TESIS**

---

Ing. Fredi Paredes V.  
**REVISOR**

---

Ing. Mario Villagómez H.  
**REVISOR**

## AUTORÍA

El proceso de investigación realizado en la presente tesis como: análisis, modelos, verificaciones, conclusiones y recomendaciones, así también como observaciones son de absoluta responsabilidad del autor.

Además, cabe indicar que la información recopilada para el presente trabajo, como bases de datos brindada por la UPEV (Unidad de Proyectos Especiales de Vialidad) de la EPMMOP, SMDMQ (Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito), Empresas TELVENT - SCHNEIDER ELECTRIC, textos adicionales y páginas web, se encuentra debidamente especificada en el apartado de referencias.

*Jhon Fernando Pesántez Jiménez*

## AGRADECIMIENTOS

Primero deseo agradecer a DIOS por haberme dado la oportunidad de vivir este proceso educativo y profesional, el cual gracias a él, está siendo culminado felizmente.

Agradezco sinceramente a todas las personas e instituciones, que han hecho posible el desarrollo del trabajo realizado, especialmente:

Al Ing. JEAN POL ARMIJOS L., quien con su orientación, tutoría y su profesional disposición para guiar la investigación, fue pieza clave para el desarrollo general de la temática abordada.

Al Ing. JOSÉ VICENTE TORRES GARIBAY, Director General de América Latina de PTV GROUP, por su respaldo a través del otorgamiento de una licencia académica del software PTV VISSIM, con la cual no hubiera sido posible realizar todos los análisis necesarios para el desarrollo de la presente tesis.

Al Ing. SANTIAGO JÁTIVA ORDOÑEZ, Gerente de la Unidad de Proyectos Especiales de Vialidad de la EPMMOP Quito, por brindarme su apoyo a través de la información necesaria para la realización del presente trabajo de grado.

*Jhon Fernando Pesántez Jiménez*

## DEDICATORIA

Con especial cariño y aprecio, por todo el apoyo que he recibido de ellos, no solo en los estudios, sino en toda mi vida, dedico esta investigación a mi familia: en especial a mi novia Maritza Elizabeth Masache Espinoza, a mi madre María Piedad Jiménez Tinitana y a mis hermanos Ruth y David, como también a mis abuelitos maternos Luz Francisca Tinitana y Jorge Enrique Jiménez quienes me han motivado siempre a cumplir esta meta.

*Jhon.*

## **CARTAS DE RESPALDO**

## **CARTA DE RESPALDO INSTITUCIONAL**

### **GERENCIA DE PROYECTOS ESPECIALES DE VIALIDAD**

#### **CERTIFICADO:**

Por medio de la presente certifico que es interés de la Unidad de Proyectos Especiales de Vialidad de la EPMMOP el desarrollo de la investigación propuesta por el Ing. Jhon Fernando Pesántez Jiménez cuyo tema corresponde a la **PROPUESTA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE ESTACIONES DE PEAJE EN EL PROYECTO RUTA VÍVA “VÍA DE INTEGRACIÓN DE LOS VALLES Y CONEXIÓN AL NUEVO AEROPUERTO DE QUITO”**, ya que dicho tema constituye un aporte importante en las políticas institucionales para la toma de decisiones, contribuyendo con la planificación y desarrollo de la ciudad de Quito.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad para que el interesado haga uso de la presente en lo que estime conveniente.



Ing. Santiago Játiva O.  
**Gerente de la Unidad de Negocios  
Proyectos Especiales de Vialidad**

## CARTA DE RESPALDO TÉCNICO/ACADÉMICO

A quién corresponda  
Presente

Por medio de la presente se informa que el Ing Jhon F. Pesántez nos ha comunicado su interés por desarrollar su proyecto de tesis de grado intitulado: **Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto Ruta Viva “Vía de Integración de los Valles y conexión al nuevo Aeropuerto de Quito”**, haciendo uso de nuestro software de simulación **PTV VISSIM**.

Expresamos que el Ing. Pesántez tendrá nuestro soporte técnico y tendrá acceso a una licencia académica que le permitirá realizar las simulaciones necesarias.

Se expide la presente para los fines que interesado determine convenientes.

México D.F. a 21 de febrero de 2013.



Ing. José Vicente Torres Garibay  
*PTV GROUP*  
América Latina  
Director General

# ÍNDICE DE CONTENIDOS

## TOMO I

AUTORÍA .....	II
AGRADECIMIENTOS .....	III
DEDICATORIA .....	IV
CARTAS DE RESPALDO.....	V
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	VIII
ÍNDICE DE FIGURAS .....	XI
ÍNDICE DE TABLAS .....	XIII
ÍNDICE DE ANEXOS.....	XIII
CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA.....	1
1.1 TEMA .....	1
1.2 INTRODUCCIÓN .....	1
1.3 JUSTIFICACIÓN .....	2
1.4 OBJETIVO GENERAL .....	4
1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	5
2.1 EL PEAJE .....	5
2.1.1 DEFINICIÓN... .....	5
2.1.2 TIPOS DE PEAJE VIAL .....	5
2.1.3 ESTACIÓN DE COBRO DE PEAJE.....	7
2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PEAJES .....	8
2.2.1 SISTEMA DE COBRO DEL PEAJE .....	8
2.2.1.1 SISTEMA MANUAL.....	8
2.2.1.2 SISTEMA AUTOMÁTICO.....	9
2.2.1.3 SISTEMA MIXTO .....	10
2.3 ESTUDIO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PEAJE O TELE-PEAJE.....	10
2.3.1 DESCRIPCIÓN .....	10
2.3.2 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN TELE-PEAJES.....	11
2.3.3 DEDICATED SHORT-RANGE COMMUNICATIONS (DSRC) .....	13
2.3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA DSRC .....	14

2.3.4	RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)	15
2.3.4.1	SISTEMAS CON TECNOLOGÍA RFID	16
2.3.4.2	MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA RFID	18
2.3.4.3	FORMAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL LECTOR Y LA ETIQUETA RFID	20
2.3.4.4	COMUNICACIÓN CON MODULACIÓN BACKSCATTER	20
2.3.4.5	FRECUENCIAS DE OPERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA RFID	21
2.3.4.6	TIPOS DE ETIQUETAS RFID	22
2.3.4.6.1	ETIQUETA RFID PASIVA	22
2.3.4.6.2	ETIQUETA RFID SEMI-PASIVA	23
2.3.4.6.3	ETIQUETA RFID ACTIVA	23
2.3.4.7	LECTOR RFID	25
2.4	COSTOS DE OPERACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL	26
2.4.1	COSTOS FIJOS	26
2.4.2	COSTOS VARIABLES	27
2.4.2.1	MANTENIMIENTO VIAL	27
2.4.2.2	MEJORAMIENTO O MODERNIZACIÓN	28
2.4.2.3	MANTENIMIENTO INTEGRAL	28
2.5	CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO RUTA VIVA	30
2.5.1	DESCRIPCIÓN DE LA VÍA:	32
2.6	MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO	32
2.6.1	VENTAJAS DE LA MICROSIMULACIÓN CON VISSIM	33
	CAPÍTULO III	35
	METODOLOGÍA	35
3.1	DISEÑO METODOLÓGICO	35
3.2	UBICACIÓN DEL ESTUDIO	36
3.3	ÁREA DE INFLUENCIA DE LA VÍA	37
3.4	ANÁLISIS DE ESCENARIOS	38
3.4.1	ESCENARIO 1: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA	38
3.4.1.1	DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO:	38
3.4.2	ESCENARIO 2: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW	39
3.5	HIPÓTESIS	40

3.5.1	HIPÓTESIS DE LA TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS DE PEAJE.....	40
3.6	UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE.....	43
3.6.1	UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE MIXTO .....	43
3.6.2	UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE CON SISTEMA FREE FLOW.....	45
3.7	FASE EXPERIMENTAL.....	47
3.7.1	METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE SERVICIO, TIEMPO DE ESPERA Y LONGITUD DE COLA EN LOS SISTEMAS DE PEAJE.....	47
3.7.1.1	ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR .....	47
3.7.1.2	TEORÍA DE COLAS.....	50
3.7.1.2.1	CONCEPTOS GENERALES.....	51
3.7.1.2.2	CONFIGURACIONES BÁSICAS PARA EL SERVICIO.....	54
3.7.1.2.3	COSTOS DEL SISTEMAS DE COLAS .....	56
3.7.1.2.4	MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE COLAS EN ESTACIONES DE PEAJE .....	57
3.7.1.3	CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE ESPERA PARA LAS ESTACIONES DE PEAJE DEL PROYECTORUTA VIVA. ....	61
3.7.1.3.1	CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE ESPERA PARA LAS ESTACIONES DE PEAJE MIXTO.....	62
3.7.2	MICRO-SIMULACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PEAJE EN VISSIM .....	69
3.7.3	MICRO-SIMULACIÓN SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA.....	70
3.7.3.1	ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2015 .....	71
3.7.3.2	ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2020.....	73
3.7.3.3	ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2025 .....	74
3.7.3.4	ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2030.....	75
3.7.4	MICRO-SIMULACIÓN SISTEMA DE PEAJE CON FREE FLOW .....	76
3.7.5	MODELIZACIÓN FINANCIERA .....	77
3.7.5.1	DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO FINANCIERO.....	77
3.7.5.2	ANÁLISIS DE COSTOS DEL MODELO FINANCIERO .....	78
3.7.5.3	RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN FINANCIERA.....	85
	CAPÍTULO IV .....	90
	ANÁLISIS DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS PARA PEAJES .....	90
4.1	INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO.....	90

4.2	DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA:.....	90
4.3	DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE FREE FLOW .....	98
4.4	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS.....	110
4.4.1	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE PEAJE MIXTO.....	110
4.4.2	VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA FREE FLOW .....	111
CAPÍTULO V.....		112
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....		112
5.1	CONCLUSIONES.....	112
5.1.1	CONCLUSIONES DE SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA.....	112
5.1.2	CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW .....	114
5.1.3	RECOMENDACIONES.....	116
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....		119

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 2.1:	Tele-peajes con Tecnología DSRC.....	13
Figura 2.2:	Funcionamiento general de un sistema RFID .....	17
Figura 2.3:	Sistema RFID .....	19
Figura 2.4:	Modulación Backscatter .....	21
Figura 2.5:	Esquema de una tarjeta RFID pasiva .....	22
Figura 2.6:	Esquema de una tarjeta RFID Semi-Pasiva .....	23
Figura 2.7:	Esquema de una tarjeta RFID activa .....	24
Figura 2.8:	Funcionamiento de una tarjeta RFID .....	26
Figura 2.9:	Ubicación del proyecto Ruta Viva .....	31
Figura 2.10:	Diseños Definitivos de la Ruta Viva .....	33
Figura 3.1:	Metodología de trabajo aplicada para un Modelo de simulación .....	35
Figura 3.2:	Informe Ordenamiento Territorial – CORPAQ .....	37
Figura 3.3:	Sistema Manual Fijo con tarifa única (Dos Estaciones De Peaje) .....	38
Figura 3.4:	Sistema Automático Free Flow (Sistema de detección con pórticos- dos tramos de cobro) .....	39
Figura 3.5:	Ubicación de las estaciones del Sistema de Peaje Mixto .....	43
Figura 3.5a:	Vista panorámica del proyecto Ruta Viva .....	43
Figura 3.6:	Vista Frontal de la Estación de Peaje Mixto .....	44
Figura 3.7:	Vista Lateral de la Estación de Peaje Mixto.....	44
Figura 3.8:	Ubicación de los pórticos del Sistema de Peaje con Tecnología Free Flow .....	45
Figura 3.9:	Vista Aérea de la Estación de Peaje con Sistema Free Flow .....	46
Figura 3.10:	Vista Frontal de la Estación de Peaje con Sistema Free Flow .....	46
Figura 3.11:	Sistema de una sola Fase (única cola – único servidor).....	54
Figura 3.12:	Sistema Multicanal (única cola– varios servidores en paralelo) .....	54

Figura 3.13. Sistema Multicanal (única cola en serie – varios servidores).....	55
Figura 3.14. Sistema Multicanal (varias colas en paralelo – varios servidores).....	55
Figura 3.15. Sistema Multicanal (varias colas en paralelo – varios servidores).....	55
Figura 3.16. Costos de los sistemas de colas.....	57
Figura 3.17. Esquema del comportamiento de una cola.....	58
Figura 3.18. Número esperado de vehículos en el sistema E(n) versus Intensidad de Tráfico ( $\rho$ ).....	60
Figura 3.19. Probabilidad de que n vehículos estén dentro del sistema para diferentes intensidades de tráfico ( $\rho$ ).....	61
Figura 3.20. Gráfico comparativo del Flujo Vehicular en la Vía Interoceánica Sentidos Quito – Tababela, Tababela - Quito (Conteo Febrero – 2013).....	64
Figura 3.21. VISSIM programa de simulación de Tráfico de PTV.....	70
Figura 3.22. Vista de la estación de peaje mixta.....	71
Figura 3.23. Estación de peaje con cabinas de cobro mixta (manual y automáticas).....	71
Figura 3.24. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2015.....	72
Figura 3.25. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2015.....	72
Figura 3.26. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2020.....	73
Figura 3.27. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2020.....	73
Figura 3.28. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2025.....	74
Figura 3.29. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2025.....	74
Figura 3.30. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2030.....	75
Figura 3.31. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2030.....	75
Figura 3.32. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow Parte A.....	76
Figura 3.33. Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow Parte B.....	76
Figura 4.1. Estación Peaje (vista aérea).....	91
Figura 4.2. Estación Peaje (vista lateral).....	91
Figura 4.3. Cubierta de la Estación de Peaje.....	92
Figura 4.4. Acceso la Estación de Peaje (sentido Quito-Valle).....	93
Figura 4.5. Área de Operación.....	93
Figura 4.6. Edificio Administrativo.....	94
Figura 4.7. Equipos de Operación.....	94
Figura 4.8. Videocámara– Semáforo.....	95
Figura 4.9. Tickets – Notas de Venta.....	95
Figura 4.10. Isletas de Protección.....	96
Figura 4.11. Isletas de Protección.....	96
Figura 4.12. Cabinas de Peaje.....	97
Figura 4.13. Detalle de la Señalización.....	98
Figura 4.14. Sistema de peaje Free-Flow/Ort.....	99
Figura 4.15. Características del sistema de peaje Free-Flow/Ort.....	100
Figura 4.16. Arquitectura de la Solución.....	101
Figura 4.17. Distribución de Elementos en Pórtico.....	102
Figura 4.18. Panorámica General.....	103
Figura 4.19. Sistema Multicarril.....	104
Figura 4.20. Zonas de Captura de Datos.....	104
Figura 4.21. Detección de Vehículo.....	105
Figura 4.22. Lectura de TAG.....	106
Figura 4.23. Armado de Transacciones.....	109

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 3.1. Tipos de Colas más Frecuentes.....	52
Tabla 3.2. Tráfico Proyectado para la Ruta Viva TPDA .....	62
Tabla 3.3. Conteo de Tráfico en la Vía Interoceánica (Febrero - 2013).....	63
Tabla 3.4. Conteo de Tráfico de la Vía Interoceánica en la Hora Pico. ....	64
Tabla 3.5. Resumen de Tráfico para el día miércoles en la Av. Interoceánica. .....	65
Tabla 3.6. Proyección de Tráfico de la Hora Pico para la Ruta Viva en el año 2030 .....	66
Tabla 3.7. Cálculo de tiempos de espera en Estación de Peaje 1 Av. Simón Bolívar – Intercambiador Lumbisí.....	67
Tabla 3.8. Cálculo de tiempos de espera en Estación de Peaje 2 Av. Intercambiador de Puembo – Aeropuerto .....	68
<i>Tabla 3.9. Análisis de Tarifas vigentes para diferentes estaciones peajes de la provincia de Pichincha .....</i>	<i>80</i>
Tabla 3.10. Datos de Inversión para el Proyecto Ruta Viva .....	85
Tabla 3.11. Datos de tráfico vehicular utilizados en el modelización financiera .....	86
Tabla 3.12. Número de casetas por estación de peaje .....	86
Tabla 3.13. Costos de infraestructura por estación de peaje .....	87
Tabla 3.14. Tarifas fijadas para la modelización y resultados del flujo del proyecto.....	87
Tabla 3.15. Datos de Inversión para el Proyecto Ruta Viva .....	88
Tabla 3.16. Número de casetas por estación de peaje .....	88
Tabla 3.17. Costos de infraestructura por pódico de peaje con tecnología Free Flow .....	89
Tabla 3.18. Tarifas fijadas para la modelización y resultados del flujo del proyecto.....	89

## ÍNDICE DE ANEXOS

### TOMO II

#### ANEXO A

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LOS SISTEMAS DE PEAJE CON:

A1. TECNOLOGÍA MIXTA (MANUAL – AUTOMÁTICO)

A2. TECNOLOGÍA FREE FLOW

#### ANEXO B

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL PROCESO DE OPERACIÓN Y GESTIÓN  
DEL SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW

## **ANEXO C**

C1. MODELIZACIÓN FINANCIERA PARA EL SISTEMA DE PEAJE MIXTO  
(MANUAL – AUTOMÁTICO)

C2. MODELIZACIÓN FINANCIERA SISTEMA DE PEAJE FREE FLOW

## **ANEXO D**

D1. LÁMINAS DEL SISTEMA DE PEAJE MIXTO (MANUAL – AUTOMÁTICO)

D2. LÁMINAS DEL SISTEMA DE PEAJE FREE FLOW

## **CAPÍTULO I: MARCO DE REFERENCIA**

### **1.1 TEMA**

**Propuesta para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto Ruta Viva “Vía de Integración de los Valles” y conexión al nuevo Aeropuerto de Quito.**

### **1.2 INTRODUCCIÓN**

En todo el mundo, cada día, aumenta el tráfico vehicular, las autopistas construidas y los desplazamientos tanto de usuarios particulares como de transporte público. El uso de autopistas para los desplazamientos, cortos o largos, favorecen a la comodidad en la conducción, su menor congestión y el ahorro de tiempo con respecto a las carreteras normales.

Pero no todo son ventajas; hay que pagar la construcción de las autopistas de una u otra manera, financiándolas a través de los impuestos que pagamos o realizando un pago por su uso (peaje). Otra modalidad es la denominada “peaje en la sombra”, por la que una empresa privada construye y mantiene la autopista a cambio de una concesión de explotación por un largo periodo de tiempo, corriendo la financiación a cargo de los presupuestos del Estado, con un canon anual en función del tráfico. Dependiendo del país de que se trate, prima una u otra modalidad, pudiendo coexistir ambas.

El peaje tiene la ventaja de que paga quién usa y deteriora la autopista, por lo que parece una modalidad de financiación más justa que la otra en la que pagamos todos, pero tiene la desventaja de que en ese caso solamente se construirán las autopistas que se consideren rentables, por lo que la red de autopistas se puede ver muy limitada, lo que redundará en un menor confort, mayor número de accidentes, más contaminación y más horas perdidas en desplazamientos.

### **1.3 JUSTIFICACIÓN**

El Distrito Metropolitano de Quito a través de la EPMMOP, viene construyendo el proyecto vial “**Ruta Viva**” el mismo que conectará a los valles de Tumbaco y Cumbayá como también a las parroquias de Puembo, Tababela, Pifo hasta el nuevo aeropuerto de Quito, este proyecto está ubicado paralelamente a la Av. Interoceánica y se desarrolla en dirección sur-este desde la Av. Simón Bolívar hasta la parroquia Puembo con una longitud total de 12.9 Km. Actualmente se lo viene construyendo en dos Fases: **Fase I vial** que empieza con la construcción del Intercambiador Auquitas en la abscisa **0+000** hasta la abscisa **5+500** en el Sector de la Primavera adicionalmente se construye el Escalón Lumbisí que se conectará con la Av. Interoceánica en el Intercambiador del Auqui. La **Fase II vial y puentes** que comprende desde el Sector de la Primavera en la abscisa **5+500** hasta la parroquia de Puembo en la abscisa **12+900** que incluye la construcción de los intercambiadores Tumbaco 2, Puembo, Intervalles, el escalón La Cerámica (0,6 km), y los puentes sobre los ríos San Pedro y

Chiche. Es importante indicar que las inversiones estimadas en el presente proyecto superan los 185 millones de dólares<sup>1</sup>.

Con la construcción del proyecto Ruta Viva, se mejorará las condiciones de accesibilidad y los tiempos de movilización, desde el centro urbano de la ciudad de Quito con los valles del sur-este hasta el nuevo Aeropuerto ubicado en la Parroquia Tababela permitiendo el transporte de pasajeros y mercancías de manera adecuada y segura disminuyendo la congestión vehicular en la Av. Interoceánica así como también de vías aledañas. Sin embargo el mantenimiento y operación de toda infraestructura vial implica costos, los cuales pueden ser compensados a través del pago de un peaje por el servicio de la infraestructura vial.

“Desde este punto de vista en la Ruta Viva se estima que circularan diariamente de acuerdo al TPDA unos **64.091 vehículos/día** para el año 2015, clasificados entre Livianos, Buses y Pesados”<sup>2</sup>. Es por ello que dadas las necesidades de mantener operativa la infraestructura vial, una alternativa válida para financiar el mantenimiento de la vía, es la recaudación tarifaria a través de estaciones de peaje. Estas estaciones deberán contar con tecnología adecuada, que permitan integrar el tráfico y llevar un buen control en la recaudación de los vehículos que circularan por la Ruta Viva.

---

<sup>1</sup>Fuente: Portal EPMOP. (s.f.). *VÍA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS VALLES*. Recuperado de <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/proyectos/plan-vial/ruta-viva>

<sup>2</sup> Fuente: Modelización Financiera para el proyecto “Ruta Viva”. CONFIECUADOR Cía. Ltda.

#### **1.4 OBJETIVO GENERAL**

- Analizar una metodología para la implementación de estaciones de peaje en el proyecto Ruta Viva “Vía de Integración de los Valles” y conexión al nuevo Aeropuerto de Quito, que permita la operación y mantenimiento de dicha infraestructura.

#### **1.5 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar una microsimulación de la infraestructura vial, del proyecto Ruta Viva a través del paquete computacional VISSIM del PTV que permita evaluar el flujo del tráfico vehicular.
- Definir la ubicación más adecuada de las estaciones de peaje en base a los resultados de la microsimulación de transporte.
- Analizar y proponer tecnología para la implementación de las estaciones de peaje en la Ruta Viva que integre adecuadamente el tráfico a las estaciones de peaje garantizando el pago equitativo y evitando la fuga de los automotores.
- Evaluar los ingresos económicos por concepto de peaje para las diferentes categorías de vehículos.
- Analizar el crecimiento de circulación vehicular por la Ruta Viva hasta el año 2030 y su influencia en la recaudación del peaje.
- Analizar los costos de operación para el mantenimiento de la Ruta Viva.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 EL PEAJE

#### 2.1.1 DEFINICIÓN

“Se denomina peaje al pago que se efectúa como derecho para poder circular por un camino. En la antigüedad, se llamaba portazgo a la suma que debía pagarse para cruzar cierto límite (puerta) entre dos zonas territoriales o por cruzar un puente.

En términos más generales se asocia el concepto de peaje a la tasa o tarifa, que se cobra a un medio de transporte terrestre, fluvial o marítimo como derecho de tránsito, para utilizar la infraestructura de la respectiva vía de comunicación; por ejemplo a los automóviles para poder circular por una autopista, o a los barcos para poder atravesar por un canal de navegación o una hidrovía. En la mayoría de los casos, la vía o ruta marítima sujeta a peaje permite a los usuarios ahorrar tiempo de viaje y reducir sus costos de operación, con respecto al tránsito por vías o rutas alternas libres de peaje”<sup>3</sup>.

#### 2.1.2 TIPOS DE PEAJE VIAL

Hay varios tipos de peaje<sup>4</sup>:

- **Peaje abierto:** Cada cierta distancia hay una caseta de peaje, donde se abona una cantidad.

---

<sup>3</sup>Fuente: Peaje. (2014). Wikipedia. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>

<sup>4</sup>Fuente: Peaje. (2014). Wikipedia. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>

- **Peaje cerrado:** Al entrar en la carretera de peaje, se registra la entrada y se abona a la salida, según la longitud recorrida, sin más paradas intermedias (con peaje manual recoge una tarjeta a la entrada y cuando se usa el tele-peaje no se recoge tarjeta, pues el aparato se encarga de registrar la entrada).
- **Peaje anual:** En algunos países, como en Suiza, los usuarios pagan anualmente una cantidad, que se acredita mediante una pegatina en el parabrisas, que les permite circular por todas las autopistas libremente. Aquellos que solamente la utilizan ocasionalmente (turistas), tienen que pagar la misma cantidad.
- **Peaje urbano de congestión:** Es un tipo de tasa, cargo o impuesto que se cobra en algunas ciudades bajo la política de tarifas de congestión, como los implantados en Buenos Aires, Estocolmo, Londres, Milán y Singapur, ***con el propósito de disminuir la cantidad de vehículos que acceden a una determinada zona del centro para reducir la congestión de tránsito***, y en los programas más recientes, también tienen el objetivo de disminuir las emisiones de gases de efecto invernadero. Es un auténtico portazgo, y no de un peaje en el sentido tradicional, los medios de comunicación con frecuencia lo llaman "Peaje urbano".

Además hay otro medio curioso de financiar las carreteras:

- **Peaje sombra:** En este tipo de peaje una empresa financia la construcción y mantenimiento de una carretera a cambio de una concesión de explotación por un largo periodo de tiempo, sin embargo el pago de dicha concesión está cargo del presupuesto del Estado y no de los usuarios, estos pagos se realizan anualmente en función del tráfico vehicular.

### 2.1.3 ESTACIÓN DE COBRO DE PEAJE

Es la infraestructura y equipos destinados a realizar las actividades relativas exclusivamente al cobro de peaje establecido mediante la normativa vigente<sup>5</sup>.

La estación de peaje, tiene usualmente, la siguiente infraestructura mínima y necesaria:

- Estación Peaje
- Cubierta
- Accesos a la estación de peaje
- Área de Operación
- Área de Administración y Servicios
- Isletas de Protección
- Cabinas de Peaje
- Equipos de Operación
- Señalización Horizontal y Vertical

---

<sup>5</sup>Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (2008). Guía para la Ubicación y Construcción de Estaciones de Cobro De Peaje Tipo.

- Nota de Venta (documento de pago)

## **2.2 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS DE PEAJES**

En la actualidad los Sistemas de Peajes, permiten recuperar las inversiones efectuadas o a ejecutarse en la construcción de una infraestructura vial. También funcionan, como un instrumento para guiar el tránsito de modo confiable hacia canales menos congestionados, restituir la movilidad de zonas de congestión crónica y ofrecer servicios de valor agregado importantes para los operadores y las empresas de transporte (operación y mantenimiento).

### **2.2.1 SISTEMA DE COBRO DEL PEAJE**

Entre los sistemas de cobros de peajes se pueden mencionar el sistema de cobro manual, automáticos (tele-peajes o por medios electrónicos) y mixtos los cuales se describen a continuación:

#### **2.2.1.1 SISTEMA MANUAL**

Este sistema se caracteriza por disponer dentro de la estación de peaje de una caseta de cobro en la cual un operador realiza el cobro en forma manual a cada uno de los automóviles o variantes que circulan, este mecanismo de pago se lo puede realizar a través de las siguientes formas:

- Efectivo.
- Tarjeta de crédito.
- Convalidación de vales pre-impresos.

- Convalidación de exentos.
- Tarjeta de proximidad con y sin contacto (Chip) con diferentes funciones:
- Tarjeta multiviaje pre-pago: posee una cantidad de pases habilitados.
- Tarjeta cuenta corriente (pre o pospago): identifica una cuenta corriente, permite el paso si la cuenta dispone de saldo (prepago) o adiciona el viaje a la cuenta para su cobro posterior (pospago).
- Tarjeta de vecinos: el vecino compra una cantidad de viajes a una tarifa diferenciada y puede pasar mientras dure el saldo. Puede ser recargada en la propia vía.
- Tarjeta de exento: permite el paso hasta su fecha de vencimiento.

### **2.2.1.2 SISTEMA AUTOMÁTICO**

Este sistema no requiere intervención del operador, las Lectores RFID se encargan de identificar el TAG instalado en el vehículo. Todo el proceso se realiza sin detención de la unidad. La transferencia de información es directa entre la Antena, el Tag y el sistema de cobro, la forma de pago de este sistema a través de los TAG puede ser:

- Tag pre-pago: carga una cantidad de viajes.
- Tag cuenta corriente: almacena la cantidad de viajes realizados que luego se facturarán.

### **2.2.1.3 SISTEMA MIXTO**

Si bien puede existir un operador que realice los cobros manuales, una estación de peaje puede contar a la vez con la tecnología suficiente para la identificación automática de los TAGS, permitiendo de esta forma los dos medios de pago.

Este tipo de sistema es comúnmente utilizado cuando las condiciones y la composición del tráfico es variable ya sea por su lugar de origen o adaptación para el pago del peaje, evitando de esta manera la fuga y evasión del pago del peaje por parte de los usuarios de la vía.

## **2.3 ESTUDIO DEL SISTEMA AUTOMÁTICO DE PEAJE O TELE-PEAJE**

### **2.3.1 DESCRIPCIÓN<sup>6</sup>**

El “Tele-peaje”, Peaje Dinámico o Peaje Electrónico, como se lo llama en distintos países, es un sistema que permite abonar el peaje sin detenerse en las autopistas ni tener que recoger ningún ticket, evitando largas colas y la necesidad de manejar tarjetas de crédito o dinero en efectivo para ello, lo que resulta una comodidad para los conductores y un ahorro de tiempo. El tele-peaje consiste en la identificación del usuario ,que pasa por una vía determinada de la estación de peaje gracias a un pequeño transmisor instalado en su vehículo que envía una señal con su respectivo ID a una antena ,colocada en las vías que aceptan este sistema de pago.

---

<sup>6</sup>Huidobro, J. (s.f.). *El tele-peaje o peaje dinámico*. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos29/tele-peaje/tele-peaje.shtml>

Este pequeño transmisor recibe diferentes denominaciones: TAG, OBE (*On Board Equipment*), Teletac, OBU (*On Board Unit*), etc. Pero como el telepeaje no está extendido plenamente y este sistema ha de coexistir con los tradicionales métodos de pago, el dinero en efectivo o las tarjetas de crédito, es por eso que en las estaciones de peaje se habilitan vías específicas para cada uno de ellos y, así, en las vías de la estación de peaje señaladas como *vías manuales* y, por lo tanto, atendidas por una persona, se puede abonar el importe del peaje en dinero o con la mayoría de las principales tarjetas magnéticas de pago.

El pago con tarjeta, es más cómodo y rápido que el pago con efectivo, ya que reduce el tiempo de espera en la estación de peaje; además, este sistema permite recibir información detallada sobre los tránsitos realizados por la autopista.

### **2.3.2 TECNOLOGÍAS UTILIZADAS EN TELE-PEAJES**

Actualmente, existen tecnologías específicas utilizadas en los tele-peajes, éstas varían dependiendo de la cantidad de tráfico vehicular, formas de pago por el uso de la autopista y diseño de la infraestructura del peaje.

Las tecnologías DSRC (Dedicated Short-Range Communications o microondas de corto alcance) y RFID (Radio-Frequency Identification o identificación por radio frecuencia), han sido durante algunos años una solución ***para disminuir el tráfico vehicular y congestión en las***

**estaciones de peaje (tele-peajes)**, razón por la cual más adelante se detallarán los aspectos más importantes de estas tecnologías.

DSRC, en Europa es muy utilizada; las empresas VIA-T en España y TOLL COLLECT en Alemania la utilizan, ya que los requerimientos en sus tele-peajes y autopistas exigen este tipo de tecnología. Por otro lado RFID es una tecnología comúnmente utilizada en Sudamérica, SICTRANSORE la utiliza en la implantación de tele-peajes en Sudamérica.

Por años, los términos RFID y DSRC se han utilizado como sinónimos para describir una tecnología basada en etiquetas y lectores. Pero al utilizarse la banda de 5.9 GHz para DSRC estos términos se están diferenciando. Actualmente DSRC aún se encuentra en desarrollo y se la utiliza para aplicaciones específicas como el caso de los tele-peajes.

Aunque el sistema DSRC de 5,9 GHz, se constituye fundamentalmente de etiquetas y lectores, es diferente de muchas maneras a los sistemas RFID tradicionales ya que trabajan a frecuencias completamente distintas. El sistema DSRC es más como un sistema peer-to-peer es decir, que cualquiera de los extremos de un enlace puede iniciar una transacción, en tanto que los sistemas tradicionales de RFID operan en un esquema maestro-esclavo<sup>7</sup>.

---

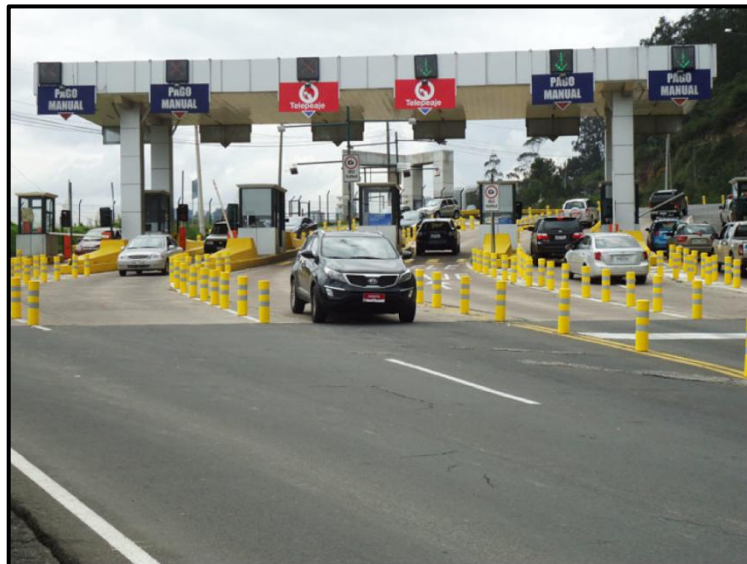
<sup>7</sup>Collins, J. (2004). Automotive RFID Gets Rolling. Recuperado de <http://www.rfidjournal.com/articles/view?866>

### 2.3.3 DEDICATED SHORT-RANGE COMMUNICATIONS (DSRC)<sup>8</sup>

Los DSRC, son sistemas de transmisión de datos de corto y medio alcance, que pueden soportar operaciones de seguridad pública y privada en entornos de comunicaciones de vehículo a infraestructura y vehículo a vehículo o viceversa.

DSRC está basado en la especificación IEEE 802.11p WAVE y se entiende como

un complemento, a los sistemas de comunicación proporcionando tasas de transferencia de datos muy altas en circunstancias donde ,es importante minimizar los tiempos de latencia en el establecimiento de los canales y el aislamiento de zonas de comunicaciones relativamente pequeñas, un caso particular es el de los tele-peajes (ver **Figura 2.1**).



**Figura 2.1:** Tele-peajes con Tecnología DSRC

**Fuente:** Estación de Peaje Túnel Guayazamin. Archivos EPMMP<sup>9</sup>

<sup>8</sup>Naranjo, J., Jiménez, F., Armingol, J., y Escalera, A. (2008). Entornos inteligentes basados en redes inalámbricas: aplicaciones al transporte, automóvil inteligente/conectado y seguridad vial. Universidad Politécnica de Madrid. Pág. 38

La comunicación de datos entre vehículo estacionado o en movimiento y equipo fijo en la carretera, se usa en aplicaciones que involucran pagos, transferencias de información para seguridad o monitorización, entre otras. Dichas aplicaciones incluyen, aunque no se limitan, a: cobro electrónico de peajes con tarjeta de crédito o débito, solicitud o recepción de información del viajero y/o asistencia e ruta y automatización de información regulatoria entre vehículos pesados y estaciones de peaje.

Para la transmisión y recepción de los datos, es necesaria la presencia de un tag DSRC y de un lector (*Transceiver* de un *Transceiver* con un PC y la forma bidireccional de comunicación con el tag DSRC.

### **2.3.3.1 CARACTERÍSTICAS DE LA TECNOLOGÍA DSRC**

- Banda de frecuencia de operación: 5.9 GHz (5.855 – 5.925 GHz)
- Ancho de banda: 75 MHz
- Tipos de modulación que se utiliza:
  - ✓ BPSK OFDM
  - ✓ QPSK OFDM
  - ✓ 16-QAM OFDM
  - ✓ 64-QAM OFDM
- Ancho de banda de los canales: de 7 a 10 MHz

---

<sup>9</sup>Archivos EPMOP. Estación de Peaje Túnel Guayazamin. Recuperado de [http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/img\\_k2/portada\\_tecnologia\\_tele-peaje.png](http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/img_k2/portada_tecnologia_tele-peaje.png)

- Velocidad de transmisión: (6, 9, 12, 18, 24 y 27) Mbps sobre canales de 10MHz.
- Potencia de transmisión máxima: 28.8 dBm (a la entrada de la antena) OBU EIRP (*On Board Unit*): 0-20 dBm (1mW – 100 mW) / Max. 44.8 dBm (30199,517mW)
- Sensitividad RSU (*Road Side Unit*) y OBU: -82 dBm (QPSK) / -65 dBm (64 QAM).
- Estrategia de compartición de banda-coordinación de frecuencia, Selección de canales alternativos para zonas adyacentes, Uso de *Carrier Sense Multiple Access* (CSMA) para prevenir interferencias entre usuarios de un mismo canal.

#### **2.3.4 RFID (RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION)**

RFID es un sistema de almacenamiento y recuperación de datos remotos que usa dispositivos denominados etiquetas, transpondedores o tags RFID. El propósito fundamental de la tecnología RFID es transmitir la identidad de un objeto mediante ondas de radio. Las tecnologías RFID se agrupan dentro de las denominadas Auto ID (*Automatic Identification*, o Identificación Automática).

Una etiqueta RFID es un dispositivo pequeño, similar a un adhesivo, que puede ser adherida o incorporada a un producto, animal o persona.

Contienen antenas para permitirles recibir y responder a peticiones por radiofrecuencia desde un emisor-receptor RFID.

#### **2.3.4.1 SISTEMAS CON TECNOLOGÍA RFID**

Los sistemas RFID se componen de dos elementos principales, un lector, que puede ser lector-grabador o sólo lector y una etiqueta (*tag* o *transponder*), que puede ser de lectura o lectura-escritura.

El transponder presenta una serie de características físicas, de programación, de escritura y de alcance, que dependen de su aplicación. Éste es un portador de datos del sistema con tecnología RFID, consiste de un elemento de acoplamiento de radio frecuencia y un microchip, dentro del cual se almacena la información deseada.

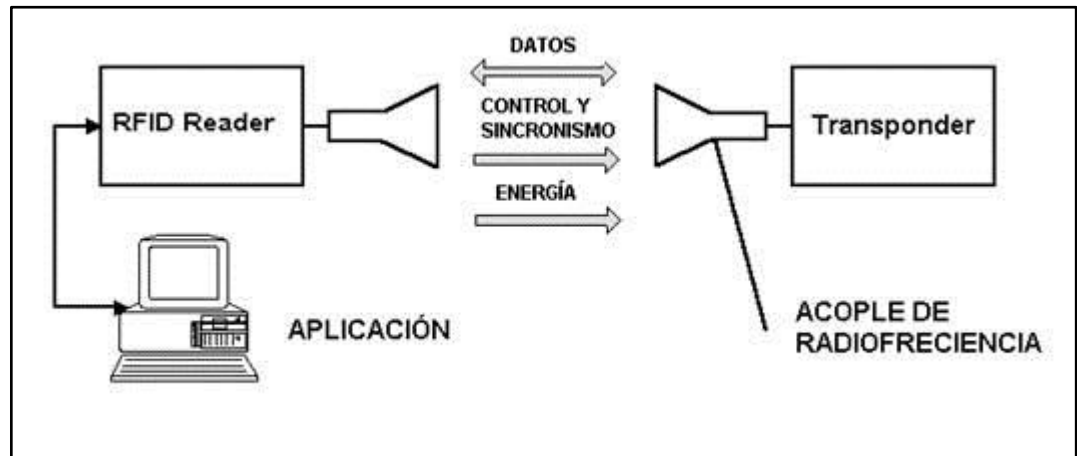
El lector se constituye de varios elementos que son los siguientes:

- Módulo de radiofrecuencia (transmisor y receptor)
- Elemento de acoplamiento.
- Unidad de control.

Algunos lectores cuentan con interfaces adicionales (*RS232; RS485, etc.*) con el propósito de permitir transferir los datos recibidos a otro sistema (*PC, robot, sistema de control, etc.*).

La **Figura 2.2** muestra un esquema de un sistema con tecnología RFID, se puede observar que el lado izquierdo corresponde al lector en conjunto con

una unidad de control *PC* y que al lado derecho está el transponder con su elemento de acoplamiento.



**Figura 2.2:** Funcionamiento general de un sistema RFID

**Fuente:** ¿Cómo gestionar la disponibilidad de autos de forma automática? (Aragon, J. (s.f.)<sup>10</sup>)

Dependiendo de las frecuencias utilizadas en los sistemas RFID, el costo, el alcance y las aplicaciones son diferentes. Los sistemas que emplean frecuencias bajas tienen igualmente costos bajos, pero también limitada distancia de uso, los que emplean frecuencias más altas proporcionan distancias mayores de lectura y velocidades de lectura superiores; así, las de baja frecuencia se utilizan comúnmente para la identificación de animales, seguimiento de paquetería, o como llave de automóviles con sistema antirrobo.

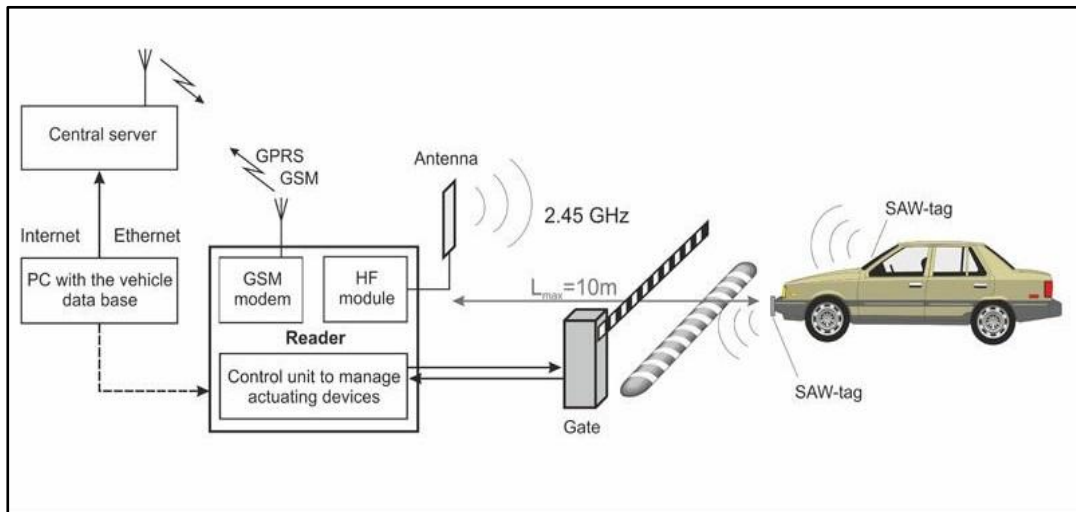
<sup>10</sup>Aragon, J. (s.f.) ¿Cómo gestionar la disponibilidad de autos de forma automática? Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos76/gestionar-disponibilidad-autos-forma-automatica/gestionar-disponibilidad-autos-forma-automatica.shtml#ixzz36i0qCJuz>

#### **2.3.4.2 MODO DE FUNCIONAMIENTO DE LA TECNOLOGÍA RFID**

El objetivo principal de la tecnología RFID es identificar automáticamente todo tipo de objetos, a los cuales se les asigna una etiqueta que contiene información única que lo identifica.

Se debe tomar en cuenta que el proceso de escritura de una etiqueta RFID emplea más tiempo que el de lectura, puesto que en el modo de escritura se realizan varios pasos que son: lectura inicial, borrada de los datos existentes, escritura y verificación, el tiempo estimado en la escritura de una etiqueta RFID es de cientos de milisegundos. El proceso de escritura implica un mayor consumo de corriente por parte de los dispositivos involucrados en este proceso, durante la escritura no debe existir otra etiqueta RFID cercana a la zona de escritura ya que accidentalmente podría modificarse su contenido.

Para detectar una etiqueta, el lector RFID es quien genera la señal de corriente alterna, la cual contiene la señal de reloj, que es transmitida en forma de campo electromagnético a través de la antena del lector, esta señal es utilizada por la etiqueta RFID, para la activación y posterior generación de una señal de respuesta que contiene el código único almacenado en su interior, como se muestra en la **Figura 2.3**.



**Figura 2.3:** Sistema RFID<sup>11</sup>

**Fuente:** Conheça a Tecnologia RFID - Gestão de Estoques. (Mattes, s.f.)

La señal transmitida por la etiqueta RFID es captada por la antena del lector durante la fase de interrogación, para luego ser procesada y transformada a formato digital por el lector, en consecuencia el flujo de datos es entregado al controlador para un procesamiento adicional.

Dependiendo de la aplicación, en este caso para un tele-peaje, una vez que el lector ha recibido el código único del vehículo, lo transmite a una base de datos donde se han almacenado previamente las características del automóvil, al cual se ha asociado la etiqueta, como pueden ser: número de placa, nombre del propietario, año de matriculación, etc.

<sup>11</sup>Mattes, G. (s.f.). Conheça a Tecnologia RFID - Gestão de Estoques. Recuperado de <http://brazillogistica.blogspot.com/2011/08/introducao-com-o-advento-da.html>

### **2.3.4.3 FORMAS DE COMUNICACIÓN ENTRE EL LECTOR Y LA ETIQUETA RFID**

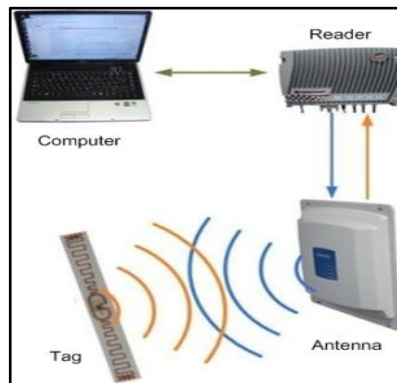
La comunicación en un sistema RFID, dependerá del tipo de etiqueta que se utilice, éstas pueden ser activas, pasivas o semi-activas, a continuación se detallan las diferentes maneras de comunicación entre el lector y la etiqueta RFID.

### **2.3.4.4 COMUNICACIÓN CON MODULACIÓN BACKSCATTER**

Esta comunicación se emplea para etiquetas RFID pasivas y semi-pasivas. Los sistemas RFID en los que la distancia entre el lector y la etiqueta es mayor a un metro se denominan de “largo alcance”; en este tipo de sistemas se utiliza la comunicación backscatter.

La comunicación backscatter describe el proceso en el cual las etiquetas RFID reflejan la señal con la misma frecuencia emitida por el lector pero cambiando la información contenida en ella.

En la **Figura 2.4** se observa que el lector de etiquetas envía continuamente una señal RF (Radio Frecuencia) de corriente alterna y el reloj de la señal a la frecuencia en la que opera la etiqueta RFID, ésta recibe la señal RF y la transforma en corriente continua. Alrededor de 1,2V se necesitan para que funcione el microchip en modo de lectura, mientras que para el modo de escritura generalmente se utilizan 2,2V.



**Figura 2.4:** Modulación Backscatter

**Fuente:** Conheça a Tecnologia RFID - Gestão de Estoques. (Mattes, s.f.)<sup>12</sup>

#### 2.3.4.5 FRECUENCIAS DE OPERACIÓN DE LA TECNOLOGÍA RFID

Al igual que cualquier tipo de tecnología inalámbrica, RFID también ocupa un rango de frecuencias, para su operación.

- Baja-Frecuencia (LF): 125 KHz y 134 KHz.
- Alta-Frecuencia (HF): 13.56 MHz.
- Ultra Alta Frecuencia (UHF): 303.8 MHz, 433 MHz y 868 MHz.
- Frecuencia de Microonda: 2.4 GHz.

Existen materiales que reaccionan muy bien en todos los rangos de frecuencias; sin embargo, otros materiales presentan limitaciones en lo que respecta a la distancia de operación y a la velocidad de transmisión de datos.

Las ondas de RF viajan a través de objetos con una significativa distorsión, por esta razón, para seleccionar la frecuencia óptima de operación de un

<sup>12</sup>Mattes, G. (s.f.) Conheça a Tecnologia RFID - Gestão de Estoques. Recuperado de <http://brazillogistica.blogspot.com/2011/08/introducao-com-o-advento-da.html>

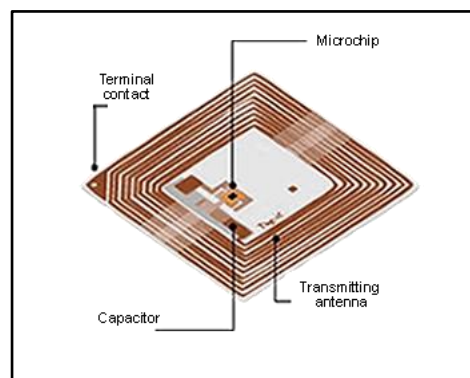
sistema RFID, se deben considerar las características del material en donde se va a aplicar la etiqueta.

#### 2.3.4.6 TIPOS DE ETIQUETAS RFID

Las etiquetas RFID pueden ser activas, semi-pasivas (o semi-activas, asistidas por batería) o pasivas. Los tags pasivos no requieren ninguna fuente de alimentación interna y son en efecto dispositivos puramente pasivos (sólo se activan cuando un lector se encuentra cerca para suministrarles la energía necesaria). Los otros dos tipos necesitan alimentación, típicamente una batería pequeña.

##### 2.3.4.6.1 ETIQUETA RFID PASIVA

Son etiquetas que no necesitan baterías adicionales, únicamente se alimentan de la energía del campo generado por el lector. La energía que necesitan para transmitir la información que contienen, proviene en su totalidad de la señal generada por el lector (ver **Figura 2.5**).



**Figura 2.5:** Esquema de una tarjeta RFID pasiva<sup>13</sup>

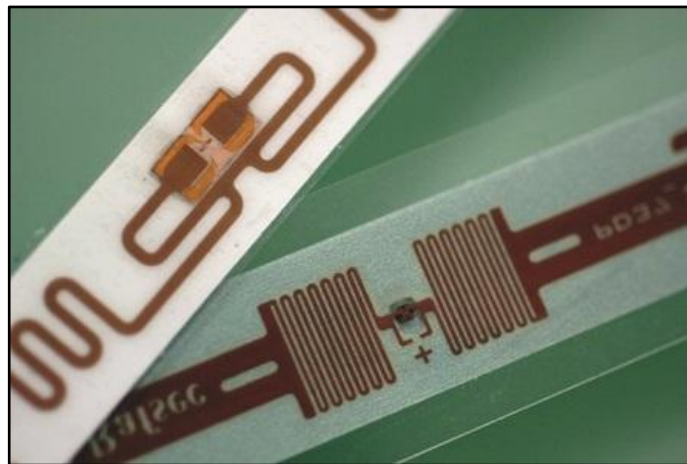
**Fuente:** Motorola RFID. (AssysLtd, 2012)

<sup>13</sup>Assys Ltd (2012). Motorola RFID. Recuperado de <http://assysltd.blogspot.com/2012/05/motorola-rfid.html>

#### 2.3.4.6.2 ETIQUETA RFID SEMI-PASIVA

Este tipo de etiquetas es muy similar al anterior, pero con la diferencia de que incluyen una pequeña batería que permite que el circuito integrado de la etiqueta esté siempre alimentado.

Esto da lugar a que las antenas, no requieran capturar la potencia de la señal entrante para devolver la señal saliente, sino que las antenas son mejoradas para la emisión de la respuesta. (ver **Figura 2.6**).



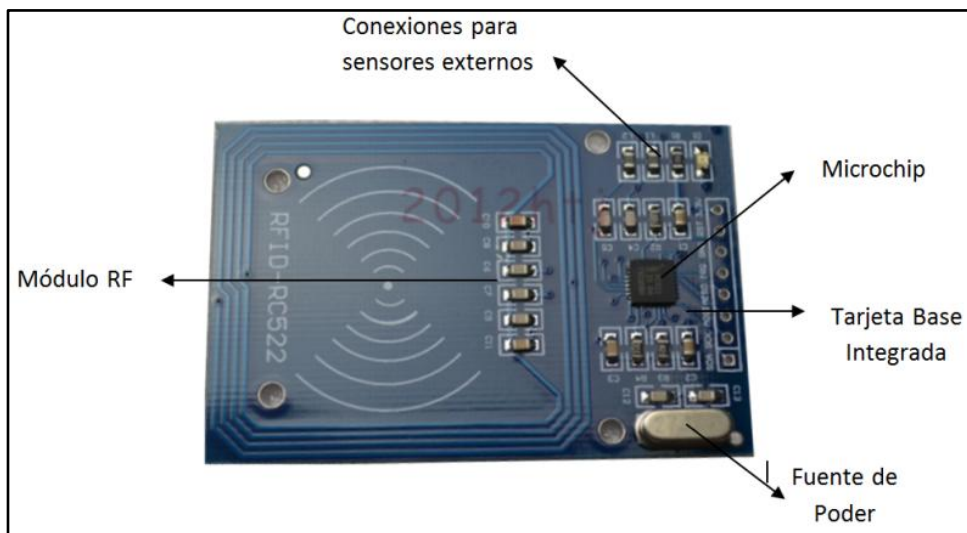
**Figura 2.6:** Esquema de una tarjeta RFID Semi-Pasiva

**Fuente:** Motorola RFID. (AssysLtd, 2012)

#### 2.3.4.6.3 ETIQUETA RFID ACTIVA

La etiqueta RFID activa tiene internamente una fuente de alimentación incluida, generalmente una batería, la etiqueta RFID activa utiliza la energía de su batería para enviar la señal al lector, por tanto no requiere de inducción para proveer de energía a sus componentes internos.

Estas etiquetas pueden diseñarse con una variedad de dispositivos electrónicos especializados tales como: microchip, diferentes tipos de sensores o dispositivos de entrada y salida. El alcance máximo para una lectura efectiva es aproximadamente 30 metros, dependiendo de la frecuencia de operación. El tiempo de vida útil de las etiquetas activas decrece conforme al grado de utilización (ver **Figura 2.7**).



**Figura 2.7:** Esquema de una tarjeta RFID activa

Fuente: Elaboración Propia

Una tarjeta RFID activa se compone de los siguientes elementos:

- **Microchip:** Las funciones del microchip de una etiqueta activa son similares a las de una etiqueta RFID pasiva y por lo general éste suele ser de menor tamaño con respecto al modelo pasivo.
- **Antena:** Las antenas de las etiquetas RFID activas pueden ser de las mismas características que las de las etiquetas pasivas, sin embargo

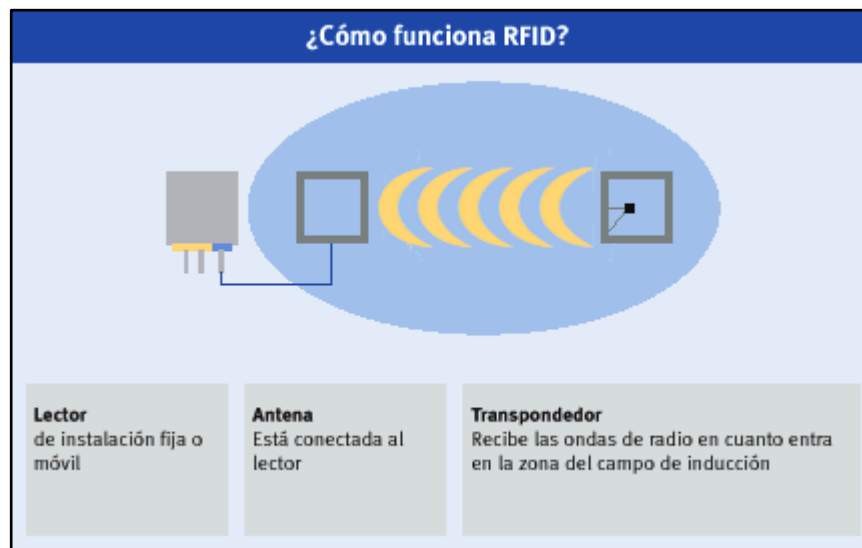
las etiquetas activas al tener una fuente propia de energía emplean módulos de RF.

- **Fuente de Alimentación:** Provee de energía a los sistemas electrónicos de la etiqueta, la vida útil de una etiqueta activa depende de la batería, en general la vida útil es de 2 a 7 años. Este ciclo depende en gran medida del tiempo de emisión de datos y del intervalo de tiempo entre emisiones, por otro lado el consumo de energía de los procesadores y/o sensores también afecta en la vida útil de la batería.

#### **2.3.4.7 LECTOR RFID**

El lector de etiquetas RFID, es un dispositivo que puede leer e incluso escribir información en una etiqueta que sea compatible con éste. En un medio pasivo el lector de etiquetas envía un pulso eléctrico a la etiqueta, por su parte la etiqueta detecta la energía del lector y envía una respuesta que contiene el número de serie de la etiqueta y dependiendo de la etiqueta, ésta puede enviar información adicional.

En un sistema RFID básico, el pulso de energía del lector funciona como un interruptor de encendido y apagado de las etiquetas; en un sistema más sofisticado, la señal de RF del lector puede contener comandos a ser ejecutados por la etiqueta, instrucciones para leer o escribir sobre la memoria de la etiqueta, e incluso contraseñas para el establecimiento de la comunicación (ver **Figura 2.8**).



**Figura 2.8:** Funcionamiento de una tarjeta RFID

**Fuente:** CXO Community. Recuperado de <http://cxo-community.com.ar/images/stories/rfid.jpg>

## 2.4 COSTOS DE OPERACIÓN EN INFRAESTRUCTURA VIAL

### 2.4.1 COSTOS FIJOS

Los costos fijos son todos aquellos costos, que se producen con el paso del tiempo en el que se paga la inversión de una infraestructura, el cual no varía con el nivel de producción aun cuando esta tienda a cero. Dentro de estos costos se consideran:

- Costos de la Obra Civil
- Costo de Fiscalización
- Costos de Expropiaciones
- Costo de Auditoría Externa

## **2.4.2 COSTOS VARIABLES**

Los costos variables son aquellos valores, que tienen relación directa con la operación y mantenimiento de la infraestructura vial permitiendo asegurar la vida útil y funcionamiento de una autopista, estos son:

- Mantenimiento Vial
- Mejoramiento o Modernización
- Mantenimiento Integral

### **2.4.2.1 MANTENIMIENTO VIAL<sup>14</sup>**

- **Conservación Normal**

Comprende los trabajos rutinarios y sistemáticos necesarios para mantener en buenas condiciones y en lo posible con las mismas características, todas las partes y elementos estructurales con las características que se construyó la carretera, como son:

- Superficie de rodamiento
- Acotamientos
- Drenaje
- Taludes
- Zonas laterales

---

<sup>14</sup>Instituto Mexicano de Transporte. (1991). Seminario Internacional de pavimentos "memoria".

- Mantenimiento de carpeta asfáltica consiste en trabajos de: bacheos, taponamiento de grietas, nivelaciones sobre carpetas, y riesgos de sello.
- Señalización (horizontal y vertical).
- **Rehabilitación o Reconstrucción:**

Incluye aquellas obras requeridas reponer totalmente o en alguna de sus partes, un tramo de carretera, sin alterar sus especificaciones geométricas o estructurales.

#### **2.4.2.2 MEJORAMIENTO O MODERNIZACIÓN**

Se modifican las características geométricas y estructurales del camino especialmente en lo concerniente a pavimentos y puentes, para aumentar su nivel de servicio y resolver los problemas originados por incrementos en el volumen de tránsito y en las cargas de vehículos.

#### **2.4.2.3 MANTENIMIENTO INTEGRAL<sup>15</sup>**

Son trabajos clasificados como menores, que sin dejar de ser importantes para tener la carretera con un buen servicio de operación, consisten en corregir fallas o deterioros en los elementos de la carretera, ocasionados por el tránsito diario y/o los agentes climáticos.

---

<sup>15</sup>Secretaría de Comunicaciones y Transportes, Subsecretaría de Infraestructura, Dirección General de Conservación de Carreteras. (2012). Libro Blanco "Programa de Mantenimiento Integral".

Mantienen el nivel óptimo de la carretera y evitan el avance de su deterioro, se programan mensualmente conforme a las necesidades por tramo son cotidianos y consisten en limpieza general de obras de drenaje, de superficie de rodamiento, de derecho de vía, bacheo, riego de sello aislado, renivelaciones, entre otros.

- **Servicios de Vialidad**

Representan aquellos trabajos que se proporcionan para asegurar las condiciones normales de transitabilidad y seguridad en el camino, a través de personal capacitado y equipado, que realiza recorridos periódicos, registrando su información para procesarse en sistemas informáticos.

- **Servicios de Vigilancia**

Son actividades para detectar anomalías en el camino, incidencias y/o accidentes, brindando atención a todos los usuarios con señalización y protección de zona de conflicto, para no interrumpir su operación, se registran y clasifican con recorridos de vigilancia, partes de incidentes y de accidentes, en general.

- **Servicios de Comunicación**

Son los que se realizan para establecer la comunicación entre usuarios y los responsables del mantenimiento, las autoridades y los servicios de emergencia - supervisión de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas durante las 24 horas de los 365 días del año, registrando

estos servicios mediante partes diarios que se inter relacionan con los incidentes y accidentes; entre los que se encuentran los frentes de trabajo, Servicios de Vigilancia, Autoridades Municipales, Policía Nacional, Cruz Roja, Atención de Grúas, Bomberos, Radios de Auxilio, etc.

- **Gestión de los Trabajos**

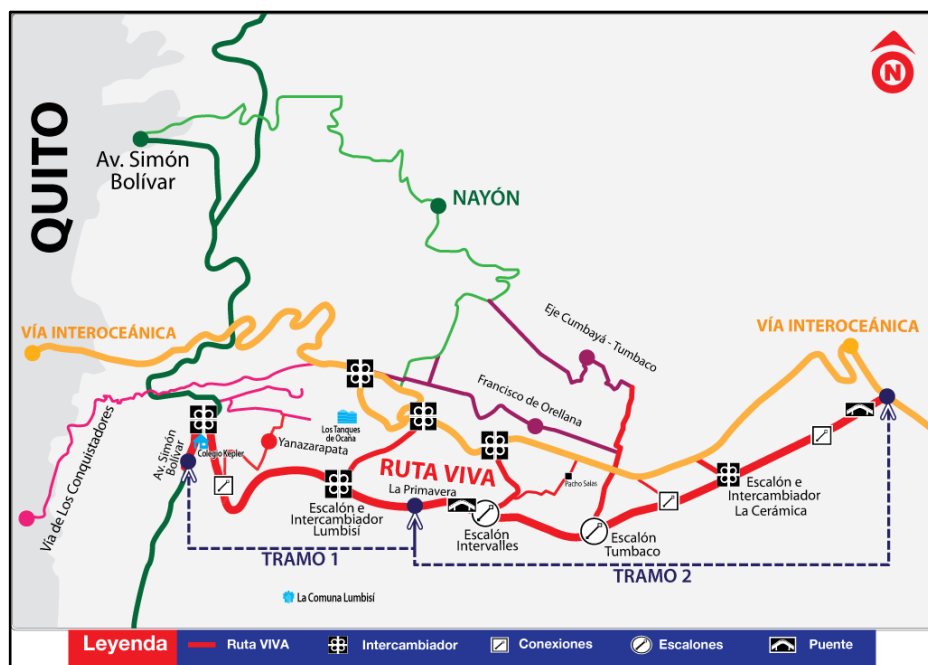
Son tareas sistematizadas que a través de una base de datos con el inventario de los elementos de las carreteras, permiten la óptima programación, seguimiento, constancia de la ejecución y evaluación de los trabajos y actividades que se realizan, determinando la prioridad y tipo de mejoras que requiere el tramo vial.

## **2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL PROYECTO RUTA VIVA**

- La Vía de Integración de los Valles "Ruta VIVA" conectará a los valles de Tumbaco y Cumbayá, está ubicada paralelamente a la av. Interoceánica y se constituirá en la verdadera vía de desfogue del parque vehicular del valle de Tumbaco.
- El proyecto se encuentra localizado en el cantón Quito, jurisdicción de las parroquias de Cumbayá, Tumbaco, Puembo, Tababela y Pifo, pertenecientes al DMQ.
- Permitirá la conexión de las parroquias de Cumbayá, Tumbaco, Pueblo, Tababela, Checa, Pifo, Yaruquí, el Quinche y el oriente

ecuatoriano, con el Quito urbano, y con el Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito.

- Facilitará el acceso hacia y desde el Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito (NAIQ) de personas y mercancías con el resto del país.
- La Ruta Viva reducirá la congestión de la Av. Interoceánica que actualmente se utiliza como una de las vías de acceso al Nuevo Aeropuerto Internacional de Quito (NAIQ) sobre todo en la hora pico, reduciendo tiempo de viaje para los usuarios.
- La longitud de la vía será de 12,9 km., entre la av. Simón Bolívar y la parroquia de Puenbo<sup>16</sup>(ver **Figura 2.9**).



**Figura 2.9:** Ubicación del proyecto Ruta Viva

Fuente: Portal EPMMOP<sup>17</sup>

<sup>16</sup>Portal EPMMOP. (s.f.). *VÍA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS VALLES*. Recuperado de <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/proyectos/plan-vial/ruta-viva>

### 2.5.1 DESCRIPCIÓN DE LA VÍA:<sup>18</sup>

Los tramos que conforman la Ruta Viva son los siguientes:

- Tramo 1: Intersección Av. Simón Bolívar – Intersección con Vía Intervalles km 0+000 – km 6+600.
- Tramo 2: Intersección con Vía Intervalles – Intersección Acceso Morita 1 km 6+600 – km 10+000.
- Tramo 3: Intersección Acceso Morita1 – Intersección con Vía Interoceánica (Puembo) km 10+000 – km 13+600.
- Tramo 4: Intersección con Vía Interoceánica (Puembo) – Intersección con Vía Conector Alpachaca km 10+000 – km 16+500.

*“Es una autovía expresa que presenta buenas características geométricas por las facilidades topográficas del terreno. Nace en la Av. Simón Bolívar (1) y llega a la Troncal Perimetral Metropolitana en Tababela.*

*La Vía contiene 5 intercambiadores, 8 puentes que se constituyen en elementos de conexión urbana, que vincularán funcionalmente los segmentos territoriales separados por la construcción de la Ruta Viva, como se observa en la fotografía.”<sup>19</sup> (ver **Figura 2.10**).*

### 2.6 MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO

La microsimulación de tráfico, es una de las ramas de la ingeniería de transporte que permite la modelación en tiempo real de diferentes

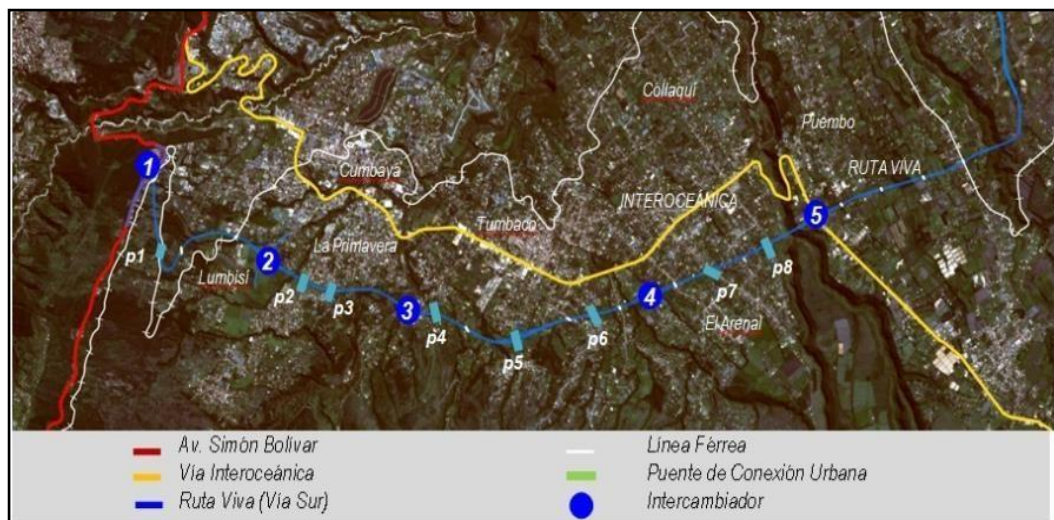
---

<sup>17</sup>Portal EPMOP. (s.f.). VÍA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS VALLES. Recuperado de <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/proyectos/plan-vial/ruta-viva>

<sup>18</sup>ASTEC. Op.Cit. Pág. 9

<sup>19</sup>ASTEC. Op. Cit. Pág. 14-15

escenarios de la actividad del transporte, es muy útil para identificar problemas y dar soluciones al tráfico que circula por la infraestructura vial, su importancia se encuentra en la versatilidad para analizar el comportamiento del transporte motorizado y peatonal en todas sus modalidades, vinculado varios aspectos que afectan a la movilidad. De esta manera se puede desarrollar una plataforma para la planificación y toma de decisiones, tanto en el control del tráfico vehicular como de la construcción y administración de la infraestructura vial.



**Figura 2.10.** Diseños Definitivos de la Ruta Viva

**Fuente:** ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto” Pág. 15

### 2.6.1 VENTAJAS DE LA MICROSIMULACIÓN CON VISSIM

VISSIM es un software desarrollado por PTV para la microsimulación de diferentes escenarios de transporte, entre sus principales ventajas podemos citar las siguientes:

- Estructura de red Tramo (link) – conector (connector).

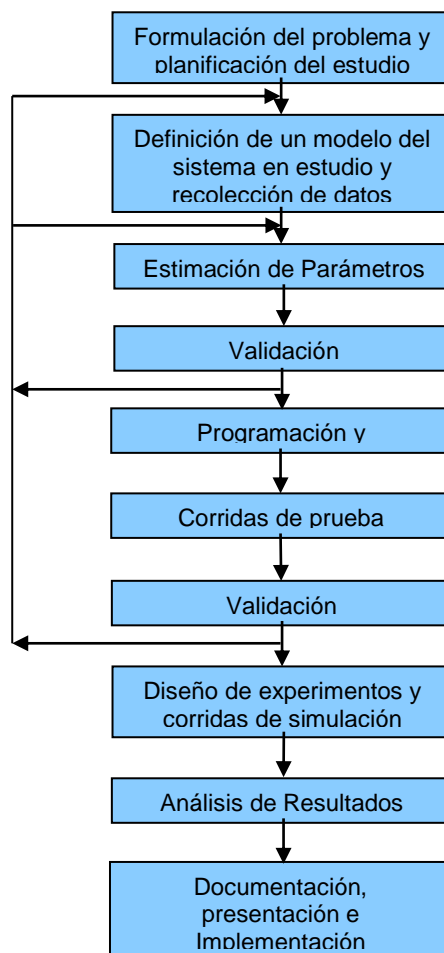
- El grado de aceptación de esta herramienta en Norte y Sur América está creciendo rápidamente.
- Incorpora la capacidad de modelación para sistemas de vehículos, peatones, ciclo-usuarios, sistemas de riel, transporte público y otros sistemas de vehículos definidos por el usuario.
- Permite la utilización de algoritmos de programación (scripts) definidos por el usuario para realizar aplicaciones adicionales como tableros dinámicos, modelos 3D dinámicos, evaluaciones especiales, entre otros.
- Tiene un módulo opcional de asignación dinámica basado en un algoritmo de iteraciones y convergencia.
- Tiene diferentes módulos para configuración avanzada de control semafórico basados en diferentes tipologías y lógicas usadas a nivel mundial.
- El módulo opcional de modelación peatonal (Pedestrian Modeller), permite analizar escenarios como evacuación de edificios, operación en diferentes tipos de escaleras, uso de transporte público, entre otros.
- Tiene una amplia gama de evaluaciones y aplicación. Brindando la posibilidad al usuario de aplicar las evaluaciones según sus necesidades y preferencias.
- Permite la configuración de rutas e itinerarios de vehículos, discriminados según su tipología.

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA

#### 3.1 DISEÑO METODOLÓGICO

El diseño metodológico, es la descripción de cómo se debe realizar la investigación en la cual se debe incluir los siguientes elementos: tipo de estudio, determinar la población y la muestra, las técnicas de recolección y el trabajo de campo.



**Figura 3.1.** Metodología de trabajo aplicada para un Modelo de simulación

**Fuente:** UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL DE SANTA FE - ARGENTINA.  
Facultad Ingeniería Sistemas de Información. Apuntes de Clase – Unidad 1 SIMULACIÓN.  
Metodología para Modelos de Simulación Pág. 11

En base a estos criterios, la metodología a emplearse delimita en la propuesta de escenarios para implementar un sistema de peaje para el Proyecto Ruta Viva, y las consideraciones para este planteamiento se sintetizan en:

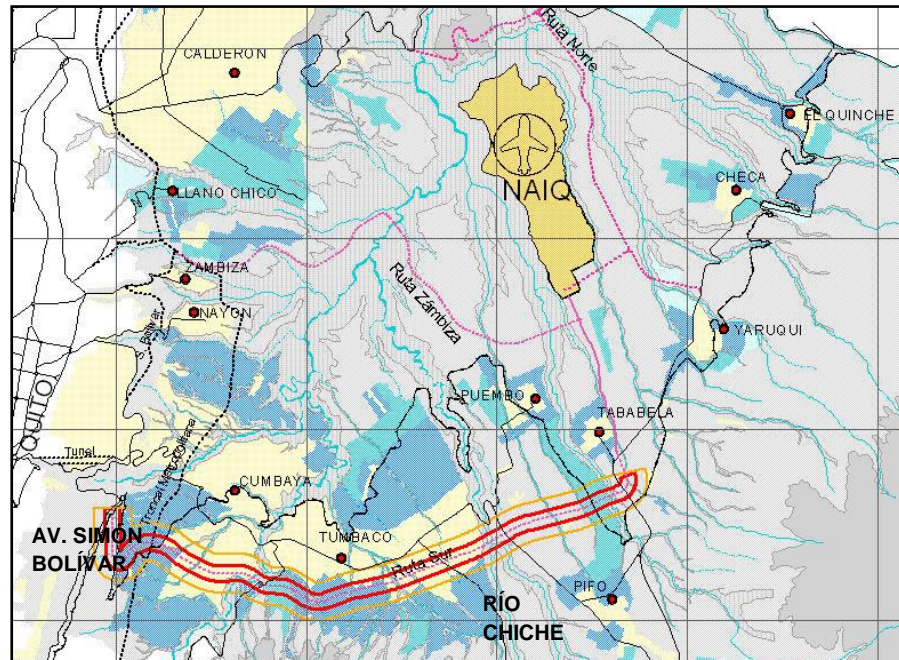
- Máxima utilidad- Sistema Eficiente: (Coherente con Matriz de Origen y Destino; y Tránsito Diario Promedio Anual - TPDA).
- Modelo Óptimo: (Disminución de la congestión vehicular y consideración de usuarios no frecuentes para el cobro de tarifas).
- Costo-Beneficio: (Rentabilidad mayor a la mínima esperada y Comparación de Tecnología).
- Menor impacto social: (Tarifas diferenciadas y justas)

Los escenarios serán validados bajo los siguientes análisis:

- Análisis de Teoría de Colas y Micro-simulación en VISSIM de las tecnologías para el sistema de peaje en Ruta Viva.
- Revisión de las alternativas a través de la “*Modelización financiera para posibles peajes en Ruta Viva*” elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

### **3.2 UBICACIÓN DEL ESTUDIO**

Este corredor vial tiene una longitud aproximada de 16,38 km. (incluye Fase I, II y III de la Ruta Viva); inicia su recorrido en la Av. Simón Bolívar, atraviesa sectores como La Primavera, Sur de Tumbaco, La Morita, cruza el Río Chiche hasta la Interoceánica en la Zona de Oyambaro, punto que se empalma con la Troncal Perimetral Metropolitana que conduce al NAIQ.



**Figura 3.2.**Informe Ordenamiento Territorial – CORPAQ

**Fuente:** ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto” Pág. 9

### 3.3 ÁREA DE INFLUENCIA DE LA VÍA

El área de influencia de la Ruta Viva en función de las actividades físicas durante su operatividad, como se describe en el estudio de ASTEC corresponde a:

- “Área de influencia directa comprende el derecho de vía (25 m a cada lado del eje, que corresponde aproximadamente a 90 Ha.
- El área de influencia indirecta, se ha considerado 200 m a cada lado del eje de la vía, lo que alcanza aproximadamente a un área de 360 Ha.”<sup>20</sup>

<sup>20</sup>ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto” Pág. 7

### 3.4 ANÁLISIS DE ESCENARIOS

#### 3.4.1 ESCENARIO 1: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA

La propuesta 1 retoma el escenario 2 analizado en el “*Modelización Financiera de los flujos económicos de potenciales peajes en las vías de acceso al aeropuerto de Quito-Ruta Viva La EPMOP*”, realizado por CONFIECUADOR Cía. Ltda., que posterior a la modelización financiera resulta viable, debido a que la rentabilidad es mayor a la mínima esperada.

La propuesta 1 se basa en un sistema mixto fijo (cobro manual y automático) planteado en dos estaciones de peaje, de tarifa única discriminada en 3 categorías: livianos, buses y pesados.



**Figura 3.3.** Sistema Manual Fijo con tarifa única (Dos Estaciones De Peaje)

Fuente: Elaboración Propia

##### 3.4.1.1 DESCRIPCIÓN DEL ESCENARIO:<sup>21</sup>

Este escenario contempla la instalación de dos estaciones de peaje, las cuales se definieron en función al estudio de tráfico para la Ruta Viva y a los desplazamientos de los vehículos a lo largo de la misma, estas son: (1) estación de peaje que se ubicaría en el tramo comprendido entre la Av.

<sup>21</sup>Modelización Financiera de los flujos económicos de potenciales peajes en las vías de acceso al aeropuerto de Quito-Ruta Viva La EPMOP, realizado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

Simón Bolívar y el Intercambiador de Lumbisí y (2) estación de peaje que se ubicaría a la salida de la vía en el Intercambiador de Puenbo. Se empieza a cobrar las tarifas de peaje sólo cuando estén operativas las dos fases de la vía, esto sería para el segundo semestre del 2014.

Se considera todo el tráfico que irá desde la Av. Simón Bolívar con dirección a Cumbaya/Lumbisí a través de la Fase 1 de la Ruta Viva. Este volumen diario pagará una tarifa de peaje por sentido, determinada para: vehículos, buses y camiones, en una estación localizada en el tramo 1. Se considera todo el tráfico que irá desde Tumbaco 2 con dirección a Puenbo a través de la Fase 2 de la Ruta Viva. Este volumen diario pagará una tarifa de peaje por sentido, determinada para: vehículos, buses y camiones.

### 3.4.2 ESCENARIO 2: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW

Este escenario propone un sistema automático Free Flow: Cámaras + Antenas (Sistema Antenas RFID Protocolo 18006C), mediante la ubicación de un Sistema de Detección: Pórtico Único **colocados estratégicamente en las entradas y salidas del proyecto Ruta Viva.**

DISCRETA



**Figura 3.4.** Sistema Automático Free Flow (Sistema de detección con pórticos- dos tramos de cobro)

Fuente: Elaboración Propia

### **Sistema Automático:**<sup>22</sup>

Este sistema no requiere intervención del operador, los Lectores RFID se encargan de identificar el TAG instalado en el vehículo. Todo el proceso se realiza sin detención de la unidad. La transferencia de información es directa entre la Antena, el Tag y el sistema de cobro, la forma de pago de este sistema a través de los TAG puede ser:

- Tag pre-pago: carga una cantidad de viajes.
- Tag cuenta corriente: almacena la cantidad de viajes realizados que luego se facturan.

## **3.5 HIPÓTESIS**

### **3.5.1 HIPÓTESIS DE LA TECNOLOGÍA PARA SISTEMAS DE PEAJE**

De acuerdo a una reflexión actual sobre la congestión del tráfico en nuestras ciudades *“El argumento básico, perfectamente demostrable, descansa sobre la idea de que se producirán mejoras sustanciales en la eficiencia económica del sistema de transporte si se implanta un sistema de precios que grava la congestión. En el costo de cada viaje percibido por cada automovilista se incluye habitualmente el tiempo de viaje y los costos de operación del vehículo (reparaciones y mantenimiento, carburante, seguros e impuestos) constitutivos de lo que se denomina “costo generalizado”. Este costo generalizado individual aumenta con el número de coches, que ocupan la carretera a partir de su capacidad de congestión. Pero es que además hay que tener en cuenta que, para la colectividad, este viaje adicional cuesta más de lo percibido por el propio usuario, ya que causa retrasos a los demás*

---

<sup>22</sup>Fuente: Peaje. (2014). Wikipedia. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>

*viajeros, contribuye mucho más a contaminar la atmósfera, empeora los niveles de ruido e intrusión visual, etc.*"<sup>23</sup> Bajo esta premisa, el objetivo de la implementación de un sistema de peaje eficiente para la Ruta Viva, anticipa a disminuir tiempos de espera a los usuarios y con ello la congestión de tráfico sobre las estaciones evitando que se generen colas y costos de viajes innecesarios.

Adicionalmente, los montos recaudados por el cobro de las tasas de peaje en Ruta Viva, podría financiar los gastos de construcción, mantenimiento y administración de la vía mejorando la operatividad y nivel servicio para los usuarios, con estas premisas se han planteado las siguientes preguntas directrices:

1. ¿La implementación de sistemas de peaje con tecnología mixta sería la más óptima para el proyecto Ruta Viva?
2. ¿El nivel de operatividad del sistema de peaje mixto sería conveniente en la hora pico?
3. ¿El costo de la implementación y operación de la tecnología mixta es sustentable en el periodo de funcionamiento del proyecto?
4. ¿La Tecnología Free Flow constituye una modernización para el sistema de Peajes de la ciudad de Quito y en Especial del proyecto Ruta Viva?
5. ¿Se puede mantener un buen nivel de servicio con la implementación de la Tecnología Free Flow?

---

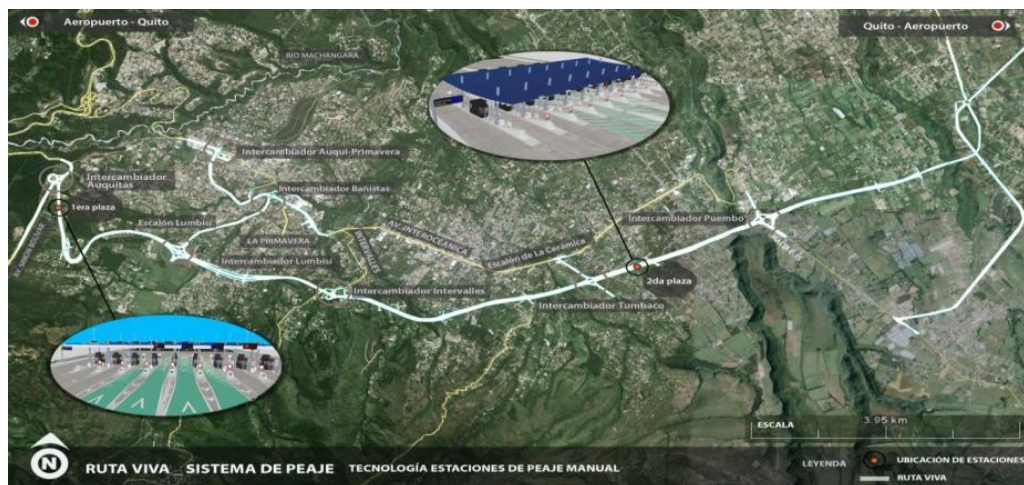
<sup>23</sup>Galarraga, X. (1995). "Peajes Urbanos: Una reflexión actual sobre la congestión del tráfico en nuestras ciudades (argumentos sociales, tecnológicos y económicos)". RIEV. Revista Internacional de los Estudios Vascos Año 43. Tomo XL. N.º 2 (1995), ISSN 0212-7016 p. 313

6. ¿La tecnología de peajes propuestas nos permite optimizar el tiempo de viaje en el trayecto de la Ruta Viva?
7. ¿El Costo de implementación de la tecnología es una variable que incide en el costo generalizado del proyecto?
8. ¿Qué tipo de Tecnología de Peajes nos permite garantizar la mayor rentabilidad para el proyecto?
9. ¿Qué tipo operación y software de funcionamiento es el más accesible para el usuario?
10. ¿Qué tipo operación y software de funcionamiento es el más accesible para el usuario y para la administración del sistema de peaje?
11. ¿El costo de operación de los vehículos se puede disminuir con la Tecnología Free Flow?
12. ¿Qué tipo de tecnología permite disminuir los niveles de contaminación en la zona del Proyecto Ruta Viva?
13. ¿Qué tipo de tecnología facilita la recaudación para la administración del peaje?
14. ¿Qué tipo de tecnología permite calcular tarifas diferenciadas que beneficien a la economía de los usuarios para Ruta Viva?

### 3.6 UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE

#### 3.6.1 UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE MIXTO

El Sistema de Peaje Manual contempla la incorporación de dos estaciones de peaje (1) estación de peaje que se ubicaría en el tramo comprendido entre la Av. Simón Bolívar y el Intercambiador de Lumbisí y (2) estación de peaje que se ubicaría dentro del tramo comprendido entre Intercambiador Lumbisí y Puenbo en la Ruta Viva.



**Figura 3.5.**Ubicación de las estaciones del Sistema de Peaje Mixto

**Fuente:** Elaboración Propia

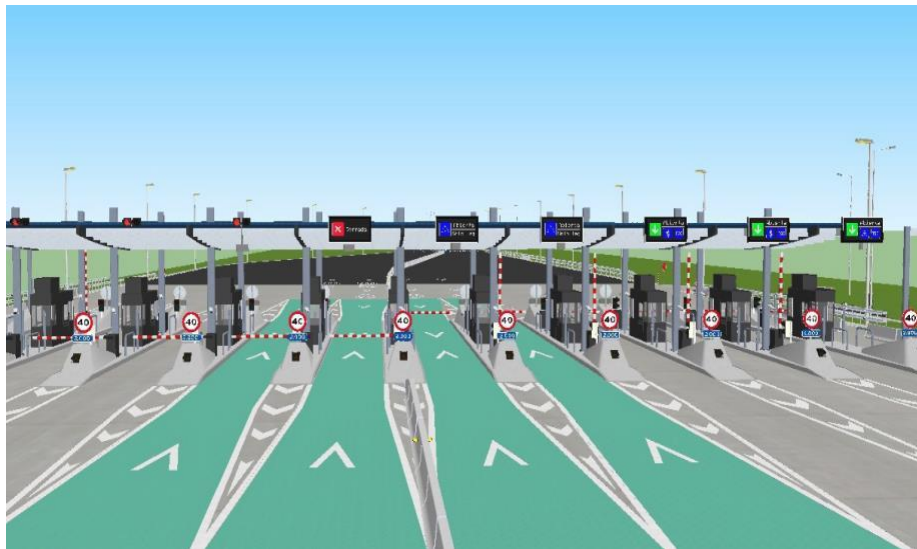


**Figura 3.5a.**Vista panorámica del proyecto Ruta Viva

**Fuente:** Elaboración Propia

- **Descripción de las Estaciones**

Las dos estaciones de peaje mixto estarán compuestas por 10 casetas de cobro, 6 casetas manuales y 4 automáticas que permitiría dar servicio a los usuarios en los dos sentidos de circulación de la Ruta Viva esto es en el sentido *Quito – Aeropuerto* y *Aeropuerto – Quito*.



**Figura 3.6.**Vista Frontal de la Estación de Peaje Mixto

Fuente: Elaboración Propia

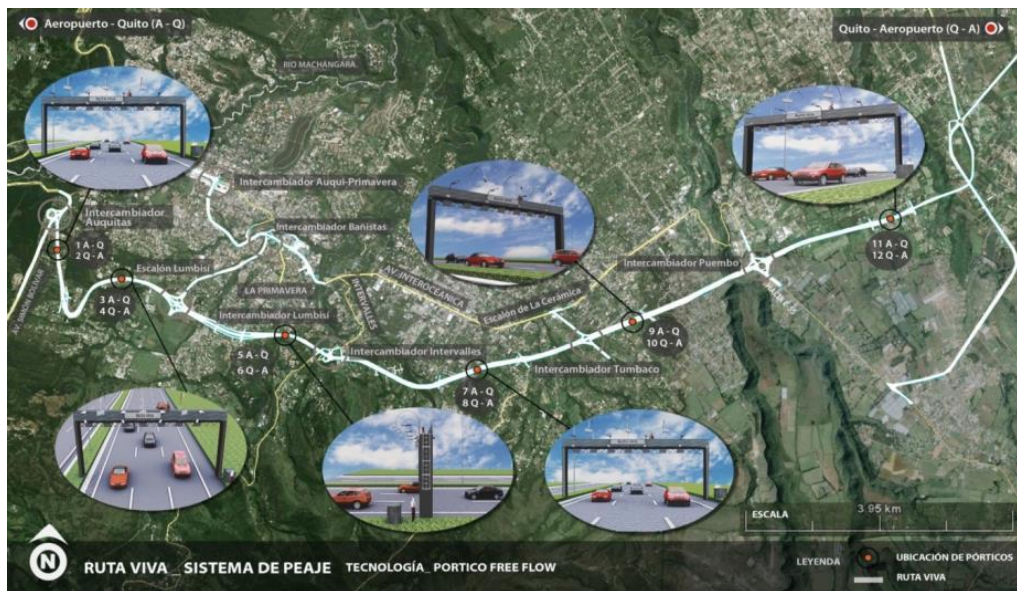


**Figura 3.7.**Vista Lateral de la Estación de Peaje Mixto

Fuente: Elaboración Propia

### 3.6.2 UBICACIÓN Y ANÁLISIS DE LAS ESTACIONES DE PEAJE CON SISTEMA FREE FLOW

En Sistema de peaje con tecnología Free Flow, contempla la ubicación de 12 pórticos para el control del tráfico y cobro de peaje a lo largo de la Ruta Viva esto es 6 pórticos en el sentido de circulación *Quito – Aeropuerto* y 6 pórticos en el sentido *Aeropuerto – Quito*.

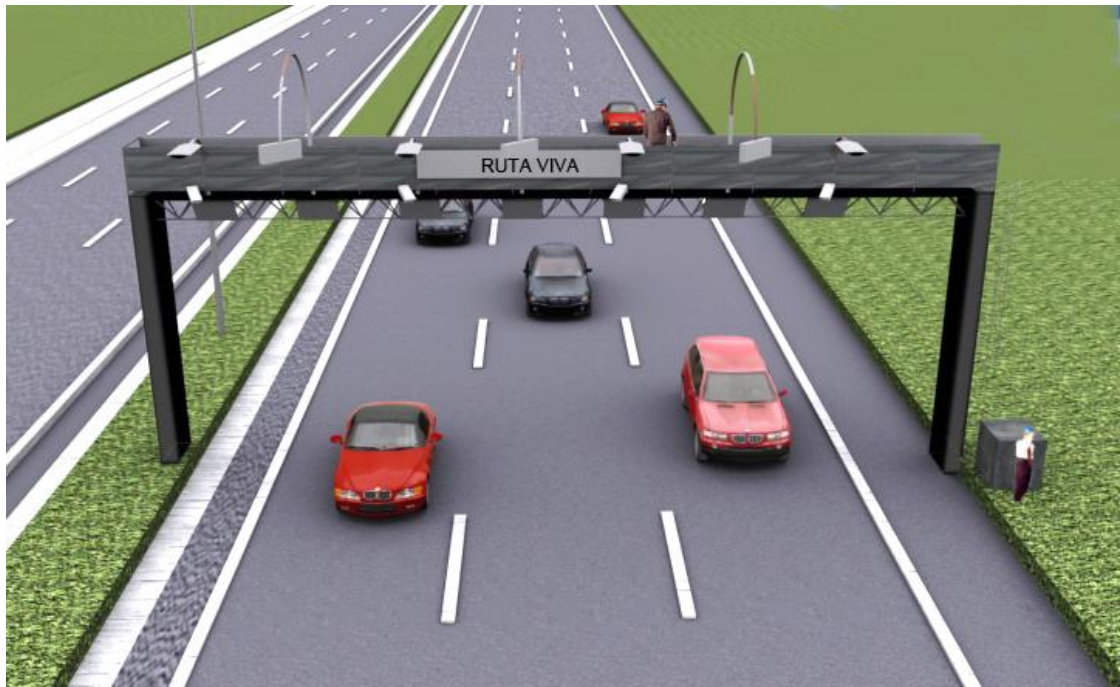


**Figura 3.8.** Ubicación de los pórticos del Sistema de Peaje con Tecnología Free Flow

Fuente: Elaboración Propia

- **Descripción de los estaciones (pórticos)**

Las estaciones (pórticos) del sistema de peaje Free Flow, estará compuesto por cámaras y laser de para el escaneo de la matrícula de los vehículos que circulan por la autopista, así como también de un sistema de antenas para la detección del TAG (RFID) y decodificadores que permitirá realizar las operaciones de registro y transferencia financiera por el pago del peaje el mismo que podrá ser prepago o pospago.



**Figura 3.9.** Vista Aérea de la Estación de Peaje con Sistema Free Flow  
**Fuente:** Elaboración Propia



**Figura 3.10.** Vista Frontal de la Estación de Peaje con Sistema Free Flow  
**Fuente:** Elaboración Propia

### **3.7 FASE EXPERIMENTAL**

En esta etapa de la investigación, se procede a realizar un análisis del funcionamiento de los dos escenarios propuestos, para la implementación del peaje en la Ruta Viva, para lo cual se realiza un cálculo de los tiempos de servicio, tiempo de espera de los sistemas y longitud de la cola aplicando TEORÍA DE COLAS de Estadística Operacional metodología, muy utilizada por la Ingeniería de Transporte para diferentes análisis del tráfico vehicular y planificación de transporte.

Posteriormente como una comprobación de los análisis realizados se ejecuta una simulación de los dos escenarios en el paquete computacional VISSIM de PTV con la finalidad de apreciar la funcionalidad y aplicación de las dos alternativas en el tiempo.

Finalmente se hace un análisis de la modelización financiera, de todos los costos de infraestructura, operación y mantenimiento para determinar la recuperación de las inversiones realizadas en el Proyecto Ruta Viva.

#### **3.7.1 METODOLOGÍA PARA EL CÁLCULO DEL TIEMPO DE SERVICIO, TIEMPO DE ESPERA Y LONGITUD DE COLA EN LOS SISTEMAS DE PEAJE.**

##### **3.7.1.1 ANÁLISIS DE TRÁFICO VEHICULAR**

*“Al igual que muchos sistemas dinámicos, los medios físicos y estáticos del tránsito, tales como carreteras, calles, intersecciones, terminales, estaciones de peaje etc., están sujetos a ser cargados por un volúmenes de tránsito,*

con características espaciales y temporales, es decir ocupan espacio y se producen en un intervalo de tiempo. Estas distribuciones son interpretadas como **la necesidad de las personas de desplazarse a través de un espacio y en un determinado tiempo.**

El punto de partida inicial, para análisis de tránsito es el conteo de vehículos, peatones y transporte público, mismos que entregan los siguientes datos.

- Volumen
- Tasa de Flujo
- Demanda
- Capacidad

Estos cuatro parámetros están relacionados estrechamente, sin embargo cada uno representa un distinto factor.

- **El volumen**, expresa el número de vehículos o peatones que circulan por un punto en un intervalo de tiempo.
- **La tasa de flujo**, es la frecuencia a la cual pasan personas o vehículos, durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.
- **La demanda**, es el número de vehículos o personas que desean moverse y pasan por un punto en un tiempo específico. Donde existe congestión la demanda es superior al volumen, ya que algunos actores toman rutas alternas, o simplemente no lo hacen debido al congestionamiento.

- **La capacidad**, es el número máximo de vehículos o peatones que el sistema puede servir durante un tiempo específico, en un punto determinado. Es una característica del sistema vial y representa su oferta. La capacidad tiene dos formas de medirse, una que es la estimada, o proyectada, y que se tendrá en un proyecto nuevo, en el que aún no ha sido usado el sistema en su máxima capacidad, y la capacidad real, que es el valor exacto cuando el sistema está trabajando al límite.

### **Volumen de tránsito**

Al volumen de tránsito se puede definirlo, **como el número total de vehículos que pasan por un determinado periodo de tiempo**. Dependiendo del período de tiempo podemos tener distintos tipos de volumen de tránsito, todos válidos pero de diferente interpretación.

### **Variación horaria del volumen de tránsito**

Las variaciones de los volúmenes de tránsito a lo largo de las horas del día, dependen del tipo de ruta, según las actividades del sector, puesto que hay rutas de tipo turístico, agrícola, comercial, etc.

Por ejemplo en zonas agrícolas las variaciones horarias dentro de la época de cosecha son críticas, puede ser que en ciertas horas de la noche no haya absolutamente un vehículo y sin embargo a determinadas horas del día hay una cantidad de vehículos que pueden llegar a saturar una carretera de dos carriles. En el caso de una carretera de tipo turístico, durante los días de la semana existe un tránsito más o menos normal a lo largo de todas las horas, pero los sábados y domingos pueden llegar a volúmenes altos,

*concentrándose varias horas del día con demandas máximas. Continuando con este ejemplo se puede suponer al día sábado, de las 8 de la mañana a las 11 o 12 el volumen horario es muy grande, en la tarde baja y en la noche es bastante pequeño. El domingo, en la mañana presenta volúmenes horarios medianos, y en la tarde máximos, en las horas de regreso a la ciudad, ocurriendo largas filas de automóviles. Son variaciones horarias que ocurren en cualquier parte del mundo, que se pueden prever mediante los estudios necesarios.*

*En las ciudades se tiene una variación típica de la siguiente manera, la madrugada empieza con bajo volumen de vehículos, el cual se va incrementando hasta alcanzar las cifras máximas **entre las 7:30 y las 9:30 horas**. De las 9:30 a las 13:00 horas vuelve a bajar y empieza a ascender para llegar a otro máximo **entre las 13:00 y 14:00 horas**. Vuelve de nuevo a disminuir entre las 14:00 y 17:00 horas, en que asciende a un máximo por tercera vez **entre las 17:00 y las 20:00 horas**. De esta hora en adelante tiende a bajar al mínimo en la madrugada.*<sup>24</sup>

### **3.7.1.2 TEORÍA DE COLAS**

Uno de los grandes temas que conciernen a la Ingeniería de Tránsito es el serio problema de la congestión, el cual se presenta en vías urbanas especialmente durante horas punta. En los periodos de máxima demanda, el movimiento vehicular se va tornando deficiente con pérdidas de capacidad,

---

<sup>24</sup>Fuente: UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR. Repositorio Digital. Tesis: "Uso de agentes inteligentes para la simulación y evaluación microscópico del flujo de tránsito en el redondel comprendido entre las avenidas Fray Vicente Solano y Remigio Crespo, en la ciudad de Cuenca, usando software libre" Autor: Pesántez Caguana Patricio. Capítulo 2. Análisis de Tráfico Urbano. Pág. 1-2-8 <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/148>

lo que hace que el sistema tienda a saturarse, hasta llegar a niveles de congestión, con las consiguientes demoras y colas. La formación de colas es un fenómeno de espera asociado a muchos problemas de tránsito, como el que se puede presentar en las rampas de ingreso hacia autopistas, el acceso a intersecciones señalizadas o no señalizadas, en zona de incidentes o cierres eventuales de un carril o calzada, etc.

Los arribos pueden ser descritos como una distribución determinística o probabilística. La distribución para el tráfico promedio la describe usualmente la distribución de Poisson y esta es generalmente usada en teoría de colas relacionada al flujo de vehículos.

#### **3.7.1.2.1 CONCEPTOS GENERALES**

- **Método de servicio**

Las colas también pueden clasificarse por el método que usan para servir los arribos o elementos que llegan. Esto incluye la conocida y generalizada ley de servicio: “el primero en llegar, es el primero en recibir el servicio”, donde se sirve a las unidades en el orden en que éstas arriban, o la ley de servicio “último en llegar es el primero en ser servido”, que es en reversa al orden de llegada. El método de servicio, también puede basarse en prioridades, donde las llegadas son direccionadas a colas específicas con apropiadas prioridades de diferente nivel de servicio. Las colas son servidas en este caso en diferentes órdenes de niveles de prioridad.

**Tabla 3.1.**Tipos de Colas más Frecuentes

<b>COLAS MÁS FRECUENTES</b>		
<b>SITIO</b>	<b>ARRIBOS EN COLA</b>	<b>SERVICIO</b>
Supermercado	Compradores	Pago en cajas
<b>Peaje</b>	<b>Vehículos</b>	<b>Pago de peaje</b>
Consultorio	Pacientes	Consulta
Sistema de Cómputo	Programas a ser corridos	Proceso de datos
Compañía de teléfonos	Llamadas	Efectuar comunicación
Banco	Clientes	Depósitos y Cobros
Mantenimiento	Máquinas dañadas	Reparación
Muelle	Barcos	Carga y descarga

**Fuente:** Apuntes de Clase. Estadística Operacional. Ing. Paúl Idrobo. Maestría en Transportes. Pontificia Universidad Católica del Ecuador

- **Características de la longitud de la cola**

La longitud máxima de la cola, esto es el máximo número de unidades en la cola, se especifica en cada caso si la cola es finita o si no hay restricción en la longitud de la cola. Las colas finitas son algunas veces necesarias cuando el área de espera es limitada.

Una cola de espera está compuesta de tres elementos:

- Arribos o ingresos al sistema
- Disciplina en la cola
- Servicio

Estos tres componentes tienen ciertas características que deben ser examinadas antes de desarrollar el aspecto matemático de los modelos de cola.

- **Características de arribo:**

La fuente de ingreso que genera los arribos o clientes para el servicio tiene tres características principales:

- Tamaño de la población que arriba
- Patrón de llegada a la cola
- Comportamiento de las llegadas.

El tamaño de la población puede ser:

- infinito (ilimitado), o
- limitado (finito)

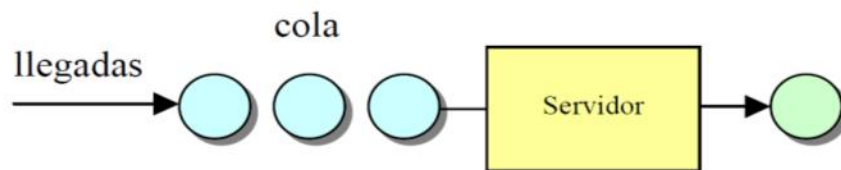
- **Tamaño De La Población**

**Población Infinita (ilimitada):** Cuando el número de clientes o arribos en un momento dado es una pequeña parte de los arribos potenciales. Para propósitos prácticos poblaciones ilimitadas pueden considerarse a **los vehículos que se acercan a una caseta de peaje**, los aficionados a un partido del mundial de Fútbol, clientes en un supermercado. La mayoría de los modelos asume arribo infinito.

**Población de arribo limitada o finita:** Cuando se tienen muy pocos servidores y el servicio es restringido. Ej.: los pacientes en un consultorio médico

### 3.7.1.2.2 CONFIGURACIONES BÁSICAS PARA EL SERVICIO

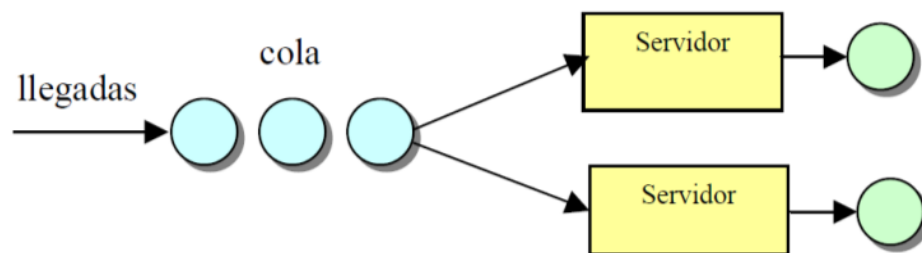
- **Sistema de una sola fase:** Es aquel en el cual el cliente recibe el servicio de una sola estación y luego abandona el sistema. Un restaurant de comida rápida en el cual la persona, que toma la orden también le entrega el alimento y cobra, es un sistema de una sola fase.



**Figura 3.11.** Sistema de una sola Fase (única cola – único servidor)

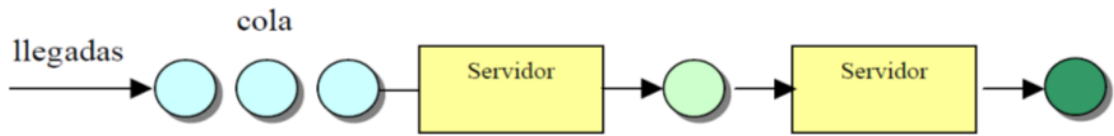
**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 6

- **Sistema de cola multicanal:** Son principalmente los cajeros de un banco o estaciones de peaje en la cual hay una o varias colas esperando ser atendidos por varios servidores.



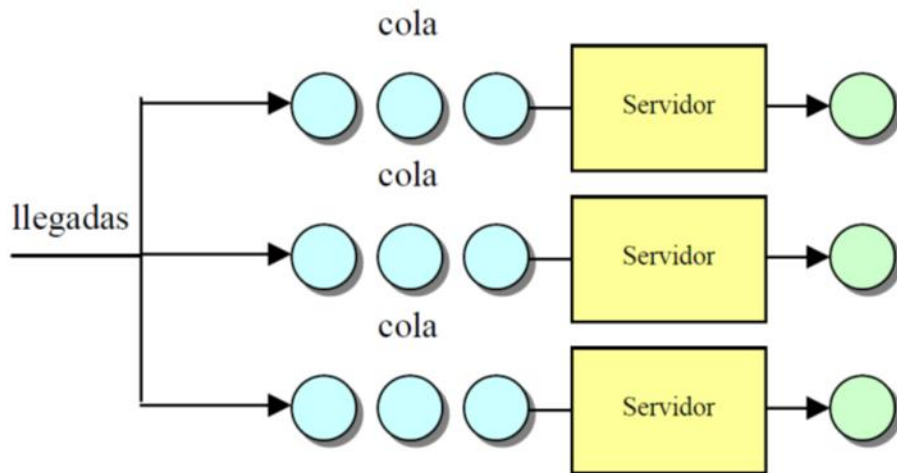
**Figura 3.12.** Sistema Multicanal (única cola– varios servidores en paralelo)

**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 6



**Figura 3.13.** Sistema Multicanal (única cola en serie – varios servidores)

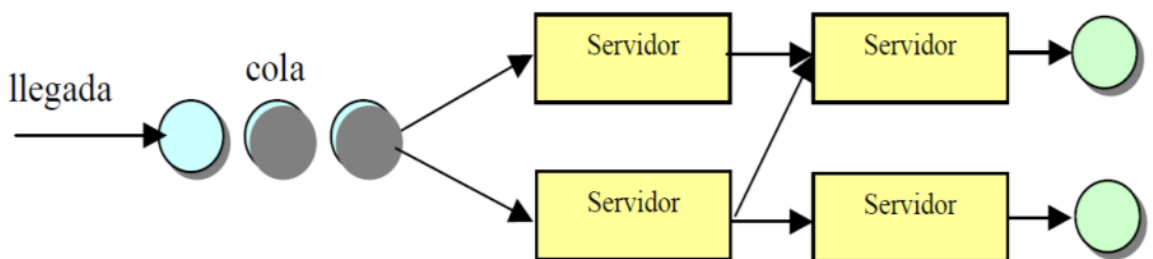
**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 6



**Figura 3.14.** Sistema Multicanal (varias colas en paralelo – varios servidores)

**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 6

- **Sistema multifase:** Cuando se pone la orden en una estación, se paga en una segunda y se retira lo adquirido en una tercera.



**Figura 3.15.** Sistema Multicanal (varias colas en paralelo – varios servidores)

**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 7

### 3.7.1.2.3 COSTOS DEL SISTEMAS DE COLAS

Las llegadas son las unidades que entran en el sistema para recibir el servicio; estos elementos se unen primero a la cola; si no hay línea de espera se dice que la cola está vacía.

- **Costo de Espera**

Esperar significa desperdicio de algún recurso activo que bien se puede aprovechar en otra cosa y está dado por:

$$\text{Costo total de espera} = C_w * L$$

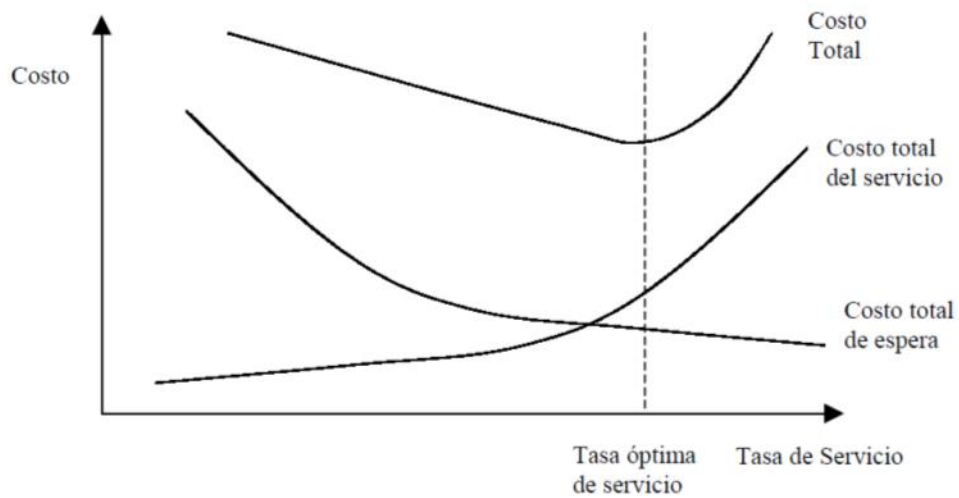
Donde:

$C_w$  = Costo de espera por llegada y por unidad de tiempo.

$L$  = Longitud promedio de Cola.

- **Sistema de Costo Mínimo**

Aquí hay que tomar en cuenta (ver Figura 3.15), que para tasas bajas de servicio se experimenta largas colas y costos de espera muy altos. Conforme aumenta el servicio disminuyen los costos de espera, pero aumenta el costo de servicio y el costo total disminuye, sin embargo, finalmente se llega a un punto de disminución en el rendimiento. Por lo tanto, se debe encontrar el balance adecuado para que el costo total sea el mínimo.

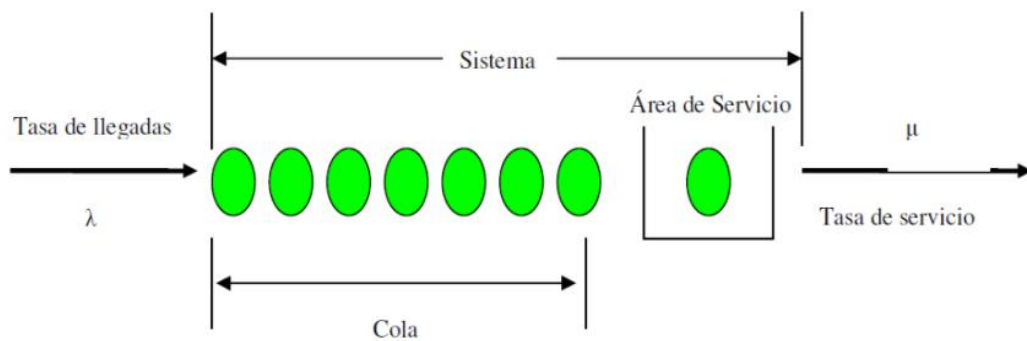


**Figura 3.16.**Costos de los sistemas de colas

**Fuente:** OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág. 4

#### 3.7.1.2.4 MODELO MATEMÁTICO PARA EL CÁLCULO DE COLAS EN ESTACIONES DE PEAJE.

Para explicar el análisis matemático, se parte de dos características en el comportamiento de las colas básicamente colas sobresaturadas y no saturadas. Las colas sobresaturadas son aquellas en las cuales la tasa de arribo es mayor que la tasa de servicio y las colas no saturadas son aquellas en las cuales la tasa de arribo es menor que la tasa de servicio. La longitud de la cola no saturada podría variar, pero alcanzará un estado estable con el arribo de vehículos. La longitud de una cola sobresaturada, sin embargo nunca alcanzará un estado estable, y continuará creciendo con el arribo de los vehículos.



**Figura 3.17.**Esquema del comportamiento de una cola

**Fuente:** Apuntes de Clase. Introducción a la Teoría de Colas. Preparado por el Ing. Civil Jorge A. Timaná Rojas, Master en Ingeniería de Transportes por la University of British Columbia, para uso interno del Programa Master de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial de la Universidad de Piura. Pág. 6

La **figura 3.17** se muestra el esquema de una sola cola de canal-único en el cual la tasa de arribo es  $\lambda$  vph (vehículos por hora) y la tasa de servicio es  $\mu$  vph. Para una cola no saturada,  $\mu > \lambda$ , asumiendo que para ambas, la tasa de llegadas y la tasa de servicio, son aleatorias, las siguientes relaciones pueden desarrollarse:

1. Probabilidad de que hayan  $n$  vehículos en el sistema  $P(n)$ :

$$P(n) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^n \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) \quad (1)$$

Donde  $n$  es el número de vehículos en el sistema, incluyendo las que están siendo servidas.

2. El número esperado de vehículos en el sistema  $E(n)$ :

$$E(n) = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (2)$$

3. El número esperado de vehículos esperando ser servidas (esto es, la longitud promedio de la cola) en el sistema,  $E(m)$  es:

$$E(m) = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (3)$$

4. Tiempo promedio de espera en cola  $E(w)$ :

$$E(w) = \frac{\lambda}{\mu(\mu - \lambda)} \quad (4)$$

5. Tiempo promedio de espera de una llegada en el sistema, incluyendo cola y servicio  $E(v)$ :

$$E(v) = \frac{1}{\mu - \lambda} \quad (5)$$

6. Probabilidad de gastar tiempo  $t$  o menos en el sistema:

$$P(v \leq t) = 1 - e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\mu t} \quad (6)$$

7. Probabilidad de esperar un tiempo  $t$  o menos en la cola:

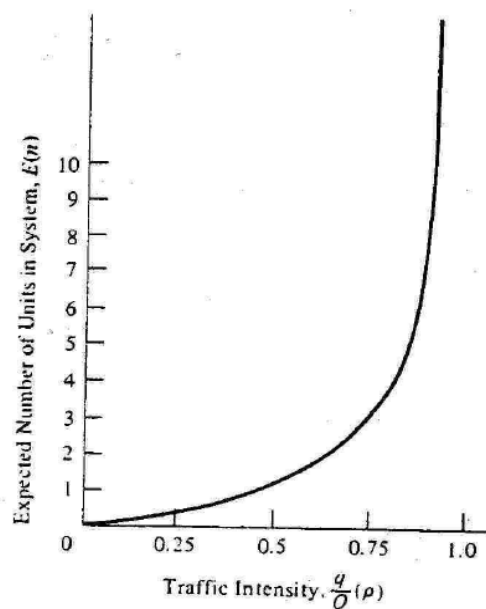
$$P(w \leq t) = 1 - \frac{\lambda}{\mu} e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right)\mu t} \quad (7)$$

8. Probabilidad de más de  $N$  vehículos estando en la cola; esto es  $P(n > N)$ :

$$P(n > N) = \left(\frac{\lambda}{\mu}\right)^{N+1} \quad (8)$$

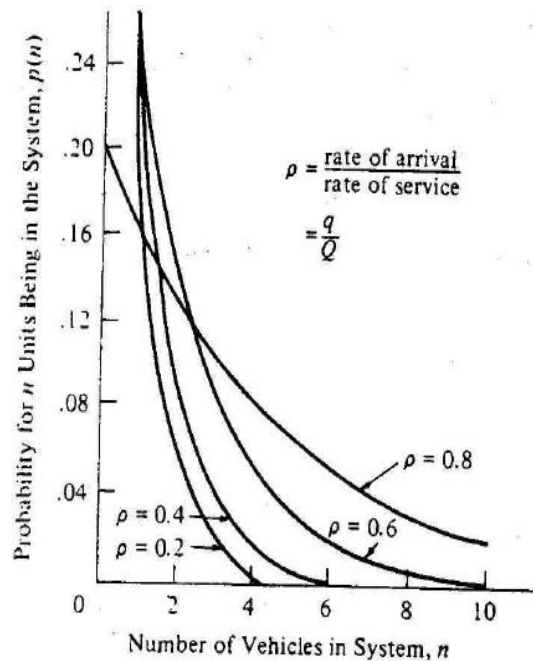
La ecuación (2) puede usarse para producir una gráfica de la relación entre el número esperado de vehículos en el sistema  $E(n)$  y la relación entre la

tasa de arribo y la tasa de servicio  $\rho = \lambda/\mu$ . La **Figura 3.18** es la representación para valores diferentes de  $\rho = \lambda/\mu$ . Se puede notar que cuando esta relación tiende a 1 (esto es, próximo a la saturación), el número esperado de vehículos en el sistema tiende al infinito. Esto muestra que  $\lambda/\mu$ , la cual es usualmente referida como intensidad de tráfico ( $\rho$ ), es un factor importante en el proceso de colas. La figura también indica que la cola no es significativa cuando  $\rho$  es menor que 0.5, pero para valores de 0.75 en adelante, la longitud promedio de la cola tiende a incrementarse rápidamente. La **Figura 3.19** también grafica la probabilidad de n vehículos dentro del sistema versus  $\lambda/\mu$ . La ecuación (2) también puede utilizarse para producir este gráfico.



**Figura 3.18.** Número esperado de vehículos en el sistema  $E(n)$  versus Intensidad de Tráfico ( $\rho$ ).

**Fuente:** Apuntes de Clase. Introducción a la Teoría de Colas. Preparado por el Ing. Civil Jorge A. Timaná Rojas, Master en Ingeniería de Transportes por la University of British Columbia, para uso interno del Programa Master de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial de la Universidad de Piura. Pág. 8.



**Figura 3.19.** Probabilidad de que  $n$  vehículos estén dentro del sistema para diferentes intensidades de tráfico ( $\rho$ )

**Fuente:** Apuntes de Clase. Introducción a la Teoría de Colas. Preparado por el Ing. Civil Jorge A. Timaná Rojas, Master en Ingeniería de Transportes por la University of British Columbia, para uso interno del Programa Master de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial de la Universidad de Piura. Pág. 9

### 3.7.1.3 CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE ESPERA PARA LAS ESTACIONES DE PEAJE DEL PROYECTORUTA VIVA.

Una vez analizado el modelo matemático, para el cálculo de los tiempos de espera en una estación de peaje se procede a realizar el análisis para el caso del peaje del Proyecto Ruta Viva, para lo cual como ya se mencionó anteriormente se establecen dos escenarios de análisis el primero con **Sistema de Peaje de Mixto** (casetas de cobro manual y automático) y la segunda el **Sistema de Peaje con Tecnología Free Flow**.

### 3.7.1.3.1 CÁLCULO DE LOS TIEMPOS DE ESPERA PARA LAS ESTACIONES DE PEAJE MIXTO.

Para el presente cálculo se realiza un análisis del estudio de tráfico del proyecto Ruta Viva el cual es tomado de los estudios de ingeniería elaborado por ASTEC. (ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009)). Correspondiente al **“Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto”**”, con este antecedente se muestra la tabla de tráfico para el proyecto Ruta Viva:

**Tabla 3.2.**Tráfico Proyectado para la Ruta Viva TPDA

PRONÓSTICO TPDA PARA RUTA VIVA							
Año	Tramo	Desde	Hasta	LIVIANOS	BUSES	PESADOS	TPDA
2015	1	Simón Bolívar	Cumbayá/Lumbisí	61,057	1,097	1,937	64,091
2015	2	Cumbayá/Lumbisí	Intervalles	50,923	1,210	1,878	54,011
2015	3	Intervalles	Tumbaco	50,300	1,188	1,897	53,385
2015	4	Tumbaco	Tumbaco 2	36,276	987	1,311	38,574
2015	5	Tumbaco 2	Puambo	32,982	1,185	1,297	35,464
2015	6	Puambo	E35 Pífo-Quinche	18,250	948	628	19,826
2015	7	E35 Pífo-Quinche	Alpachaca	16,763	736	663	18,163
2020	1	Simón Bolívar	Cumbayá/Lumbisí	75,465	1,188	2,343	78,996
2020	2	Cumbayá/Lumbisí	Intervalles	64,037	1,310	2,228	67,575
2020	3	Intervalles	Tumbaco	63,314	1,283	2,251	66,848
2020	4	Tumbaco	Tumbaco 2	47,329	1,096	1,580	50,005
2020	5	Tumbaco 2	Puambo	45,272	1,413	1,577	48,262
2020	6	Puambo	E35 Pífo-Quinche	25,354	1,142	799	27,296
2020	7	E35 Pífo-Quinche	Alpachaca	24,086	844	877	25,807
2025	1	Simón Bolívar	Cumbayá/Lumbisí	93,372	1,261	2,834	97,468
2025	2	Cumbayá/Lumbisí	Intervalles	78,075	1,416	2,557	82,048
2025	3	Intervalles	Tumbaco	77,149	1,382	2,587	81,118
2025	4	Tumbaco	Tumbaco 2	59,364	1,191	1,832	62,388
2025	5	Tumbaco 2	Puambo	63,225	1,705	1,965	66,895
2025	6	Puambo	E35 Pífo-Quinche	36,615	1,398	1,080	39,093
2025	7	E35 Pífo-Quinche	Alpachaca	36,084	992	1,244	38,320
2030	1	Simón Bolívar	Cumbayá/Lumbisí	115,174	1,254	3,297	119,725
2030	2	Cumbayá/Lumbisí	Intervalles	94,535	1,453	2,952	98,940
2030	3	Intervalles	Tumbaco	93,190	1,396	2,985	97,572
2030	4	Tumbaco	Tumbaco 2	71,358	1,153	2,046	74,557
2030	5	Tumbaco 2	Puambo	72,414	1,750	1,999	76,163
2030	6	Puambo	E35 Pífo-Quinche	53,500	1,727	1,436	56,664
2030	7	E35 Pífo-Quinche	Alpachaca	54,142	1,167	1,651	56,960

**Fuente:** ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto” Pág. 42

También como parte del análisis se considera el estudio de tráfico realizado en la Vía Interoceánica durante el mes de Febrero 2013 (ver **Tabla 3.3.**, **Figura 3.18.**, **Tabla 3.4.**), en virtud de que dicha vía fue habilitada temporalmente como ruta de acceso al nuevo aeropuerto el cual se ubica en la Parroquia Tababela al Nor-Oriente del Distrito Metropolitano de Quito.

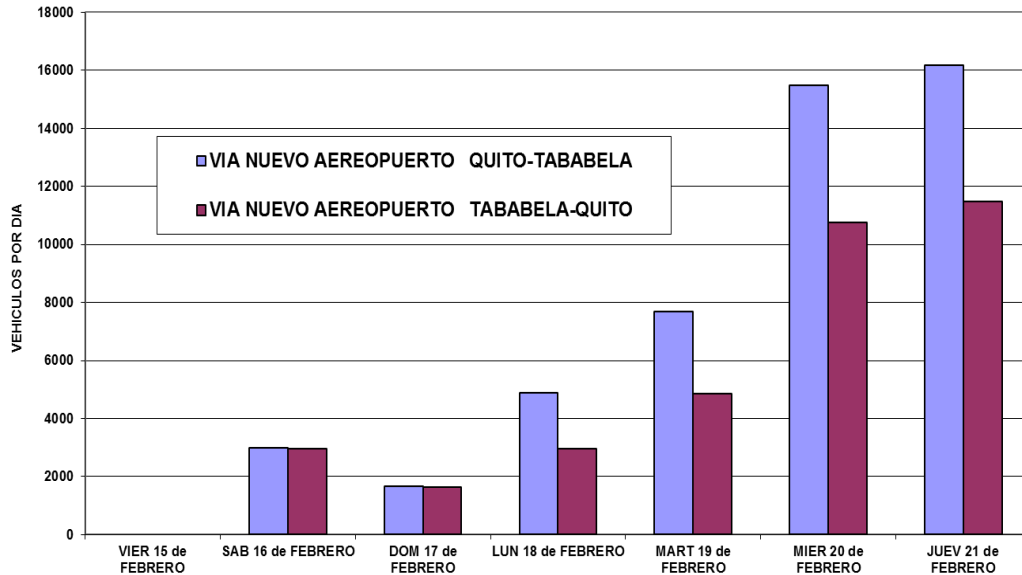
Es importante indicar que se toma como referencia el estudio de tráfico de la Av. Interoceánica ya que es una vía paralela al proyecto Ruta Viva la cual se extiende como un corredor longitudinal y comparten características similares en cuanto a la movilidad, actividades entre las diferentes zonas (Cumbayá, Tumbaco, Pifo, etc...) así como también conexiones a través de los diferentes escalones de la Ruta Viva.

**Tabla 3.3.** Conteo de Tráfico en la Vía Interoceánica (Febrero - 2013)

SENTIDO	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	FEBRERO 2013	ACUMULADO TODOS LOS DIAS
	VIER 15	SAB 16	DOM 17	LUN 18	MART 19	MIER 20	JUEV 21	VIER 22	
VIA NUEVO AEROPUERTO QUITO-TABABELA		3.006	1.663	4.888	7.694	15.489	16.179		59%
VIA NUEVO AEROPUERTO TABABELA-QUITO		2.973	1.623	2.962	4.850	10.744	11.490		41%
<b>SUMA SENTIDOS</b>		<b>5.979</b>	<b>3.286</b>	<b>7.850</b>	<b>12.544</b>	<b>26.233</b>	<b>27.669</b>		100%
DIFERENCIA DE SENTIDOS		33	40	1.926	2.844	4.745	4.689		17%

**Fuente:** SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE LA ALCALDÍA METROPOLITANA DE QUITO.  
Estudio de Tráfico en la Vía Interoceánica con la apertura del Nuevo Aeropuerto de Quito.  
Informe de contadores automáticos.

CUADRO COMPARATIVO DEL FLUJO VEHICULAR TOTAL DIARIO, DE LOS DOS SENTIDOS UBICADO EN VIA NUEVO AEROPUERTO, SECTOR TABABELA SECTOR: TABABELA FECHA: VIERNES 15 AL VIERNES 22 DE FEBRERO DEL 2013



OBSERVACIÓN: EL METODO DE CONTEO UTILIZADO ES CADA 2 EJES UN VEHICULO

**Figura 3.20.** Gráfico comparativo del Flujo Vehicular en la Vía Interoceánica Sentidos *Quito – Tababela, Tababela - Quito* (Conteo Febrero – 2013).

**Fuente:** SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE LA ALCALDÍA METROPOLITANA DE QUITO. Estudio de Tráfico en la Vía Interoceánica con la apertura del Nuevo Aeropuerto de Quito. Informe de contadores automáticos.

**Tabla 3.4.** Conteo de Tráfico de la Vía Interoceánica en la Hora Pico. Sentido *Quito – Tababela, Tababela - Quito* (Febrero – 2013)

HORA DE MAYOR FLUJO VEHICULAR POR DIA EN LOS DOS SENTIDOS									
DIAS	VIA NUEVO AEROPUERTO SENTIDO QUITO-TABABELA					VIA NUEVO AEROPUERTO SENTIDO TABABELA - QUITO			
	HORA PICO		#VEHIC	% DEL DIA	HORA PICO		#VEHIC	% DEL DIA	
	VIER 15 de FEBRERO de 8,5 hrs	15:45	16:45	197		17:00	18:00	296	
SAB 16 de FEBRERO de 22 hrs	8:00	9:00	303	10,08%	13:45	14:45	316	10,63%	
DOM 17 de FEBRERO de 19,25hrs	14:30	15:30	203	12,21%	14:30	15:30	206	12,69%	
LUN 18 de FEBRERO de 22,5hrs	7:30	8:30	493	10,09%	17:00	18:00	318	10,74%	
MART 19 de FEBRERO de 22,75 hrs	8:15	9:15	880	11,44%	12:00	13:00	687	14,16%	
MIER 20 de FEBRERO de 24 hrs	8:00	9:00	1.102	7,11%	17:15	18:15	932	8,67%	
JUEV 21 de FEBRERO de 24 hrs	15:00	16:00	1.049	6,48%	17:00	18:00	935	8,14%	
VIER 22 de FEBRERO de 14 hrs	7:30	8:30	903		12:15	13:15	633		

**Fuente:** SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE LA ALCALDÍA METROPOLITANA DE QUITO. Estudio de Tráfico en la Vía Interoceánica con la apertura del Nuevo Aeropuerto de Quito

A partir de la **Tabla 3.4.** se hace una revisión de la hora de mayor flujo vehicular sobre la Vía Interoceánica con el propósito de establecer el momento más crítico de la circulación vehicular, sobre los contadores de

tráfico y con esto poder determinar los porcentajes de vehículos *que circulan en el día y en la hora pico de mayor influencia*, lo cual permitirá proyectar dichos porcentajes al tráfico analizado para la Ruta Viva.

Como se puede apreciar en la **Tabla 3.3.** y **Figura 3.20.**, de los conteos realizados en la Vía Interoceánica los días de mayor circulación vehicular son el *miércoles* y *jueves* respectivamente. Así mismo de la **Tabla 3.4.** se puede observar que las horas pico de mayor circulación vehicular se presentan en los mismos días, sin embargo la hora pico más crítica se registra el día **miércoles** para los dos sentidos de circulación (Ver **Tabla 3.5.**) esto es: **Quito – Tababela** de **8:00 a 9:00** de la mañana con un **7,11 %** que circula en la hora pico con respecto al volumen total de tráfico diario y en el sentido **Tababela – Quito** de **17:15 a 18:15** de la tarde con un **8,67 %** que circula en la hora pico con respecto al volumen total de tráfico diario.

**Tabla 3.5.** Resumen de Tráfico para el día miércoles en la Av. Interoceánica.

<b>ANÁLISIS DE TRÁFICO DE LA VÍA INTEROCEÁNICA - DÍA MIERCOLES</b>					
<b>SENTIDO DE CIRCULACIÓN</b>	<b>VOLUMEN TRÁFICO DÍA</b>	<b>HORAS PICO</b>	<b>VOLUMEN TRÁFICO HORA PICO</b>	<b>PORCENTAJE TRÁFICO DÍA</b>	<b>PORCENTAJE TRÁFICO HORA PICO</b>
<b>Q-T</b>	15.489,00	8:00 - 9:00	1.102,00	59,04%	7,11%
<b>T-Q</b>	10.744,00	17:15 - 18:15	932,00	40,96%	8,67%
<b>TOTALES</b>	<b>26.233</b>		<b>2.034</b>	<b>100%</b>	<b>16%</b>

**Fuente:** Adaptada del estudio de tráfico de la Vía Interoceánica con la apertura del Nuevo Aeropuerto de Quito. SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE QUITO.

Con estos antecedentes se **realiza la proyección de tráfico supuesta** para la hora pico en el Proyecto Ruta Viva (Ejemplo proyección de hora pico año 2030).

**Tabla 3.6.**Proyección de Tráfico de la Hora Pico para la Ruta Viva en el año 2030

<b>PROYECCIÓN DE TRÁFICO PARA LA HORA PICO EN EL PROYECTO RUTA VIVA</b>			
<b>SENTIDO DE CIRCULACIÓN</b>	<b>TRÁFICO TOTAL PROYECTADO PARA RUTA VIVA HASTA 2030</b>	<b>VOLUMEN DE TRÁFICO AL DÍA</b>	<b>VOLUMEN DE TRÁFICO EN LA HORA PICO</b>
<b>Quito -Tababela</b>	119.725,00	70.690,37	<b>5.029</b>
<b>Tababela -Quito</b>		49.034,63	<b>4.254</b>

**Fuente:** Adaptada del estudio de tráfico del proyecto Ruta Viva. ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009).

- **Desarrollo del Cálculo**

Los parámetros de los tiempos de servicio (calculados mediante **Teoría de Colas**) que se muestran en las **Tablas 3.7 y 3.8** fueron elaborados en base a los flujos del estudio tráfico realizado para la Ruta Viva y a datos de conteos de la vía Interoceánica, a continuación se describen los parámetros que se calcularon:

- El porcentaje de tiempo en el cual el operador de la cabina de peaje está libre.
- El número promedio de vehículos en el sistema.
- Tiempo promedio de espera de una llegada en el sistema, incluyendo cola y servicio  $E(v)$ .
- Tiempo promedio de espera en la Cola.
- El número de unidades esperando ser servidas (esto es, la longitud promedio de la cola) en el sistema de peaje  $E(m)$ .

**Tabla 3.7. Cálculo de tiempos de espera en Estación de Peaje 1 Av. Simón Bolívar – Intercambiador Lumbisí.**

ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ESPERA PARA LA HORA PICO								
ESTACIÓN DE PEAJE MANUAL N° 1: Av. Simón Bolívar - Intercambiador de Lumbisí								
AÑOS HORIZONTE	2015		2020		2025		2030	
TRÁFICO PROYECTADO	64091 TPDA		78996 TPDA		97468 TPDA		119725 TPDA	
SENTIDOS DE CIRCULACIÓN	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q
DATOS DE TRÁFICO Y PEAJE POR SENTIDO DE CIRCULACIÓN - HORA PICO								
Tasa de arribos $\lambda$ Sentido Q-T (vhp)	2692	2277	3318	2807	4094	3463	5029	4254
Tasa de servicio por cabina manual (vhp)	477	477	477	477	477	477	477	477
N° de cabinas manuales de Peaje Sentido Q-T (Cabinas)	3	3	3	3	3	3	3	3
Tasa de servicio por cabina automática (vhp)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
N° de cabinas manuales de Peaje Sentido Q-T (Cabinas)	2	2	2	2	2	2	2	2
Tasa de servicio $\mu$ en las 5 Cabinas manual (vhp)	5031	5031	5031	5031	5031	5031	5031	5031
Relación de funcionamiento del sistema (Tasa de arribo/ Tasa de servicio)	0,535082	0,452594	0,659511	0,557941	0,813755	0,688332	0,999602	0,845558
PARÁMETROS CALCULADOS POR SENTIDO DE CIRCULACIÓN - HORA PICO								
(a) El porcentaje de tiempo en el cual el operador de la cabina de peaje está libre $P(n)=\text{tiempo libre del operador}$	46,49%	54,74%	34,05%	44,21%	18,62%	31,17%	0,04%	15,44%
(b) El número promedio de vehículos en el sistema $E(n)=\text{vehículos}$	1,15	0,83	1,94	1,26	4,37	2,21	2514,50	5,47
(c) Tiempo promedio de espera en la Cola $E(w)=\text{vehículos}; E(v)=\text{segundos}$	E(w)= 0,00022 hr E(v)=0,82 seg	E(w)= 0,0001643 hr E(v)=0,59 seg	E(w)= 0,000385 hr E(v)=1,39 seg	E(w)= 0,00025087 hr E(v)=0,90 seg	E(w)= 0,0008685 hr E(v)=3,13 seg	E(w)= 0,00043899 hr E(v)=1,58 seg	E(w)= 0,4998012 hr E(v)=1799,28 seg	E(w)= 0,0012870 hr E(v)=4,63 seg
(d) Tiempo promedio de espera de una llegada en el sistema, incluyendo cola y servicio $E(v)=\text{hr, seg}$	E(v)=0,0004275 hr E(v)= 1,54 seg	E(v)=0,000363108 hr E(v)= 1,31 seg	E(v)=0,0005838 hr E(v)= 2,10 seg	E(v)=0,00044964 hr E(v)= 1,62 seg	E(v)=0,00010672 hr E(v)= 3,84 seg	E(v)=0,000637755 hr E(v)= 2,30 seg	E(v)=0,5 hr E(v)= 1800 seg	E(v)=0,001287001 hr E(v)= 4,63 seg
(e) El número esperado de unidades esperando ser servidas (esto es, la longitud promedio de la cola) en el sistema $E(m) = \text{Vehículos en cola}$	0,62	0,37	1,28	0,70	3,56	1,52	2513,50	4,63
<b>LEYENDA</b>	Q= Quito, T= Tababela							

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 3.8. Cálculo de tiempos de espera en Estación de Peaje 2 Av. Intercambiador de Puenbo – Aeropuerto**

ANÁLISIS DE TIEMPOS DE ESPERA PARA LA ESTACIÓN DE PEAJE EN LA HORA PICO								
ESTACIÓN DE PEAJE MANUAL N° 2: Intercambiador de Puenbo - Aeropuerto								
AÑOS HORIZONTE	2015		2020		2025		2030	
TRÁFICO PROYECTADO	35464 TPDA		48262 TPDA		66895 TPDA		76163 TPDA	
SENTIDOS DE CIRCULACIÓN	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q	Q - T	T - Q
DATOS DE TRÁFICO Y PEAJE POR SENTIDO DE CIRCULACIÓN - HORA PICO								
Tasa de arribos $\lambda$ Sentido Q-T (vhp)	1490	1260	2027	1715	2810	2377	3199	2706
Tasa de servicio por cabina manual (vhp)	477	477	477	477	477	477	477	477
N° de cabinas manuales de Peaje Sentido Q-T (Cabinas)	3	3	3	3	3	3	3	3
Tasa de servicio por cabina automática (vhp)	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800	1800
N° de cabinas manuales de Peaje Sentido Q-T (Cabinas)	2	2	2	2	2	2	2	2
Tasa de servicio $\mu$ en las 5 Cabinas manual (vhp)	5031	5031	5031	5031	5031	5031	5031	5031
Relación de funcionamiento del sistema (Tasa de arribo/ Tasa de servicio)	0,296164	0,250447	0,402902	0,340887	0,558537	0,472471	0,635858	0,537865
PARÁMETROS CALCULADOS POR SENTIDO DE CIRCULACIÓN - HORA PICO								
(a) El porcentaje de tiempo en el cual el operador de la cabina de peaje está libre <b>P(n)=tiempo libre del operador</b>	70,38%	74,96%	59,71%	65,91%	44,15%	52,75%	36,41%	46,21%
(b) El número promedio de vehículos en el sistema <b>E(n)=vehículos</b>	0,42	0,33	0,67	0,52	1,27	0,9	1,75	1,16
(c) Tiempo promedio de espera en la Cola <b>E(w)=vehículos; E(v)=segundos</b>	E(w)= 8,364E-05 hr E(v)=0,30 seg	E(w)= 6,6414E-05 hr E(v)=0,24 seg	E(w)= 0,000134 hr E(v)=0,48 seg	E(w)= 0,00010280 hr E(v)=0,37 seg	E(w)= 0,0002515 hr E(v)=0,91 seg	E(w)= 0,00017802 hr E(v)=0,64 seg	E(w)= 0,0003471 hr E(v)=1,25 seg	E(w)= 0,00023134 hr E(v)=0,83seg
(d) Tiempo promedio de espera de una llegada en el sistema, incluyendo cola y servicio <b>E(v)=hr, seg</b>	E(v)=0,000282 hr E(v)= 1,02 seg	E(v)=0,000265182 hr E(v)= 0,95 seg	E(v)=0,0003329 hr E(v)= 1,20 seg	E(v)=0,000301568 hr E(v)= 1,09 seg	E(v)=0,0004502 hr E(v)= 1,62 seg	E(v)=0,00037679 hr E(v)= 1,36 seg	E(v)=0,0005459 hr E(v)= 18,97 seg	E(v)=0,000430108 hr E(v)= 1,55 seg
(e) El número esperado de unidades esperando ser servidas (esto es, la longitud promedio de la cola) en el sistema <b>E(m) = Vehículos en cola</b>	0,12	0,08	0,27	0,18	0,71	0,42	1,11	0,63
<b>LEYENDA</b>	Q= Quito, T= Tababela							

Fuente: Elaboración propia

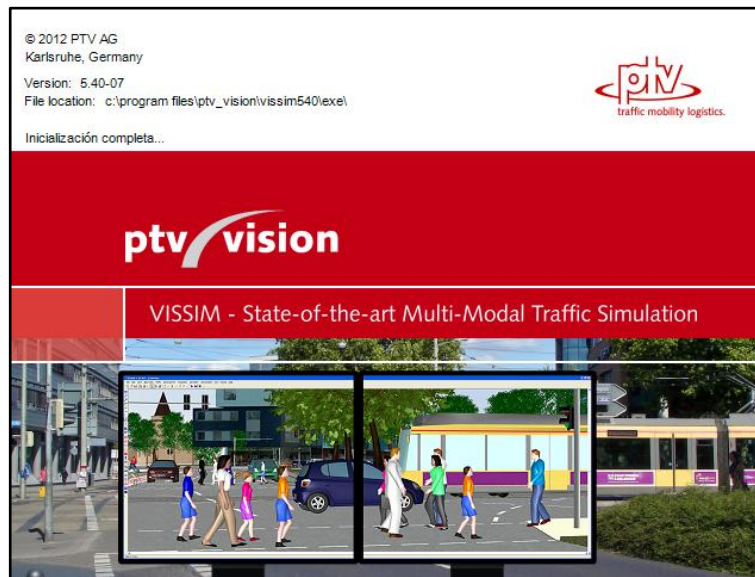
Como se puede observar en las **Tablas 3.7 y 3.8**, la relación Tasa de arribo / Tasa de servicio, tiene serios problemas de congestión a partir del **año 2030** cuando la intensidad del tráfico en la estación de peaje **No.1 Simón Bolívar – Intercambiador Lumbisí** tiende a **1** volviéndose una asíntota vertical (tiende al infinito) para la estación de **peaje No.2 Intercambiador de Puenbo – Aeropuerto**, no registra problemas de congestión.

### **3.7.2 MICRO-SIMULACIÓN DE LAS ESTACIONES DE PEAJE EN VISSIM**

Para el análisis de los escenarios se ha desarrollado una micro-simulación de las estaciones de peaje con el software **VISSIM** de PTV-GROUP<sup>25</sup> que es una plataforma de simulación para la planificación de control de tráfico vehicular, incorporando la capacidad de modelación para sistemas de vehículos, peatones, ciclo-usuarios, sistemas de riel, transporte público y otros sistemas de vehículos definidos por el usuario que ha permitido la configuración de rutas e itinerarios de vehículos, discriminados según su tipología para los sistemas de peaje propuestos en los escenarios analizados.

---

<sup>25</sup>**PTV GROUP** es una empresa líder a nivel mundial en el desarrollo de herramientas informáticas para la planificación de transporte, ingeniería de tránsito y simulación de tráfico.  
**Web.** <http://vision-traffic.ptvgroup.com/es/productos/>



**Figura 3.21.** VISSIM programa de simulación de Tráfico de PTV

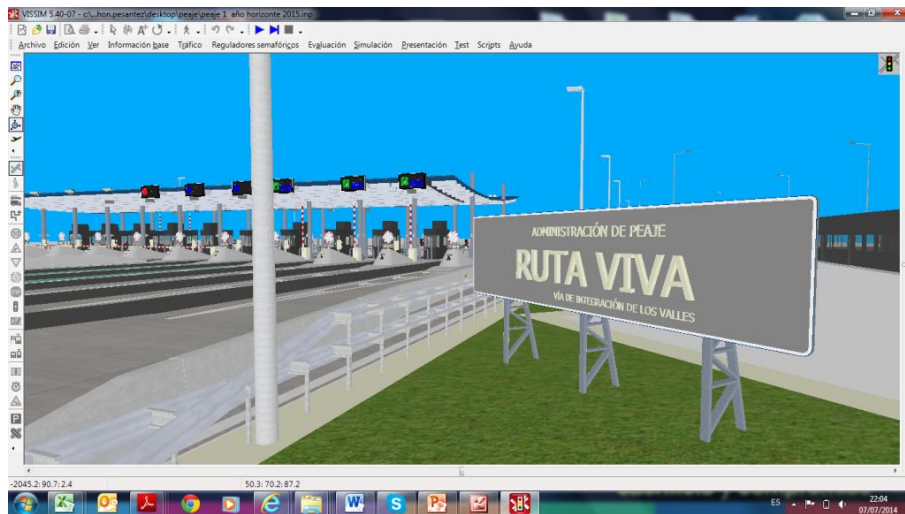
**Fuente:** Elaboración Propia

Para la evaluación de las estaciones de peaje se tomó como referencia el análisis de los tiempos de espera para los años horizonte 2015, 2020, 2025, 2030 en los cuales se analizó el comportamiento del tráfico en las infraestructuras propuestas.

### **3.7.3 MICRO-SIMULACIÓN SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA<sup>26</sup>**

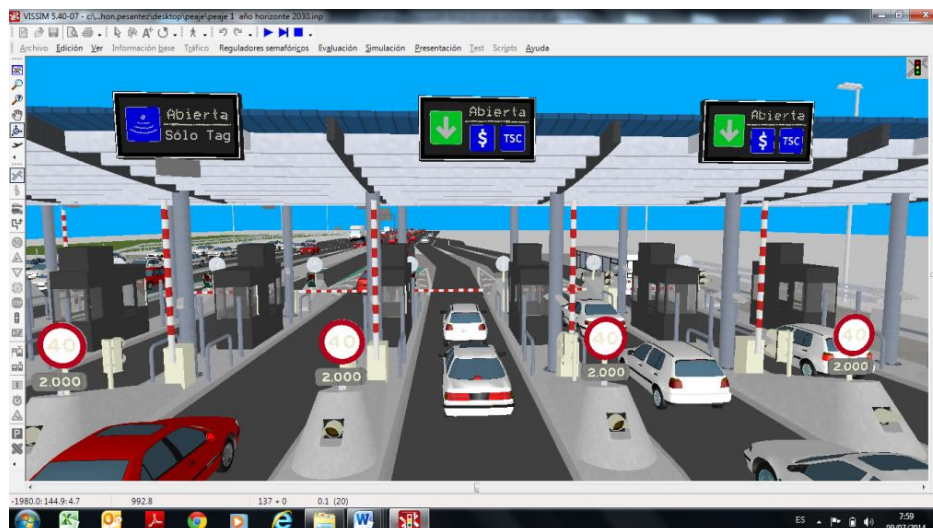
Para la ejecución de los análisis en las estaciones de peaje con tecnología mixta (manual – automática) se consideró la incorporación de 5 cabinas de peaje por sentido de circulación *Quito – Tababela, Tababela - Quito* esto es *3 cabinas manuales y 2 cabinas automáticas* por sentido dando un total de 10 cabinas (6 cabinas manuales y 4 automáticas) de cobro para los dos sentidos de circulación.

<sup>26</sup>Fuente: Elaboración Propia



**Figura 3.22.** Vista de la estación de peaje mixta

Fuente: Elaboración propia



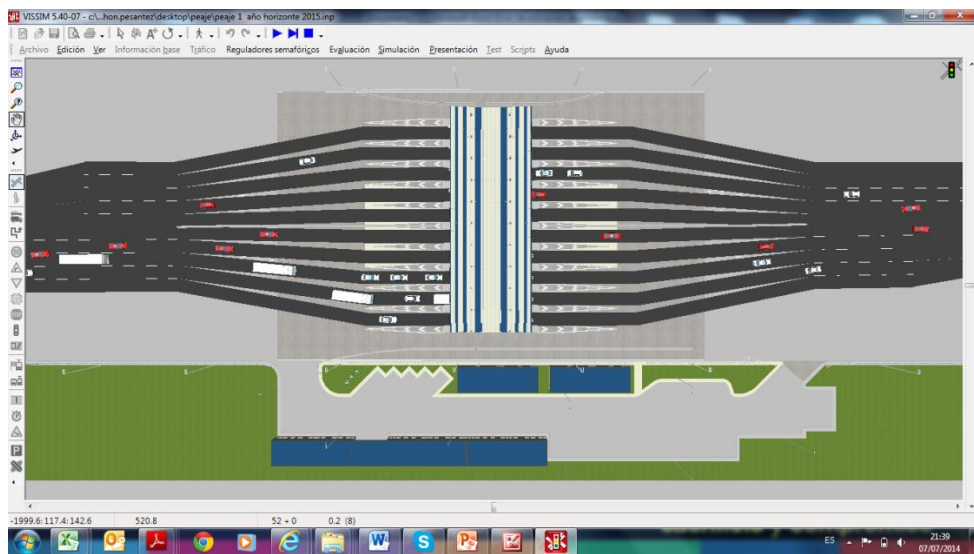
**Figura 3.23.** Estación de peaje con cabinas de cobro mixta (manual y automáticas)

Fuente: Elaboración Propia

### 3.7.3.1 ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2015

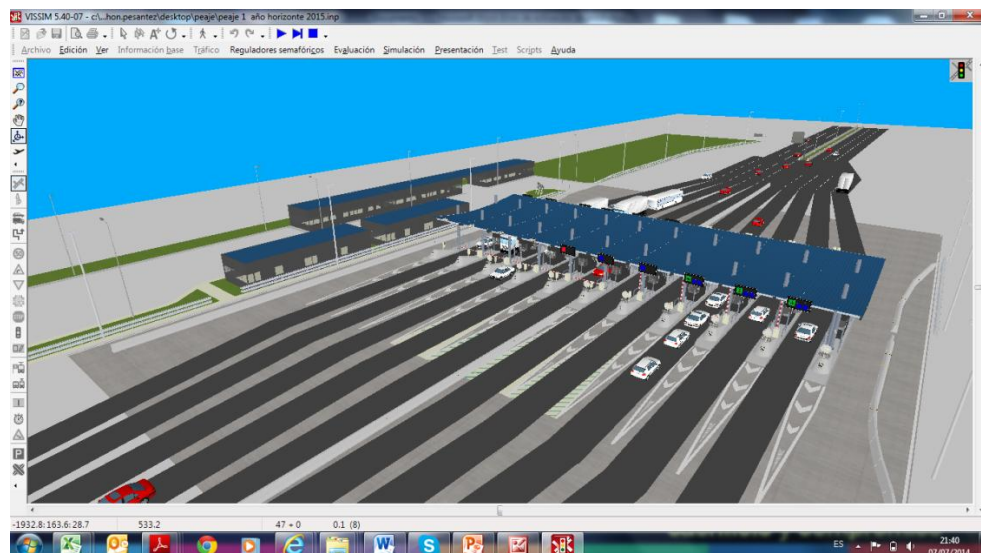
Para el año 2015 se presenta un flujo de tráfico vehicular mínimo sobre las estaciones de peaje, con lo cual el nivel de servicio es excelente para los usuarios que circularían por la Ruta Viva y no se presentan colas en las

siguientes figuras se puede observar que los vehículos de color rojo son los que circulan por las cabinas de cobro automático con TAG y los vehículos de color blanco circulan por las casetas de cobro manual. (Ver **Figura 3.24**, **Figura 3.25**).



**Figura 3.24.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2015

Fuente: Elaboración Propia

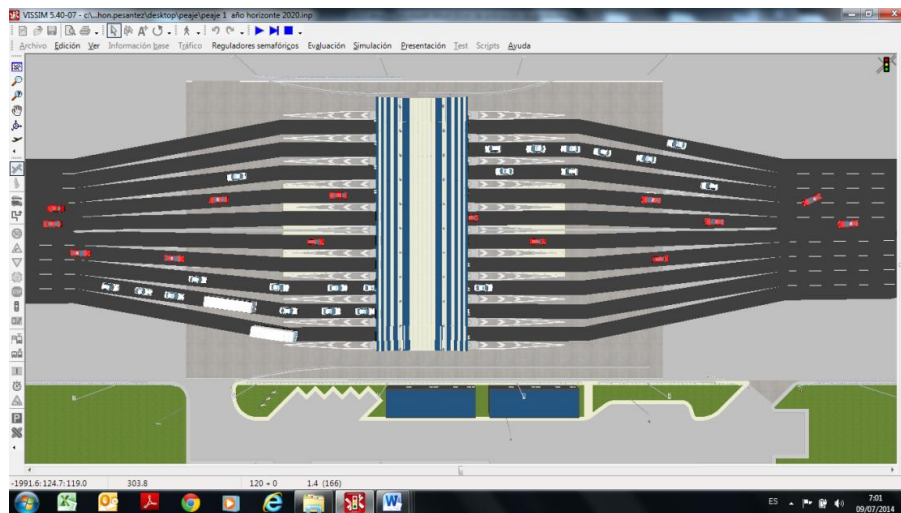


**Figura 3.25.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2015

Fuente: Elaboración Propia

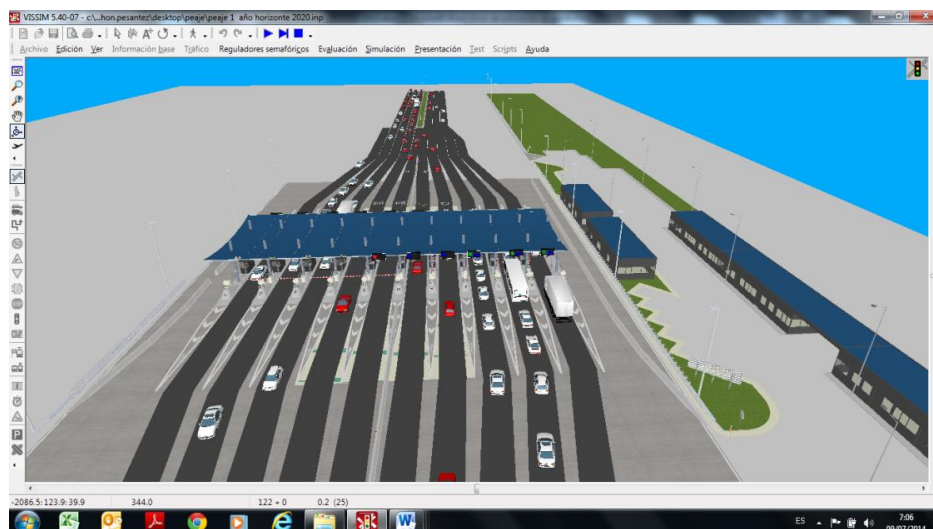
### 3.7.3.2 ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2020

Para el año 2020 de acuerdo a las proyecciones el incremento de tráfico vehicular sobre las estaciones de peaje es moderado con lo cual el nivel de servicio es excelente para los usuarios observándose particularmente que para este año la presencia de colas es insignificante. (Ver **Figura 3.26**, **Figura 3.27**).



**Figura 3.26.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

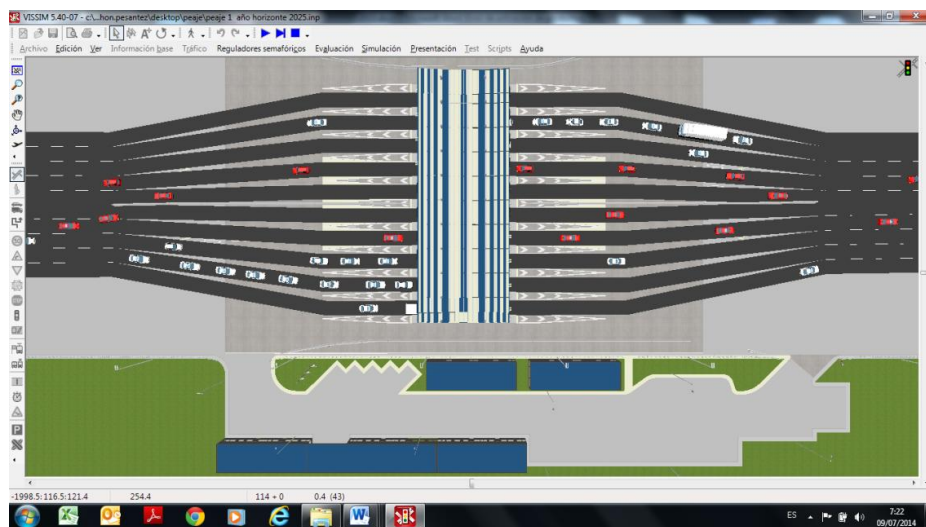


**Figura 3.27.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2020.

Fuente: Elaboración Propia.

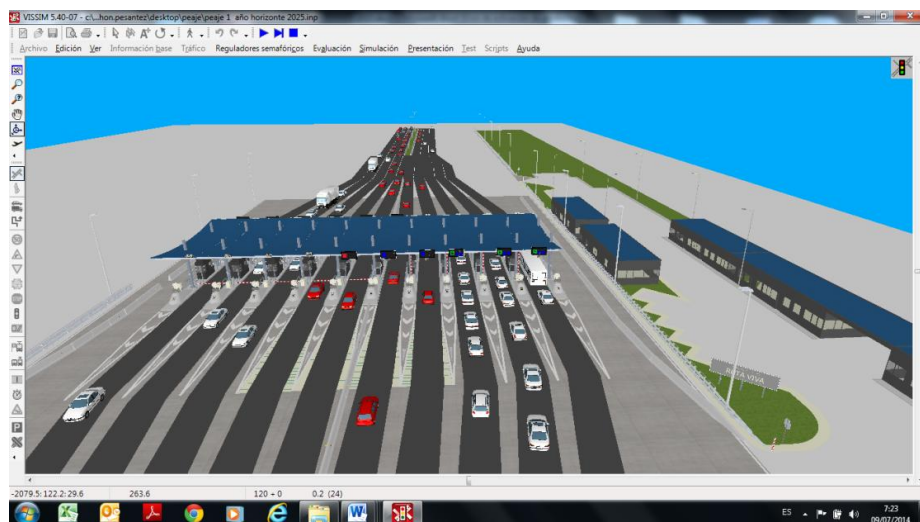
### 3.7.3.3 ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2025

Para el año 2025 existe un ligero incremento del tráfico vehicular el cual no afecta en la operación de las estaciones de peaje observándose que existe un servicio eficiente en el sistema y la longitud de cola es mínima para este año.



**Figura 3.28.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2025.

**Fuente:** Elaboración Propia.

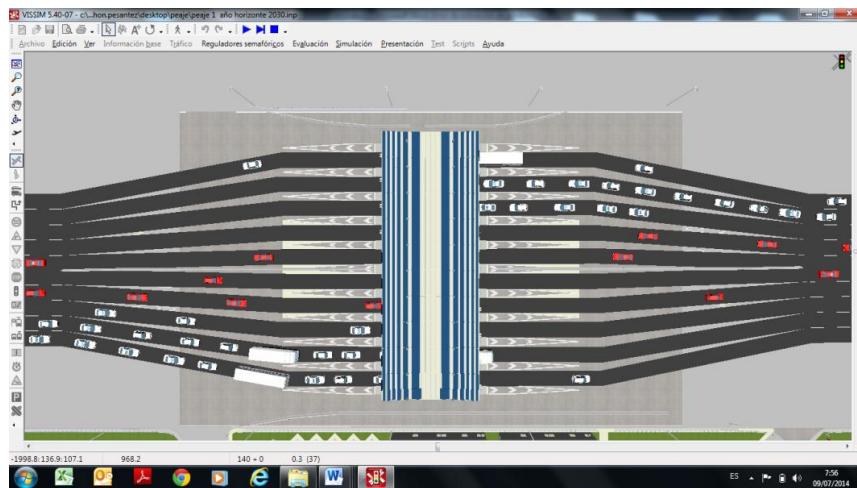


**Figura 3.29.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2025.

**Fuente:** Elaboración Propia.

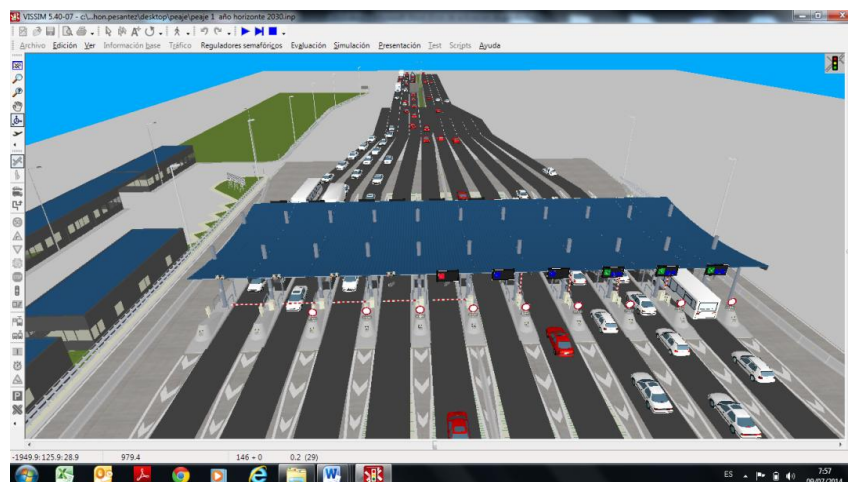
### 3.7.3.4 ANÁLISIS AÑO HORIZONTE 2030

Para el año 2030 se presenta el mayor incremento del tráfico vehicular observándose la presencia de colas especialmente para el sentido de circulación Quito – Tababela con lo cual la eficiencia de operación en las estaciones se encuentra limitada, para este año se debería incrementar dos cabinas de cobro automático con el uso del TAG que permitirían reducir la longitud de cola significativamente mejorando la eficiencia del sistema.



**Figura 3.30.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2030.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 3.31.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Tecnología Mixta año 2030.

**Fuente:** Elaboración Propia.

### 3.7.4 MICRO-SIMULACIÓN SISTEMA DE PEAJE CON FREE FLOW

Para el análisis del sistema de peaje con tecnología Free Flow se microsimuló un pórtico asignando el tráfico de los años horizontes (2015, 2020, 2025, 2030) con lo cual se pudo determinar que los vehículos no tienen ningún tipo de restricción en cuanto a tiempos de espera ya que circulan a flujo libre, la capacidad de detección de los pórticos con esta tecnología es de 1800 a 2200 vehículos por hora.



**Figura 3.32.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow Parte A.

**Fuente:** Elaboración Propia.



**Figura 3.33.** Micro-Simulación Sistema de Peaje con Free Flow Parte B

**Fuente:** Elaboración Propia.

### **3.7.5 MODELIZACIÓN FINANCIERA**

#### **3.7.5.1 DESCRIPCIÓN GENERAL DEL MODELO FINANCIERO**

La proyección financiera retoma el documento “Supuestos” derivado del estudio: “*Modelización Financiera de los flujos económicos de potenciales peajes en las vías de acceso al aeropuerto de Quito-Ruta Viva La EPMOP*”, realizado por CONFIECUADOR Cía. Ltda que plantea un modelo económico – financiero de flujo de caja en MS Excel, para determinar su viabilidad económica.

Los datos de entrada del modelo son los siguientes:

- Tarifa (inicial y reajustes).
- Tránsito proyectado para los años 2015, 2020, 2025 y 2030.
- Vectores de tránsito por estación de peaje.
- Número de estaciones de peaje.
- Horizonte de ejecución de obras.
- Coeficiente de aplicación de la inversión en equipamiento y adaptación de cada estación de peaje.
- Coeficiente de aplicación de la inversión en capital de trabajo.
- Coeficiente de aplicación de la inversión en la operación.
- Costo estándar de mantenimiento rutinario por km.
- Costo estándar de mantenimiento periódico por km.
- Costo estándar de operación por estación de peaje.
- Costo estándar de operación por km.

- Tasa mínima atractiva de retorno (tasa de corte o descuento).
- Tasa de interés del financiamiento.

### 3.7.5.2 ANÁLISIS DE COSTOS DEL MODELO FINANCIERO<sup>27</sup>

- ***Inversiones***

*El monto de inversión estimado para desarrollar la vía “Ruta Viva” es de alrededor de 365 millones de dólares. De este valor, aproximadamente 272 millones corresponden a la inversión en obras, tales como la construcción de la vía en sus tres fases o tramos. Así mismo, 85 millones se destinarán al pago de las expropiaciones de los terrenos afectados por el trazado de la vía. El equipamiento y adaptación de las estaciones de peaje, así como la inversión en capital de trabajo representan no más del 1% de la inversión total a realizarse.*

- ***Infraestructura:***

*La inversión en la infraestructura de la vía está programada para efectuarse en 3 fases y comprende la construcción de tres tramos. El primer tramo que irá desde San Juan Alto (Interconexión con la Av. Simón Bolívar) hacia La Primavera (Cumbaya). Este primer tramo tiene una extensión de 5.9 km, según el presupuesto aprobado la inversión será de 80'053.180 millones de dólares. El segundo tramo que va desde La Primavera hasta la población de Puembo, tiene una extensión de 6.9 km, y el tercer tramo comprendido desde Puembo hasta el Aeropuerto tiene una extensión de 3.9 km, la*

---

<sup>27</sup>Estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso Al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda. Pág.3 - 17

*inversión de éstos dos últimos tramos es una inversión proyectada de US\$ 272.110.309 millones de dólares.*

*Se estima la ejecución de la inversión en cada fase de acuerdo al “Cronograma de desembolsos” entregado por la EPMMOP.*

- **Expropiaciones:**

*La inversión incluye los costos de las expropiaciones necesarias para el trazado de la vía, el monto presupuestado es de US\$ 85 millones de dólares para el pago de indemnizaciones a los propietarios de los predios afectados. Con el fin de financiar este rubro, se firmó un convenio de préstamo con el Banco del Estado, a un plazo de 10 años y un período de gracia de 1 año. Al momento se han identificado 359 predios como los afectados por el paso de la ruta.*

- **Estaciones de Peaje:**

*La inversión en este rubro, comprende toda la infraestructura física que permita la instalación de casetas de recaudación de peaje o la tecnología Free Flow; así como la instalación de los equipos de cobro y sistemas automatizados de conteo de tráfico. Se considera un sistema que optimice la fluidez del tráfico y aumente la precisión del cobro de peajes. Así mismo, que gestione de manera rápida y eficiente la resolución de conflictos, incidentes y relaciones con los clientes.*

- **Plazo**

*El plazo considerado para la proyección de los flujos operacionales explícitos es de 14,25 años para el peaje con sistema manual y 13,60 años para el*

peaje con sistema free flow, de modo que permita una amortización de la inversión adecuada a la tasa de retorno mínima aceptable, evitando la implantación de tarifas de peaje demasiado altas e impopulares. No obstante, el plazo está limitado por el valor presente de los flujos de caja, en el sentido que plazos largos (sobre 25 años) marginalmente en valor presente valen financieramente poco.

- **Tarifas**

Se contempla para la proyección de los flujos operacionales, incrementos periódicos de la tarifa inicial (cada 5 años), en el orden de un 10%.

A continuación se presenta un detalle en la **Tabla 3.9.** de las tarifas en cada peaje vigentes en la vía Panamericana, concesionada a Panavial, el Túnel de Guayasamin – Vía Interoceánica, administrada por el Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, la Autopista General Rumiñahui y la vía Intervalles administradas por el Gobierno Provincial de Pichincha.

**Tabla 3.9.** Análisis de Tarifas vigentes para diferentes estaciones peajes de la provincia de Pichincha

Administración	PEAJES DE VÍA PANAMERICANA			TARIFA		
PANAVIAL	ESTACIÓN	TRAMO	DISTANCIA	LIVIANOS	2 EJES	3 EJES
TRAMO NORTE	San Gabriel	Rumichaca-Bolívar	65.6 Km.	1.00	2.00	3.00
	Ambuqui	Bolívar-Ibarra	65.9 Km.	1.00	2.00	3.00
	San Roque	Ibarra-Cajas	43.9 Km.	1.00	2.00	3.00
	Cangahua	Cajas-Cayambe-Guallabamba	45.24 Km.	1.00	2.00	3.00
	Cochasqui	Cayame- Tabacundo-Guallabamba	32.7 Km.	1.00	2.00	3.00
	Oyacoto	Guallabamba-Calderón	18.0 Km.	0.6	1.2	1.8
TRAMO SUR	Machachi	Alóag-Jambelí	ND	1.00	2.00	3.00
	Panzaleo	Jambelí-Yambo	ND	1.00	2.00	3.00
	San Andrés	Yambo-Riobamba	ND	1.00	2.00	3.00

**Continuación:...**

PEAJES DE VÍAS HACIA LOS VALLES E INTERVALLES				TARIFA		
Administración	VIA	TRAMO	DISTANCIA	LIVIANOS	2 EJES	3 EJES
MDMQ	Túnel de Guayasamín	Quito - Cumbaya	8.2 Km.	0.4	NA	NA
Prefectura de Pichincha	Vía Intervalles	El Tingo- Tumbaco- El Nacional	10 Km.	0.16	0.27	0.49
Prefectura de Pichincha	Autopista General Rumiñahui	Quito- San Rafael	12 Km.	0.39	0.54	0.89

*Fuente: Estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto de Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda. Pág. 9*

- **Flujos de Tráfico**

*Para la estimación de los volúmenes de tráfico, se cuenta con información obtenida del Estudio de Tráfico del Proyecto Vía Aeropuerto (Ruta Viva), realizado por el Consorcio ASTEC- Fernando Romo-León & Godoy, proporcionado por la Gerencia de Obras Públicas de la Empresa Pública Metropolitana de Movilidad y Obras Públicas – EPMMOP. Esta información se tiene para los quinquenios 2015, 2020, 2025 y 2030; la misma que se usará como datos de entrada. Estos datos permitirán establecer las estimaciones de tráfico para todos los años del proyecto.*

- **Operación y mantenimiento**

- ✓ **Costos de operación:**

*Los costos de operación incluyen los gastos de la gerencia, salarios del personal operativo, personal técnico, materiales de oficina, servicios básicos y mantenimiento de equipos de las estaciones de peaje.*

✓ **Costos de Mantenimiento:**

*Se establecen tres tipos de mantenimiento: rutinario y periódico y rehabilitación.*

✓ **Mantenimiento rutinario:**

*Contempla la ejecución periódica de las siguientes actividades:*

- *Limpieza de cunetas*
- *Rosa a mano de taludes*
- *Bacheo*
- *Sellado de fisuras*
- *Limpieza de alcantarillas*
- *Limpieza de derrumbes*
- *Retiro de obstáculos*

*Se ha estimado un costo anual de mantenimiento-rutinario de US\$ 2.094 para los 16.7 km de extensión de la vía.*

*Este estimado está basado en la experiencia de la Unidad de Mantenimiento de la EPMMOP en los trabajos de mantenimiento de la Vía Interoceánica en el tramo Plaza Argentina-Pifo.*

✓ **Mantenimiento periódico:**

*Este rubro toma como referencia la experiencia de la EPMMOP, en la ampliación de la Vía Interoceánica tramo III (Tumbaco-Pifo). Se estima realizar el primer mantenimiento en el año 6 (2020) y en segundo*

*mantenimiento el año 14 (2028). El valor de base para la estimación del mantenimiento es de US\$ \$ 22.890 millones, este valor se indexará por la inflación acumulada proyectada para los períodos 2011- 2020 y 2020-2028.*

- **Depreciación y amortización**

*La depreciación de la infraestructura, se ha supuesto que se la realizará en línea recta durante el período operativo de la vía. El horizonte de depreciación será (2014 -2030), una vez que empiece la operación conjunta de los dos tramos. La depreciación de la inversión en equipamiento y adaptación de las estaciones de peaje se asume para realizarla en un plazo de 5 años.*

*La amortización de la inversión en expropiaciones, se asume realizarla en un plazo de 10 años. La amortización de los estudios, fiscalizaciones, auditorías y demás gastos preoperacionales se realizará en un período de 10 años.*

- **Seguros e imprevistos**

*Se ha considerado un gasto estimado de seguros como el 10% de los costos de operación y mantenimiento anuales. Los imprevistos se han estimado como el 7% de los costos de operación y mantenimiento anuales.*

- **Financiamiento**

*Existen 3 entidades que financian el proyecto.*

1) *Se ha firmado un contrato de préstamo por **US\$ 39'065.735** millones, con el **Banco del Estado**, para financiar el pago de las indemnizaciones, este*

*préstamo es a 10 años con pagos anuales de dividendos iguales, se contempla un año de gracia, para el comienzo del pago de los dividendos.*

*2) La **Corporación Andina de Fomento** concede un crédito inicial por el valor de **US\$ 169'717.501** millones, y se realizará un segundo desembolso de **US\$ 71'150.158** millones que servirán para la construcción de la vía en sus dos fases. El plazo del crédito es de 12 años con 30 meses de gracia, la amortización es semestral, con una tasa de interés que se compone de la tasa LIBOR a 6 meses más un margen del 2.55% anual.*

*3) El **Municipio de Quito** deberá realizar un aporte de **US\$ 84'688.873** millones, que servirán para completar el capital requerido, para la realización del proyecto. Este aporte no genera costos financieros para el proyecto.*

- **Impuestos**

*Se asume el cobro de El IMPUESTO AL VALOR AGREGADO IVA 12% en las tasas de peaje a cobrarse, el Municipio declarará y pagará al Servicio de Rentas Internas mensualmente el valor recaudado por el mencionado impuesto. Este rubro no se considera como ingreso del proyecto, por lo que no se lo proyectará.*

*No se asume el pago de Impuesto a la Renta de los beneficios obtenidos de la explotación de los peajes, que se proyecta instalar en los sitios ya señalados anteriormente.*

No se considera el pago o cobro de otros impuestos.

- **Tasa de descuento**

La tasa de descuento que se utilizará para obtener el VAN (Valor Actual Neto) de los flujos netos que generen la operación de los peajes se estimará conforme las simulaciones de escenarios de distintas tasas de descuento.<sup>28</sup>

### 3.7.5.3 RESULTADOS DE LA MODELIZACIÓN FINANCIERA

- **ESCENARIO 1: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA**

Para la evaluación financiera como supuestos se ha considerado los siguientes datos en inversión para el Proyecto Ruta Viva, (estimando un aproximado para la Fase III y la inversión total en expropiaciones) incluido la inversión en la implementación de las estaciones de peaje. (Ver **Anexo**

#### **CC.1. Modelización Financiera Sistema Mixto)**

**Tabla 3.10.** Datos de Inversión para el Proyecto Ruta Viva

CONSOLIDACION DE INVERSION INICIAL		
DESCRIPCIÓN DE LAS INVERSIONES		MONTOS
<b>INVERSION TOTAL EN OBRAS (FASE I ,II y III)</b>		272.110.309,00
<b>EXPROPIACIONES</b>		85.000.000,00
<b>ESTACION DE PEAJE</b>	<b>(2 estaciones)</b>	9.359.432,00
<b>INVERSION EN ACTIVOS FIJOS</b>		438.610,00
<b>CAPITAL DE TRABAJO INICIAL</b>		788.496,00
<b>INVERSION TOTAL</b>		<b>367.696.848,00</b>

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

<sup>28</sup>Estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso Al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda. Pág.3 - 17

Los supuestos considerados para el cálculo son:

- El volumen de tráfico considerado es:

**Tabla 3.11.** Datos de tráfico vehicular utilizados en el modelización financiera

VOLÚMENES DE TRAFICO TPDA RUTA SUR				
ORIGEN - DESTINO	2015	2020	2025	2030
<b>Simón Bolívar - Cumbayá Lumbisí</b>				
LIVIANOS	61.057	75.465	93.372	115.174
BUSES	1.097	1.188	1.261	1.254
PESADOS	1.937	2.343	2.834	3.297
<b>TPDA</b>	<b>64.091</b>	<b>78.996</b>	<b>97.467</b>	<b>119.725</b>
<b>Pueumbo - Aeropuerto</b>				
LIVIANOS	32.982	45.272	63.225	72.414
BUSES	1.185	1.413	1.705	1.750
PESADOS	1.297	1.577	1.965	1.999
<b>TPDA</b>	<b>35.464</b>	<b>48.262</b>	<b>66.895</b>	<b>76.163</b>

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

- Estaciones analizadas mediante Teoría de Colas y micro-simulación de tráfico en VISSIM:

ESTACIONES DE PEAJE		
PEAJES	NUMERO DE CASSETAS	
	MANUALES	AUTOMATICAS
PEAJE 1	6	4
PEAJE 2	6	4

**Tabla 3.12.** Número de casetas por estación de peaje

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

- Costo estimado de la infraestructura de la Tecnología Manual:

**Tabla 3.13.** Costos de infraestructura por estación de peaje

<b>TOTAL PEAJES:</b>	<b>2</b>
<b>COSTO 1 PEAJE OBRA CIVIL*</b>	2.950.495,00
<b>COSTO PEAJE ADECUACIONES **</b>	1.729.221,00
<b>COSTO PROMEDIO POR PEAJE:</b>	4.679.716,00
<b>COSTO MANTENIMIENTO</b>	100.000,00

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

Los resultados de la modelización se resumen en:

**Tabla 3.14.** Tarifas fijadas para la modelización y resultados del flujo del proyecto

PEAJE 1	TARIFA BASE	EVALUACION DEL PROYECTO CON PAGO DE PRESTAMOS	
<b>Simón Bolívar - Cumbayá Lumbisí</b>		<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>367.258.237</b>
LIVIANOS	\$ 0,50	<b>TREMA</b>	<b>8,93%</b>
BUSES	\$ 2,50	<b>VAN DEL PROYECTO</b>	<b>24.349.790</b>
PESADOS	\$ 3,00	<b>TIR</b>	<b>11,77%</b>
<b>PEAJE 2</b>	<b>TARIFA BASE</b>	<b>PAY BACK (AÑOS)</b>	<b>11,57</b>
<b>Tumbaco 2 - Puembo</b>		<b>PAY BACK DESCONTADO (AÑOS)</b>	<b>14,25</b>
LIVIANOS	\$ 0,50		
BUSES	\$ 2,50		
PESADOS	\$ 3,00		

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

**Valor actual neto (VAN) = US\$ 24.3 millones de dólares**

**Pay back periodo = 11.57 años**

**Tasa Interna de Retorno (TIR) = 11.77%**

Esto significa que el proyecto (en el caso de ser válidos los supuestos realizados por CONFIECUADOR Cía. Ltda) con esas tarifas **Si genera una rentabilidad mayor a la rentabilidad mínima esperada y el proyecto resultan viable bajo este escenario.**

- **ESCENARIO 2: SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW**

Para la evaluación financiera como supuestos se ha considerado los siguientes datos en inversión para el Proyecto Ruta Viva, (estimando un aproximado para la Fase III) incluido la inversión en la implementación de pódicos para la tecnología Free Flow. (Ver Anexo C- C.2. Modelización Financiera Sistema Free Flow)

**Tabla 3.15.** Datos de Inversión para el Proyecto Ruta Viva

CONSOLIDACION DE INVERSION INICIAL		
DESCRIPCIÓN DE LAS INVERSIONES		MONTOS
<b>INVERSION TOTAL EN OBRAS (FASE I ,II y III)</b>		\$ 272.110.309,00
<b>EXPROPIACIONES</b>		\$ 85.000.000,00
<b>ESTACION DE PEAJE</b>	<b>(12 estaciones)</b>	\$ 7.429.058,00
<b>INVERSION EN ACTIVOS FIJOS</b>		\$ 422.590,00
<b>CAPITAL DE TRABAJO INICIAL</b>		\$418.468,00
<b>INVERSION TOTAL</b>		<b>\$365.380.426</b>

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

Los supuestos considerados para el cálculo son:

- El volumen de tráfico, análisis de teoría de colas y VISSIM.

**Tabla 3.16.** Número de casetas por estación de peaje

ESTACIONES DE PEAJE		
PEAJES	NUMERO DE CASETAS	
	MANUALES	AUTOMATICAS
PEAJE 1	0	6
PEAJE 2	0	6

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

- Costo estimado de la infraestructura de la Tecnología Free Flow:

**Tabla 3.17.** Costos de infraestructura por pórtico de peaje con tecnología Free Flow

PORTICOS FREE FLOW	12
COSTO DE PÓRTICO INTALADO*	475.899,77
COSTO SISTEMAS OPERATIVOS **	143.188,41
COSTO PROMEDIO POR PEAJE:	619.088,18
COSTO MANTENIMIENTO	10.023,00

**Fuente:** Valor referencial proporcionado por TELVENT

Los resultados de la modelización se resumen en:

**Tabla 3.18.** Tarifas fijadas para la modelización y resultados del flujo del proyecto

PEAJE 1	TARIFA BASE	EVALUACION DEL PROYECTO CON PAGO DE PRESTAMOS	
<b>Simón Bolívar - Cumbayá Lumbisí</b>		<b>INVERSION TOTAL</b>	<b>364.957.835</b>
LIVIANOS	\$ 0,50	<b>TREMA</b>	<b>8,93%</b>
BUSES	\$ 2,50	<b>VAN DEL PROYECTO</b>	<b>33.285.716</b>
PESADOS	\$ 3,00	<b>TIR</b>	<b>12,90%</b>
PEAJE 2	TARIFA BASE	<b>PAY BACK (AÑOS)</b>	<b>11,31</b>
<b>Tumbaco 2 - Puembo</b>		<b>PAY BACK DESCONTADO (AÑOS)</b>	<b>13,60</b>
LIVIANOS	\$ 0,50		
BUSES	\$ 2,50		
PESADOS	\$ 3,00		

**Fuente:** Adaptado de acuerdo al estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Elaborado por CONFIECUADOR Cía. Ltda.

**Valor actual neto (VAN) = US\$ 33.3 millones de dólares**

**Pay back period = 11.31 años**

**Tasa Interna de Retorno (TIR) = 12.90%**

Esto significa que el proyecto (en el caso de ser válidos los supuestos realizados por CONFIECUADOR Cía. Ltda) con esas tarifas podría **generar una rentabilidad mayor a la rentabilidad mínima esperada y el proyecto es viable bajo este escenario.**

## **CAPÍTULO IV**

### **ANÁLISIS DE SISTEMAS TECNOLÓGICOS PARA PEAJES**

#### **4.1 INFRAESTRUCTURAS Y EQUIPAMIENTO**

La infraestructura y equipamiento descritos a continuación detallarán los dos escenarios propuestos para los sistemas de peaje para el proyecto Ruta Viva: (Ver capítulo 3 (3.2. Análisis de escenarios))

- Escenario 1: Sistema de Peaje con Tecnología Mixta
- Escenario 2: Sistema de Peaje con Tecnología Free Flow

#### **4.2 DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA:<sup>29</sup>**

La descripción de la infraestructura del Sistema de Peaje Manual, se compone generalmente de la siguiente infraestructura mínima y necesaria: (Ver Anexo D.- Planos De Los Sistemas De Peaje)

##### **a) Plazas de Peaje:**

Una estación de Peaje depende de la tipología a implementarse de acuerdo al número y tipo de carriles ya sean éstos: en un sentido o reversibles, de cobro en cabina o de tele-peajes. (Ver Anexo D.- Lámina 1A4/4)

Además entendemos como estación de peaje a la infraestructura, instalaciones y elementos que permiten el cobro de peaje y servicios complementarios. Los principales dispositivos del carril de vía en plaza de peaje son: sensores de piso para contar ejes, detectar doble rodada y

---

<sup>29</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: "ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI". Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial"

detectar presencia; barreras mecánicas y ópticas; semáforos y señales luminosas o acústicas de aviso, cámaras tv para monitorización, etc..(Ver Anexo A.-1.1. Especificaciones Técnicas de los principales elementos de la Tecnología Manual- Automático)



**Figura 4.1.** Estación Peaje (vista aérea)

**Fuente:** Vista de estaciones de peaje. (AUSA. (s.f.).)<sup>30</sup>



**Figura 4.2.** Estación Peaje (vista lateral)

**Fuente:** VALLES Evasión mínima en el Tele-peaje de la autopista. (LA HORA. (2011)).<sup>31</sup>

<sup>30</sup>AUSA. (s.f.). Vista de estaciones de peaje. recuperado de [https://www.ausa.com.ar/comunicacion\\_prensa/galeria.aspx?id=18](https://www.ausa.com.ar/comunicacion_prensa/galeria.aspx?id=18)

**a.1.) Cubierta:** La cubierta es un elemento que tiene por objetivo la protección de los agentes climáticos a los que estén expuestas una estación de peaje, pueden tener materiales como: metal o de hormigón de acuerdo al diseño y especificaciones. (Ver Anexo D.- Lámina 3/4)



**Figura 4.3.** Cubierta de la Estación de Peaje

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>32</sup>

**b) Accesos a la estación de peaje:**

Son la manera de disponer los elementos geométricos viales, para prestar facilidad al ingreso de vehículos a la estación de peaje, que corresponden a los ensanches de la vía, para poder acceder a todas las cabinas de pago. (Ver Anexo D.- Lámina 3/4)

---

<sup>31</sup>LA HORA. (2011). VALLES Evasión mínima en el tele-peaje de la autopista. Recuperado de [http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101242086/1/Evasi%C3%B3n\\_m%C3%ADmina\\_\\_en\\_el\\_tele-peaje\\_\\_de\\_la\\_autopista.html#.U7mVmZR5P-V](http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101242086/1/Evasi%C3%B3n_m%C3%ADmina__en_el_tele-peaje__de_la_autopista.html#.U7mVmZR5P-V)

<sup>3234</sup>Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial.



**Figura 4.4.** Acceso la Estación de Peaje (sentido Quito-Valle)

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>33</sup>

### c) Área de Operación, Administración y Servicios

Es el área que ocupa la infraestructura de la estación de peaje de la construcción cuya función es la recaudación y la realización de las respectivas transacciones por concepto del cobro de tasas de peaje. El área de administración y servicios está destinada a la Gerencia, Administración y actividades complementarias de la Estación de Peaje para desarrollar la operación de cobro. (Ver Anexo D.- Lámina 2/4). El Back Office Operacional se detalla más delante en el Anexo A.-2.1. Operación del Sistema de Peaje Manual.



**Figura 4.5.** Área de Operación

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>34</sup>

<sup>33</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial.



**Figura 4.6.** Edificio Administrativo

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>35</sup>

#### **d) Equipos de Operación**

Los equipos de operación se componen de elementos electromecánicos (Consolas, Barreras, alarma lectores, intercomunicador, Semáforos, Cámaras, entre otros.) y electrónicos (Hardware y Software) que cumplen la función de gestión, control y cobro de peaje. (Ver Anexo D.- Lámina 4/4).



**Figura 4.7.** Equipos de Operación

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>36</sup>

---

<sup>34</sup> <sup>35</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial



**Figura 4.8.** Videocámara– Semáforo

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>37</sup>

#### **d.1.) Expedidor de tickets- Nota de Venta**

La Nota de Venta es un documento autorizado por la autoridad competente (SRI), y serán entregados en cada cabina de la estación de peaje legitimando la cancelación de la tasa de peaje establecida por cada una de las categorías. (Ver Anexo D.- Lámina 4/4)



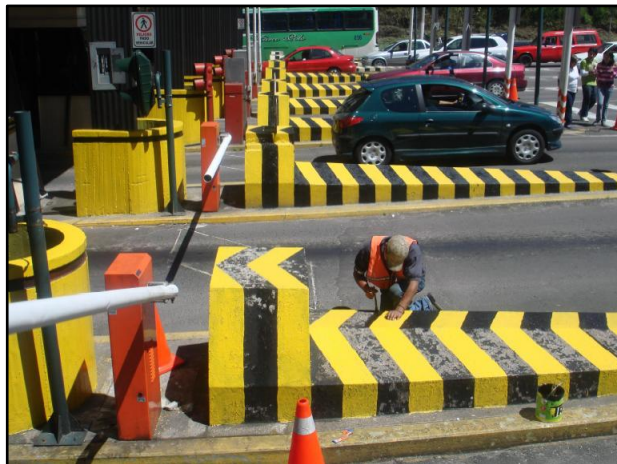
**Figura 4.9.** Tickets – Notas de Venta

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>38</sup>

<sup>36</sup> <sup>37</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Op. Cit.

### e) Isletas de Protección

Es un elemento de la infraestructura de las estaciones de peaje que puede ser un bloque o isleta generalmente de hormigón que sirve para proteger a la caseta guiando a los vehículos. (Ver Anexo D.- Lámina 1/4)



**Figura 4.10.** Isletas de Protección

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>39</sup>



**Figura 4.11.** Isletas de Protección

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>40</sup>

---

<sup>3839</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial

<sup>40</sup> Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Op. Cit.

### **e.1. Cabinas de Peaje**

Es la infraestructura que instala al personal que opera los equipos necesarios para la recaudación de los cobros de peaje. (Ver Anexo D.- Lámina 1/4)



**Figura 4.12.** Cabinas de Peaje

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui”  
(Calderón, C. (2009))

### **f) Señalización Horizontal y Vertical**

La señalización horizontal y vertical es la demarcación de marcas viales, las cuales son realizadas sobre el pavimento o son placas fijadas en postes o estructuras instaladas sobre la vía o adyacentes a ella, respectivamente; con el fin de canalizar el tránsito, ordenar, reglamentar para proporcionar seguridad vial al conductor.(Ver Anexo D.- Lámina 1/4).



**Figura 4.13.** Detalle de la Señalización

**Fuente:** Tesis: “Análisis del Sistema de Tele-peaje en la Autopista General Rumiñahui” (Calderón, C. (2009))<sup>41</sup>

### 4.3 DESCRIPCIÓN DE LA INFRAESTRUCTURA DEL SISTEMA DE FREE FLOW

El Sistema de Peaje Free-Flow es una propuesta Tecnológica sin Barrera que permite a través de la ubicación de Pórticos, la detección de vehículos para el cobro de la tasa de peaje, mediante un sistema operacional Back Office y entre los principales beneficios son:(Ver Anexo D.- Lámina 1/2)

- El cobro del peaje a alta velocidad.
- Permite el pago en metálico a usuarios no bancarizados.
- Detecta vehículo al paso por el punto de cobro.
- No genera congestionamiento vehicular como los sistemas de peaje canalizados de cobro manual.

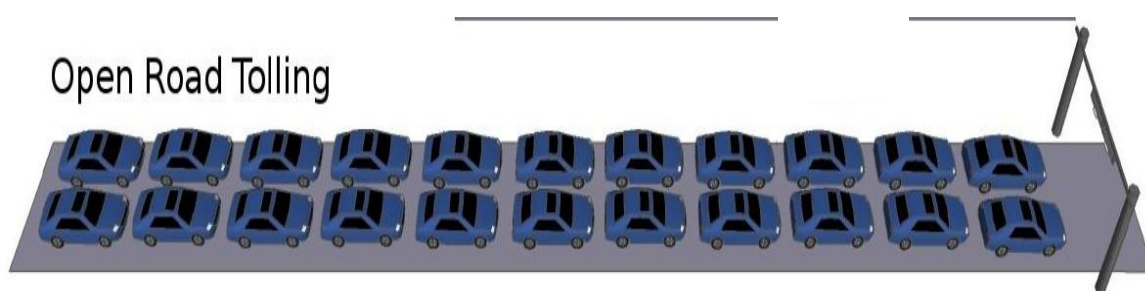
<sup>41</sup>Calderón del Hierro Carlos Xavier. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial

Para el presente proyecto tomamos referencia de la solución propuesta por Schneider Electric para Ruta Viva que está basada en la tecnología Free Flow, que estamos analizando en la propuesta; la empresa *Schneider Electric* tiene experiencia en operación en sistemas Free-Flow con diversas políticas de clasificación, (basadas en volumen, en número de ejes, etc.) y con protocolos DSRC tecnología 5,8 GHz y RFID 900 MHz (incluyendo proyectos en los que se manejan ambas tecnologías de manera simultánea). A continuación realizamos una descripción del sistema:<sup>42</sup>

#### a) Generalidades

La tecnología Free Flow y ha sido diseñada para aportar la máxima fiabilidad y disponibilidad del sistema, a través de la utilización de componentes de hardware COTS (Commercial off the Shelf) y redundancia.

##### a.1. Características del Sistema de Peaje Free-Flow/Ort<sup>43</sup>



**Figura 4.14.** Sistema de peaje Free-Flow/Ort

**Fuente:** Larraondo, I. (2013)<sup>44</sup>

<sup>42</sup>Schneider Electric Sales Proposal, Sistema de Peaje Ruta Viva (Ecuador), Tender N° 07399, Descripción Técnica y Funcional, Enero 2014.

<sup>43</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

<sup>44</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

	Free Flow / ORT
<b>Capacidad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ 2200 veh/h</li> <li>✓ No existe congestión en la plaza</li> </ul>
<b>Tendencia del sistema</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Sistema en crecimiento en Chile, Brasil...</li> <li>✓ Óptimo para ciudades</li> </ul>
<b>Obra civil</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Porticos Free Flow</li> <li>✓ Espacio Mínimo, uso de carriles existentes</li> </ul>
<b>Back Office</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- CAC + VPS (para el enforcement)</li> </ul>
<b>Operación</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Revisiones de Imágenes e Infracciones</li> <li>- Necesario CAC para emitir tags</li> <li>✓ Optimizable (más tags, tecnología ALPR)</li> </ul>
<b>Seguridad</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ No para el vehículo</li> </ul>
<b>Fraude</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Asociado a los usuarios y aplicación del enforcement</li> </ul>
<b>Enforcement</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Procedimiento administrativo. Similar al fotorrojo</li> </ul>
<b>Costo</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>✓ Similar</li> </ul>

**Figura 4.15.** Características del sistema de peaje Free-Flow/Ort

**Fuente:** Larraondo, I. (2013) <sup>45</sup>

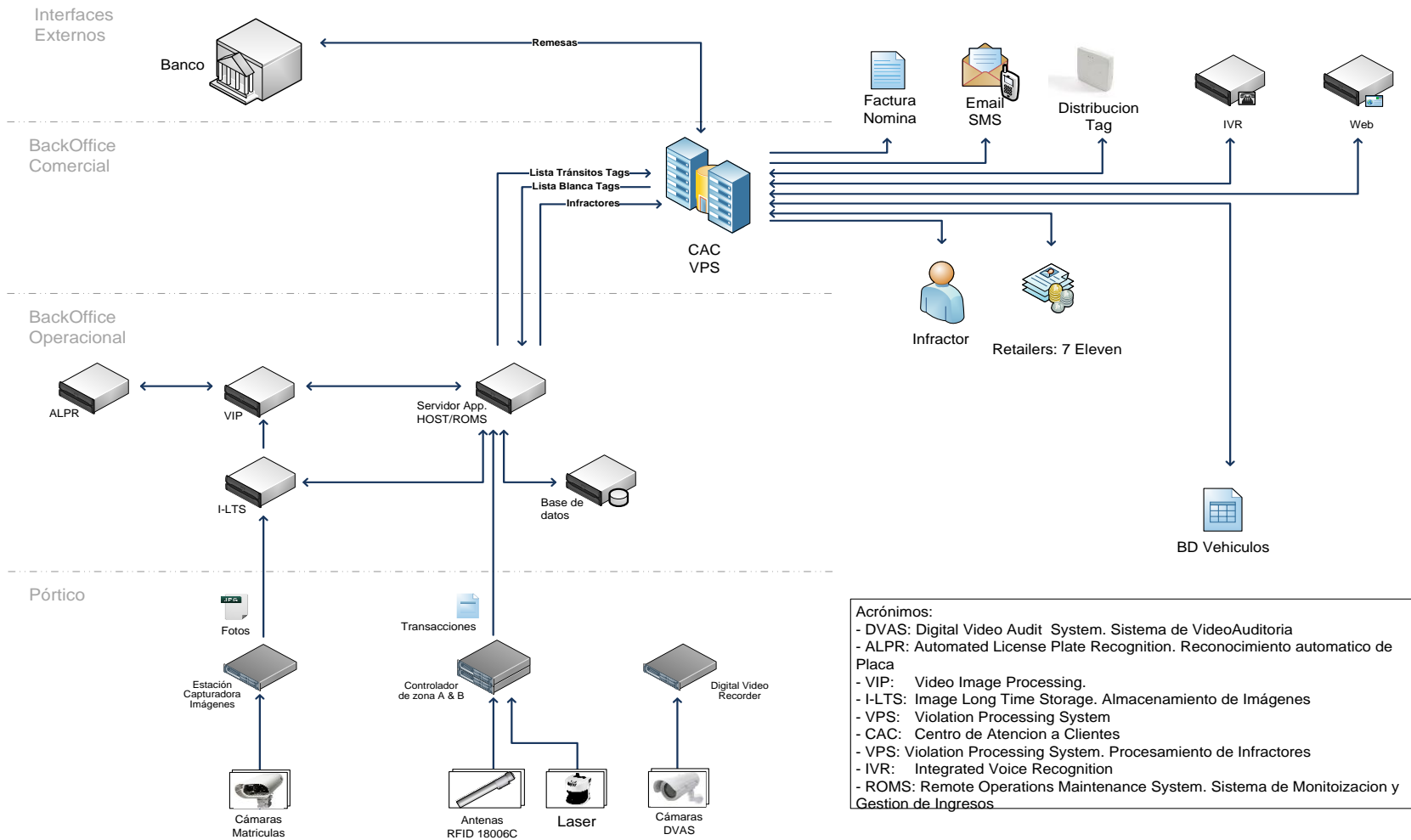
### **b) Arquitectura General de la Solución**

La arquitectura de la solución completa, se compone de los módulos mostrados en el diagrama general del sistema (Ver **Figura 4.15.**)

El alcance en esta solución consiste en:

- Nivel Pórtico (Road Side System), donde se instalan los elementos de detección, clasificación, cobro y enforcement de vehículos
- Nivel Back Office Operacional: (Ver Anexo B. 2.2.1.Back Office Operacional para el Sistema de Free Flow)
  - ✓ Gestión de Tránsitos
  - ✓ Procesamiento de Imágenes
  - ✓ Monitorización y Gestión de Mantenimiento

<sup>45</sup>Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013



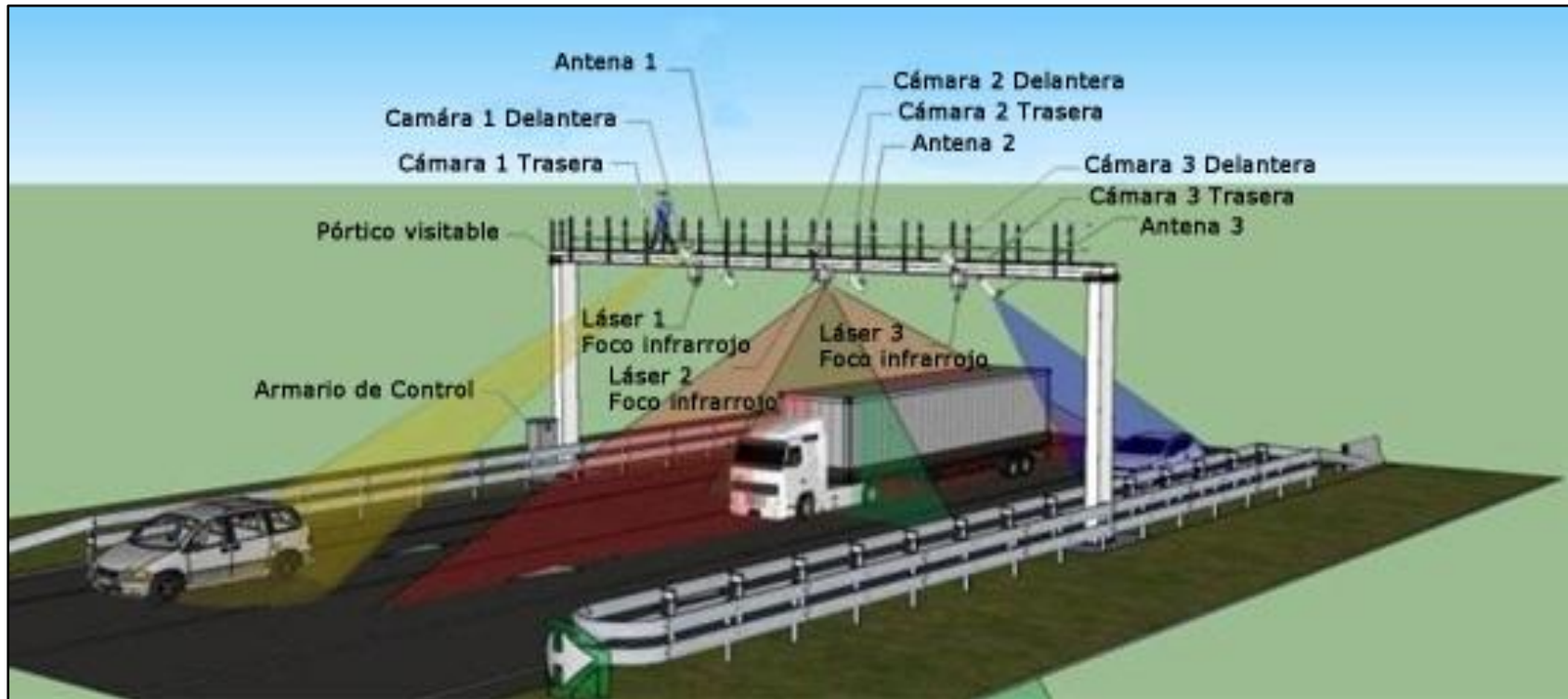
- Acronimos:**
- DVAS: Digital Video Audit System. Sistema de VideoAuditoria
  - ALPR: Automated License Plate Recognition. Reconocimiento automatico de Placa
  - VIP: Video Image Processing.
  - I-LTS: Image Long Time Storage. Almacenamiento de Imágenes
  - VPS: Violation Processing System
  - CAC: Centro de Atencion a Clientes
  - VPS: Violation Processing System. Procesamiento de Infractores
  - IVR: Integrated Voice Recognition
  - ROMS: Remote Operations Maintenance System. Sistema de Monitoizacion y Gestion de Ingresos

**Figura 4.16. Arquitectura de la Solución**

**Fuente:** Larraondo, I. (2013) <sup>46</sup>

<sup>46</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

A continuación, se detalla la ubicación en el pórtico de los elementos de campo que constituyen el sistema de Free Flow, así como las áreas de cobertura de cada uno de ellos. (Ver Anexo D.- Planos de los Sistemas de Peaje)

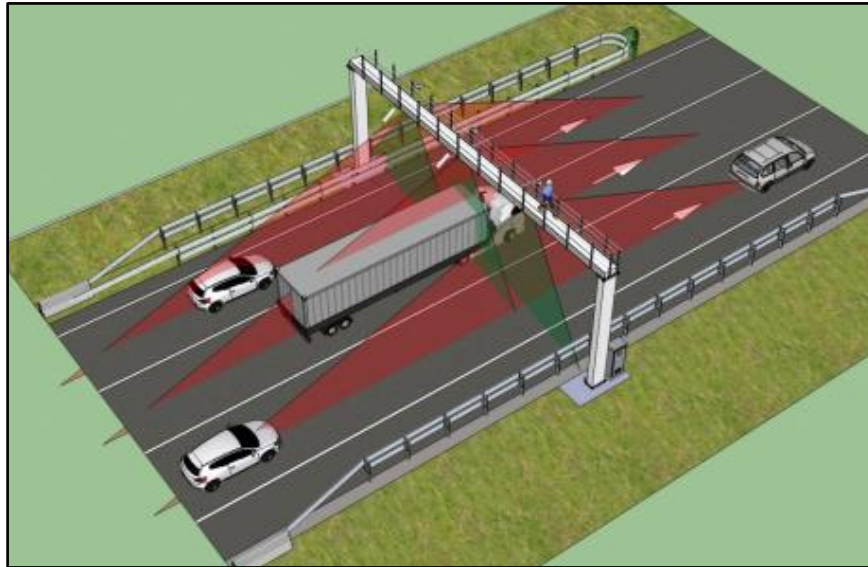


**Figura 4.17.** Distribución de Elementos en Pórtico

**Fuente:** Larraondo, I. (2013)<sup>47</sup>

<sup>47</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

A continuación se presenta una descripción gráfica esquemática del proceso del sistema Free Flow en cada una de las panorámicas:<sup>48</sup>



**Figura 4.18.**Panorámica General

Fuente: Larraondo,I. (2013)

### **C) Detalle de captura de las transacciones<sup>49</sup>**

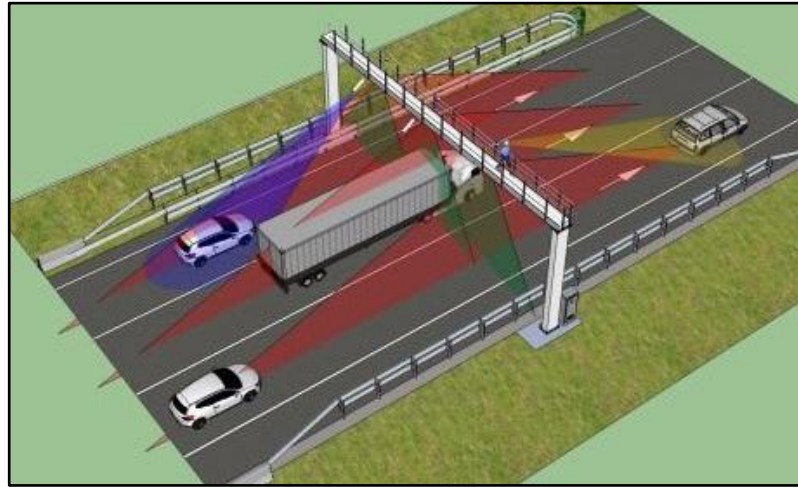
A continuación se detalla el proceso de captura y registro de datos asociados a las transacciones que tienen lugar en la zona de cobro. El sistema se basa principalmente en el registro en tiempo real de 2 datos asociados a cada evento que se produce en la zona de cobro:

- La posición exacta del vehículo capturada mediante los dispositivos de detección laser que cubren toda la zona.
- El momento exacto [Time\_Stamp] en el que se produce el evento.

Todos los subsistemas se sincronizan al milisegundo.

<sup>48</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

<sup>49</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

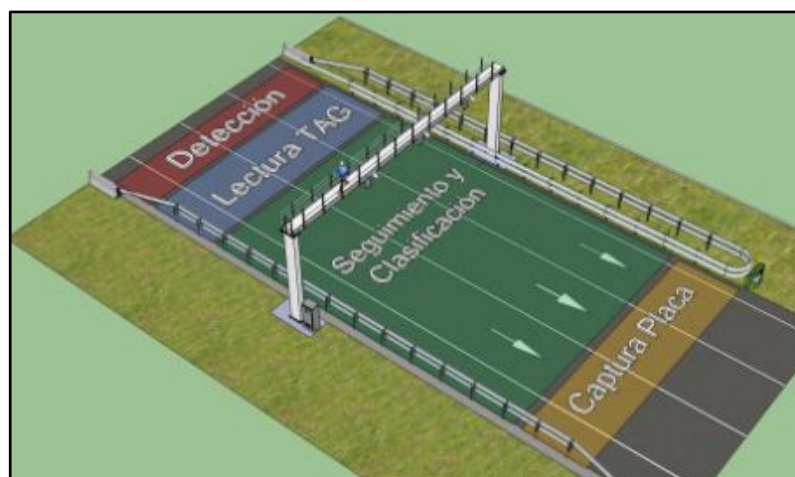


**Figura 4.19.** Sistema Multicarril

Fuente: Larraondo, I. (2014)<sup>50</sup>

La Zona de Cobro donde se capturan los datos asociados a cada transacción se divide en 4 subzonas:

- Zona de Detección
- Zona de Lectura de TAGS
- Zona de Seguimiento y Clasificación
- Zona de Captura de Placa o Matrícula



**Figura 4.20.** Zonas de Captura de Datos

Fuente: Larraondo, I (2013)<sup>51</sup>

<sup>50</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

#### d) Detección del Vehículo<sup>52</sup>

El proceso comienza con la detección del vehículo al entrar en la zona de cobro. Los vehículos son detectados por el láser longitudinal cuando se aproximan al pórtico.



**Figura 4.21.** Detección de Vehículo

**Fuente:** Larraondo,I (2013)<sup>53</sup>

Una vez detectado un vehículo se le asigna un identificador único **[Vehicle\_Id]** al que se asociarán todos los datos capturados relativos a la transacción de dicho vehículo que se describen a continuación.

Junto al identificador del vehículo se registra el carril en el que se ha realizado la detección **[Lane\_Detection\_Id]**, y el momento exacto en el que se realiza dicha detección **[Detection\_Time\_Stamp]**.

---

<sup>51</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

<sup>52</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

<sup>53</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

### e) Lectura de TAG<sup>54</sup>

A continuación el vehículo entra en la zona de lectura de TAGs y el sistema detecta si el vehículo dispone de un TAG válido.

Si se detecta un TAG en el vehículo, el sistema registra el identificador del TAG [**TAG\_Id**], el carril en el que se detecta [**Lane\_TAG\_Id**], y el momento exacto en el que se realiza la lectura [**TAG\_Time\_Stamp**].



**Figura 4.22.** Lectura de TAG

Fuente: Larraondo, I. (2013)<sup>55</sup>

### f) Descripción Técnica y Funcional de Puntos de Cobro<sup>56</sup>

Cada uno de los Puntos de Cobro (pórtico) estará compuesto por una zona o pórtico lógico. El equipamiento de control de cada zona estará instalado en un armario con aire acondicionado próximo al pórtico físico. (Ver Anexo D.- Lámina 2/2)1.2. (Ver Anexo A.- 1.2. Especificaciones Técnicas de los principales elementos de la Tecnología Free Flow)

Cada punto de cobro está equipado con los siguientes elementos:

<sup>54</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

<sup>55</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

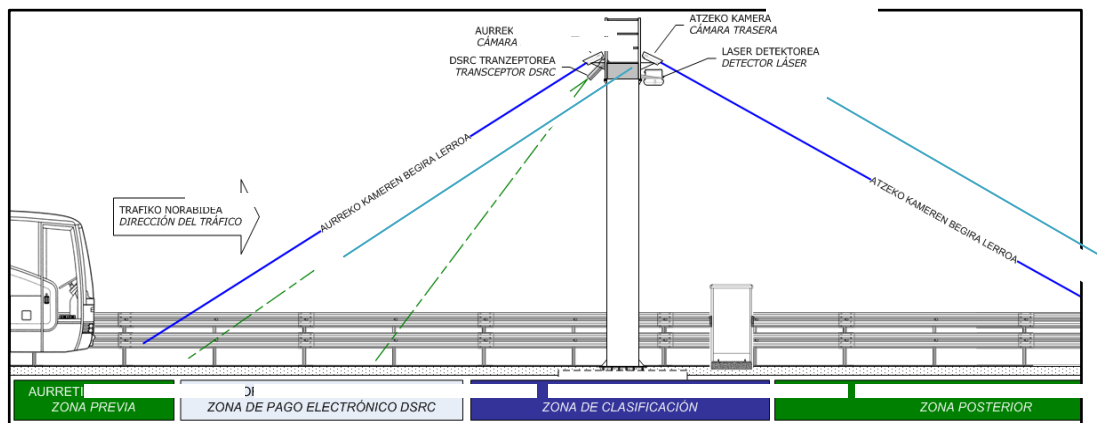
<sup>56</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – Febrero 2014

- Pórtico, en el cual se instala todos los subsistemas que constituyen los puntos de cobro.
- Dos Controladores de Zona (ZC), conectados de forma redundante con capacidad de trabajo individual. Se encargan de la asignación de pagos a vehículos (armado) y el control y monitorización del hardware de cada carril.
- Un Sistema de Clasificación Automática de Vehículos (AVC), compuesto por un equipo basados en tecnología láser de doble haz por carril para realizar la detección, el seguimiento del vehículo y la obtención de su longitud en todo el ancho de la calzada.
- Un Sistema de Identificación Automática de Vehículos (AVI), compuesto por un transceptor DSRC por carril. Se encarga de la lectura de los tags de los vehículos circulantes así como de la detección de posición de los mismos en todo el ancho de la calzada.
- Un Sistema de Detección de Infractores (VES) compuesto por una cámara trasera por carril, con OCR integrado y posibilidad de disparos repetitivos, para obtener imágenes de las matrículas traseras en todo el ancho de la calzada. Las cámaras generan además imágenes de contexto en color. Para el uso nocturno se usan además un iluminador infrarrojo adicional.

- Una Estación de Captura de Imágenes (ICS), que recibe, correlaciona y analiza las imágenes generadas por el sistema VES. Por redundancia, cada ICS también almacena las imágenes del sentido contrario, por lo que los equipos están dimensionados para soportar más del doble de la carga máxima prevista.
- Una Cámara de Video Digital (DVAS) para almacenar video en un Digital Video Recorder (DVR).
- Dos switches de red Layer 2, redundantes por sentido.

El armado de transacciones es la asignación de un pago a un vehículo detectado determinado. En un sentido más general, se trata de establecer con precisión una correlación entre los distintos sensores para crear una transacción del vehículo completa y precisa. Incorrecciones en el armado implica cobros sobre usuarios de manera incorrecta, reclamaciones, e incluso pérdida de ingresos.

El armado de transacciones es el componente esencial de los sistemas electrónicos de peaje. Es especialmente crítico en los sistemas más complejos, en los que se cuentan con varios carriles, con usuarios que pueden portar simultáneamente distintos medios de pago y donde se requiere el uso de un sistema de detección de infracciones y capturas de imágenes del vehículo. La solución para el armado de transacciones divide cada carril en tres zonas: zona de entrada, zona de pago y clasificación y zona de salida.



**Figura 4.23.** Armado de Transacciones

Fuente: Larraondo, I (2013)<sup>57</sup>

La zona de entrada contiene los vehículos que están avanzando hacia el pórtico pero todavía no han entrado en la zona de pago y clasificación. Representa el primer punto de detección del vehículo. Las zona de pago y clasificación se solapan de forma que el vehículo alcanza el sistema de seguimiento láser antes de que se lea el tag. El equipo lector de tags también se encarga de arbitrar la asignación de carriles para cada tag, basándose en los mensajes intercambiados entre el tag y las antenas de cada zona.

Una vez que el láser detecta la presencia de un vehículo, se considera que el vehículo está en la zona de pago y clasificación.

A partir de ese punto, todos los pagos recibidos se asocian con el vehículo. Se obtiene una imagen en blanco y negro de la matrícula delantera la cual es reconocida (OCR) y almacenada.

<sup>57</sup> Schneider Electric - Smart Infrastructure – Iñigo Larraondo – 31 Octubre 2013

El vehículo se clasifica por su longitud mientras avanza bajo el sistema AVC, y se considera que todavía está en la zona de pago y clasificación.

Cuando el vehículo avanza lo suficiente para salir del sistema AVC, entra en la zona de salida.

Cuando se abandona la zona de salida se obtiene una imagen de la matrícula trasera que es reconocida (OCR) y almacenada.

Se obtiene también en esta zona una imagen en color del vehículo completo. Siguiendo los requisitos del pliego, en este proyecto se guardarán todas las imágenes generadas. El Back Office Comercial que permitirá el cobro de la tasa de peaje se explicará más adelante en el Anexo B.-3. Back Office Comercial para Free Flow.

#### **4.4 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS SISTEMAS**

##### **4.4.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA DE PEAJE MIXTO.**

- Mejora sustancialmente la accesibilidad del usuario a la estación de peaje ofreciendo dos alternativas para el pago de la tarifa en una misma estación ya sea de forma manual o automática (a través del TAG).
- El nivel de operatividad del sistema de peaje mixto podría colapsar en la hora pico y aumentar el costo de operación de los vehículos si no se tiene un adecuado equilibrio entre las cabinas de cobro manual y automático.
- El costo de implementación y operación del sistema de peaje mixto podría variar en los años futuros debido a la ampliación del servicio con

casetas de cobro manual o a incorporación de nuevas cabinas de cobro automático.

- El sistema de peaje mixto genera colas de espera en los años futuros.
- El peaje mixto es deficiente en la implementación de tarifas diferenciadas.

#### **4.4.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SISTEMA FREE FLOW**

- El nivel de operatividad del sistema de Free Flow sería conveniente en la hora pico.
- Optimiza el tiempo de viaje debido en el recorrido a través de la vía.
- El Back Office Comercial, del Sistema Free Flow, permite calcular tarifas diferenciadas, mejorando la economía del usuario.
- Reduce el costo de operación de los vehículos por el tránsito libre por el sistema.
- El sistema de recaudación es accesible para el usuario porque facilita el pago de la tasa de peaje
- El modelo de gestión es nuevo a implementarse y requiere accesoria especializada.

## **CAPÍTULO V**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **5.1 CONCLUSIONES**

Al finalizar la presente investigación es importante indicar que toda la información utilizada se encuentra debidamente referenciada en los pies de página así como en el apartado de referencias bibliográficas. Las conclusiones que se desprenden del presente trabajo se describen a continuación:

##### **5.1.1 CONCLUSIONES DE SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA MIXTA**

Del análisis realizado al Escenario 1 mediante la implementación del sistema de peaje para Ruta Viva con Tecnología mixta (estaciones de peaje con cabinas de cobro manual y automático) se resumen en las siguientes conclusiones:

- El sistema de peaje con tecnología mixta para el Proyecto Ruta Viva es eficiente para el tiempo horizonte de estudio (2015-2030) con 2 plazas de peaje cuyas características son:
  - ✓ Estación de Peaje 1: Ubicada en el tramo comprendido entre la Av. Simón Bolívar y el Intercambiador de Lumbisí con un TPDA de 64.091,00 vehículos para el año 2015, y 119.725,00 vehículos de TPDA para el 2030, con 6 cabinas manuales y 4 cabinas automáticas (tele peajes).

- ✓ Estación de Peaje 2: Se ubicaría dentro del tramo comprendido entre Intercambiador Lumbisí y Puenbo con un TPDA de 35.464,00 vehículos para el año 2015, y 76.163,00 vehículos de TPDA para el 2030, con 6 cabinas manuales y 4 cabinas automáticas (tele-peajes).
- Del análisis operacional realizado en la fase de cálculo y micro-simulación con VISSIM para el caso de la Estación de Peaje 1 se generan tiempos de espera (incluyendo tiempos de cola y servicio) en el sentido de circulación **Quito – Tababela** para el año horizonte 2030, el cual podría ser solucionado con la incorporación de una cabina automática que mejoraría el servicio, disminuyendo las colas y reduciendo sustancialmente los tiempos de espera.
- Para el caso de la Estación de Peaje 2 no se presentan mayores tiempos de espera, resultando ser eficiente la estructura propuesta y evitando la congestión, colas y tiempos de espera a los usuarios de la vía.

En el caso de que los supuestos de la “**Modelización Financiera de los flujos económicos de potenciales peajes en las vías de acceso al aeropuerto de Quito-Ruta Viva La EPMMOP**” realizado por la empresa CONFIECUADOR Cía. Ltda. fueran verdaderos estas podrían ser las conclusiones para el sistema de peaje con tecnología mixta:

- Del análisis a las inversiones efectuadas para el proyecto Ruta Viva incluida la inversión en obras (FASE I, II, III), expropiaciones, estaciones de peaje mixto, inversión en activos fijos y capital de trabajo inicial es de \$ 367'696.848,00 dólares americanos aproximadamente.
- Con la implementación del sistema de peaje mixto se generaría una rentabilidad mayor a la rentabilidad mínima esperada con respecto a las inversiones realizadas y el proyecto resultan viable bajo este escenario, con un Valor Actual Neto (VAN) = US\$ 24.3 millones de dólares, Pay Back periodo = 11.57 años, Tasa Interna de Retorno (TIR) = 11.77%.
- Las tasas de peaje para el Sistema con Tecnología Mixta se fijan en una tarifa base dependiendo de la categoría de vehículo de \$0.50 para livianos, \$ 2.50 para buses, y de \$ 3,00 para pesados.

### **5.1.2 CONCLUSIONES DEL SISTEMA DE PEAJE CON TECNOLOGÍA FREE FLOW**

Del análisis realizado al Escenario 2 mediante la implementación del sistema de peaje para Ruta Viva con Tecnología Free Flow se desprenden las siguientes conclusiones:

- El sistema de peaje con tecnología Free Flow para el Proyecto Ruta Viva es eficiente para el tiempo horizonte de estudio (2015-2030) con 12 pórticos ubicados a lo largo de la vía:

- ✓ Sistema de peaje Free Flow para la Tramo 1: comprendido entre la Av. Simón Bolívar y el Intercambiador de Lumbisí con un TPDA de 64.091,00 vehículos para el año 2015, y 119.725,00 vehículos de TPDA para el 2030, con 6 pórticos Free Flow ubicados estratégicamente en las entradas y salidas de la autopista en sus dos sentidos de circulación.
  
- ✓ Sistema de peaje Free Flow para el Tramo II: comprendido entre Intercambiador Lumbisí y Puembo con un TPDA de 35.464,00 vehículos para el año 2015, y 76.163,00 vehículos de TPDA para el 2030, con 6 pórticos Free Flow ubicados estratégicamente en las entradas y salidas de la autopista en sus dos sentidos de circulación.
  
- Con la implementación de la Tecnología Free Flow no generan tiempo de espera para los usuarios de la vía por cuanto los vehículos circulan a flujo libre y el sistema de cobro de peajes es automático.

En el caso de que los supuestos de la “**Modelización Financiera de los flujos económicos de potenciales peajes en las vías de acceso al aeropuerto de Quito-Ruta Viva La EPMOP**” realizado por la empresa CONFIECUADOR Cía. Ltda. fueran verdaderos estas podrían ser las conclusiones para el sistema de peaje con tecnología Free Flow:

- El análisis de las inversiones efectuadas para el proyecto Ruta Viva incluida la inversión en obras (FASE I, II, III), expropiaciones, sistema de peaje con tecnología Free Flow (12 pórtico), inversión en activos fijos y capital de trabajo inicial es de \$ 365'380.426,00 dólares americanos. aproximadamente.
- Mediante la implementación del sistema de peaje con Tecnología Free Flow se generaría una rentabilidad mayor a la rentabilidad mínima esperada y el proyecto resultan viable bajo este escenario, con un Valor Actual Neto (VAN) = US\$ 33.3 millones de dólares, Pay back periodo = 13.60 años, Tasa Interna de Retorno (TIR) = 12.90%, estos indicadores de rentabilidad para el presente escenario son mayores con respecto al escenario de peajes con tecnología mixta por cuanto se reducen costos en la operación y mantenimiento del sistema.
- Las tasas de peaje para el Sistema con Free Flow se fijan en una tarifa base dependiendo de la categoría de vehículo de \$0.50 para livianos, \$ 2.50 para buses, y de \$ 3,00 para pesados, con la posibilidad de disponer tarifas diferenciadas por el Back Office Comercial (Módulo de gestión financiera electrónico para el recaudo de las tarifas de peaje) propuesto en el presente escenario.

### **5.1.3 RECOMENDACIONES**

- La implementación de un sistema de peaje para el proyecto Ruta Viva debe ser estudiada a mayor profundidad por parte la Municipalidad,

considerando además de los criterios técnicos indicados esta tesis, criterios de carácter social y político. Esta tesis es un insumo o una base para la toma de decisiones y su flexibilidad permitirá estudiar otros necesarios que se estimen convenientes de las autoridades.

- Las previsiones de tráfico que fueron tomadas para la realización de esta tesis provienen del estudio de diseño de la Ruta Viva, realizado en el año 2009. Se recomienda que para la implementación del sistema de peaje se elabore un nuevo estudio de tráfico y nuevas previsiones, teniendo en cuenta el desarrollo de la Ruta Viva (considerando que está previsto la culminación de la Fase II para Diciembre del 2014) y otros proyectos de infraestructura que podrían tener impacto sobre el proyecto.
- La implementación del sistema de peaje Free Flow lograría mayor fluidez del tráfico vehicular, desapareciendo los tiempos de espera al tratarse de flujo libre, optimizando el control vehicular, maximizando el recaudo y minimizando las fugas vehiculares. Se recomienda analizar las tecnologías de sistemas de peajes más avanzadas que se encuentren disponibles en el mercado considerando la mejor alternativa técnica/económica, tomando en cuenta que se debe seleccionar la mejor alternativa durante la vida útil del proyecto, y no solo la más económica en el corto plazo. En definitiva, se recomienda la adopción de tecnologías Free Flow, no obstante esta tesis ha estudiado el uso de tecnologías mixtas (manual-automático).

- El modelo tarifario a aplicarse dependerá de las políticas de la Administración Municipal, pudiendo estudiarse varios esquemas como por ejemplo la implementación de tarifas diferenciadas en horas picos, tarifas diferenciadas por distancia recorrida dentro del proyecto, subsidios de tarifa a moradores del sector, disposición a pago frente a otros peajes aledaños como el Túnel Guayasamín y otros temas tarifarios asociados a consideraciones de tipo social, buscando el siempre el beneficio para los usuarios de la vía.
- Esta tesis constituye un aporte para la toma de decisiones ya que define las alternativas tecnológicas adecuadas para el sistema de peaje del proyecto Ruta Viva. Se recomienda analizar un modelo de administración para el peaje de la Ruta Viva que permita prestar un adecuado servicio al usuario y un manejo responsable de los recursos económicos, para lo cual la Municipalidad del Distrito Metropolitano de Quito apoyada en la EPMMOP lo podría realizar por administración directa o a través de la contratación de una empresa administradora u operadora especializada en sistemas de peaje.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

### ESTUDIOS

- ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudio de tráfico del proyecto Ruta Viva.
- ASTEC. ASOCIACIÓN FERNANDO ROMO. L&G CONSULTORES (2009). Estudios de Ingeniería Definitivos del Proyecto “Ruta Viva – Vía Aeropuerto” Pág. 9,15, 42
- CONFIECUADOR Cía. Ltda. Estudio “Modelización Financiera de los Flujos Económicos de Potenciales Peajes en Las Vías de Acceso Al Aeropuerto De Quito – Ruta Viva”. Pág.3 – 17, 9.
- EMPRESA ADMINISTRADORA Y PROVEEDORA DE TECNOLOGIA A NIVEL MUNDIAL PARA SISTEMAS DE PEAJE, CONTROL DEL TRANSITO URBANO – SEMAFORIZACIÓN Y PARQUEO. TELVENT.
- SECRETARÍA DE MOVILIDAD DE LA ALCALDÍA METROPOLITANA DE QUITO. Estudio de Tráfico en la Vía Interoceánica con la apertura del Nuevo Aeropuerto de Quito. Informe de contadores automáticos.

### LIBROS Y PDFS

- ADMINISTRADORA BOLIVIANA DE CARRETERAS (2008). Guía para la Ubicación y Construcción de Estaciones de Cobro De Peaje Tipo.
- ARIAS, J. (s.f.). “Temario Teoría de Colas”. Pontificia Universidad Católica Madre y Maestra. Facultad de Ciencias de la Ingeniería. Departamento de Ingeniería Industrial (li-527).
- CHASE, R & AQUILANO, N. (1997). Dirección y Administración de Producción y de las Operaciones. 6ta edición. Ed. Mc Graw-Hill. España.
- LARRAONDO I. (2013). Schneider Electric - Smart Infrastructure — 31 Octubre 2013.

- LARRAONDO I. (2014). Schneider Electric - Smart Infrastructure — Febrero 2014.
- NARANJO, J., JIMÉNEZ, F., ARMINGOL, J., & ESCALERA, A. (2008). Entornos inteligentes basados en redes inalámbricas: aplicaciones al transporte, automóvil inteligente/conectado y seguridad vial. Universidad Politécnica de Madrid. Pág. 38.
- OAPLO (Organización Argentina de Producción, Logística y Operaciones). Documento - Teoría de Colas. Ing. Dante de Marco. Pág.4- 6-7.
- PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL ECUADOR. Apuntes de Clase. Estadística Operacional. Ing. Paúl Idrobo. Maestría en Transportes.
- SECRETARÍA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES, SUBSECRETARÍA DE INFRAESTRUCTURA, DIRECCIÓN GENERAL DE CONSERVACIÓN DE CARRETERAS. (2012). Libro Blanco “Programa de Mantenimiento Integral”.
- SCHNEIDER ELECTRIC SALES PROPOSAL. (2014). Sistema de Peaje Ruta Viva (Ecuador), Tender N° 07399, Descripción Técnica y Funcional.
- SCHROEDER, R. (1999). Administración de Operaciones. 3ra edición. Ed. Mc Graw-Hill. España.
- UNIVERSIDAD CATÓLICA DE ORIENTE (2011). Dirección de Operaciones y Toma de Decisiones. Ingeniería industrial – ciclo de profesionalización. Teoría de Colas. Artículo científico pdf Pág. 1 – 8.
- UNIVERSIDAD DE PIURA. Apuntes de Clase. Introducción a la Teoría de Colas. Preparado por el Ing. Civil Jorge A. Timaná Rojas, Master en Ingeniería de Transportes por la University of British Columbia, para uso interno del Programa Master de Ingeniería Civil con Mención en Ingeniería Vial de la Universidad de Piura. Pág. 6, 8,9.

- UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA NACIONAL DE SANTA FE - ARGENTINA. Facultad Ingeniería Sistemas de Información. Apuntes de Clase – Unidad 1 SIMULACIÓN. Metodología para Modelos de Simulación Pág. 11.

## **PÁGINAS WEB**

- ARAGON, J. (s.f.) ¿Cómo gestionar la disponibilidad de autos de forma automática? Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos76/gestionar-disponibilidad-autos-forma-automatica/gestionar-disponibilidad-autos-forma-automatica.shtml#ixzz36i0qCJuz>
- ASSYS LTD (2012). Motorola RFID. Recuperado de <http://assysltd.blogspot.com/2012/05/motorola-rfid.html>
- AUSA. (s.f.) Vista de estaciones de peaje. Recuperado de [https://www.ausa.com.ar/comunicacion\\_prensa/galeria.aspx?id=18](https://www.ausa.com.ar/comunicacion_prensa/galeria.aspx?id=18)
- COLLINS, J. (2004). Automotive RFID Gets Rolling. Recuperado de <http://www.rfidjournal.com/articles/view?866>. Traducción mía.
- CXO Community. Recuperado de <http://cxo-community.com.ar/images/stories/rfid.jpg>
- EPMMOP Archivos. Estación de Peaje Túnel Guayazamin. Recuperado de [http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/img\\_k2/portada\\_tecnologia\\_tele-peaje.png](http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/images/stories/img_k2/portada_tecnologia_tele-peaje.png)
- EPMMOP Portal. (s.f.). *VÍA DE LA INTEGRACIÓN DE LOS VALLES*. Recuperado de HUIDOBRO, J. (s.f.). El tele-peaje o peaje dinámico. Recuperado de <http://www.monografias.com/trabajos29/tele-peaje/tele-peaje.shtml>
- LA HORA. (2011) VALLES Evasión mínima en el tele-peaje de la autopista. Recuperado de <http://www.lahora.com.ec/index.php/noticias/show/1101242086/1/Eva>

si%C3%B3n\_m%C3%ADmina\_\_en\_el\_tele-  
peaje\_\_de\_la\_autopista.html#.U7mVmZR5P-V

- MATTES, G. (s.f.) Conheça a Tecnologia RFID - Gestão de Estoques. Recuperado de <http://brazillogistica.blogspot.com/2011/08/introducao-com-o-advento-da.html>
- Peaje. (2014). Wikipedia. Recuperado de <http://es.wikipedia.org/wiki/Peaje>
- <http://www.epmmop.gob.ec/epmmop/index.php/proyectos/plan-vial/ruta-viva>

## **REVISTA**

- GALARRAGA, X. (1995). “Peajes Urbanos: Una reflexión actual sobre la congestión del tráfico en nuestras ciudades (argumentos sociales, tecnológicos y económicos)”. RIEV. Revista Internacional de los Estudios Vascos Año 43. Tomo XL. N.º 2 (1995), ISSN 0212-7016 p. 313

## **SEMINARIOS**

- INSTITUTO MEXICANO DE TRANSPORTE. (1991). Seminario Internacional de pavimentos “memoria”.

## **SOFTWARE UTILIZADOS:**

- VISSIM - PTV GROUP. Software especializado para el análisis y estudio del transporte de diferentes modalidades.
- Software SKETCHUP, versión 6. Software de modelación Tridimensional para Arquitectura e Ingeniería.
- Software CAMTASIA Estudio 6. Software para edición de video.
- AutoCAD 2012
- Google Earth
- Sistema Office.

## TESIS

- CALDERÓN, C. Ing. (2009). Tesis: “ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TELE-PEAJE EN LA AUTOPISTA GENERAL RUMIÑAHUI”. Instituto de Altos Estudios Nacionales Facultad De Gerencia Empresarial.
- UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA DEL ECUADOR. Repositorio Digital. Tesis: “Uso de agentes inteligentes para la simulación y evaluación microscópico del flujo de tránsito en el redondel comprendido entre las avenidas Fray Vicente Solano y Remigio Crespo, en la ciudad de Cuenca, usando software libre” Autor: Pesántez Caguana Patricio. Capítulo 2. Análisis de Tráfico Urbano. Pág. 1-2-8 <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/148>.