

**PROGRAMACIÓN DE LOS PUNTOS DE ACCESO VEHICULARES DE LA
UNIVERSIDAD ICESI BASADA EN SIMULACIÓN**

**ALAN STANLEY CALERO
CAMILA LENIS ESCOBAR**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
2018**

**PROGRAMACIÓN DE LOS PUNTOS DE ACCESO VEHICULARES DE LA
UNIVERSIDAD ICESI BASADA EN SIMULACIÓN**

**ALAN STANLEY CALERO
CAMILA LENIS ESCOBAR**

Proyecto de Grado para optar el título de Ingeniero Industrial

**Director proyecto
FERNANDO QUINTERO MORENO**

**UNIVERSIDAD ICESI
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL
CALI
2018**

Contenido

	pág.
GLOSARIO	9
RESUMEN	11
1. INTRODUCCIÓN	12
1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema	12
1.1.1 Contexto	12
1.1.2 Problema	16
1.1.3 Justificación	16
2. OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo del Proyecto	17
2.2 Objetivos Específicos	17
2.2.1 Entregables del proyecto	17
3. MARCO DE REFERENCIA	18
3.1 Antecedentes o Estudios Previos	18
3.2 Marco Teórico	21
3.2.1 Modelos de tráfico vehicular	21
3.2.2 Nivel de detalle del modelo	21
3.2.2.1. Modelos Macroscópicos	21
3.2.2.2. Modelos Mesoscópicos	22
3.2.2.3. Modelos Microscópicos	22
3.2.3 Teoría de colas	22
3.2.3.1 Nivel de servicio	22
3.2.4 AIMSUN	23
3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto	23
4. METODOLOGÍA	24
5. RESULTADOS	26
5.1 Objetivo 1: Identificar las funciones actuales de demanda en diferentes marcos de tiempo en cada punto de acceso actual.	26
5.1.1 Ubicación de equipos y obtención de datos	26
5.1.2 Curvas de Entrada	27
5.1.3 Curvas de Salida	29
5.2 Objetivo 2: Recolectar y analizar los datos de los flujos vehiculares de las vías alledañas para las entradas del modelo de simulación	32

5.2.1 Efectos del flujo externo.....	32
5.2.2 Plan para la recolección de datos	32
5.2.3 Recopilación de datos del volumen vehicular externo	36
5.3 Objetivo 3: Diseñar, plantear y simular los escenarios de programación de porterías en diferentes escenarios normativos y extremos	37
5.3.1 Elaboración del modelo para el estado actual	37
5.3.2 Validación del modelo con el estado actual.	39
5.4 Objetivo 4: Formular propuestas de uso de los puntos de acceso con evaluación en la estimación de costos e indicadores de servicio.....	39
5.4.1 Descripción de los escenarios	39
5.4.2 Valoración de escenarios.....	40
5.4.3 Evaluación de costos por escenario	48
6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
6.1 Conclusiones.....	51
6.2 Recomendaciones.....	52
REFERENCIAS	54
ANEXOS	56

Lista de Figuras

Pág.

Figura 1 Mapa de Universidad Icesi señalando los Puntos de Acceso (PA) y las calles aledañas	12
Figura 2: Población estudiantil Universidad Icesi 2006-2011. (Icesi,2011)	13
Figura 3: Población estudiantil Universidad Icesi 2014-2016. (Icesi,2016)	14
Figura 4: Calles aledañas universidad Jiaotong. (Zou et al., 2015)	18
Figura 5: Escenario de calles aledañas universidad Jiaotong. (Zou et al., 2015) ..	18
Figura 6: Mapa Universidad Tongji y escenarios simulados. (Du et al.,2015)	19
Figura 7: Mapa acceso vehicular aeropuerto de Uberlandia. (Ribeiro et al., 2017)	20
Figura 8: Escenario 3 con nueva vía de acceso. (Ribeiro et al., 2017)	20
Figura 9: Modelos de tráfico vehicular según nivel de detalle. (Alcalá Ramos,2016)	21
Figura 10: Imagen satelital de la Universidad Icesi con la ubicación de los equipos. Autores.	26
Figura 11: Entradas generales de lunes a sábado por cada equipo. Autores.....	27
Figura 12: Entradas por hora en el Equipo 3. Autores.	29
Figura 13: Salidas generales de lunes a sábado por cada equipo. Autores.	30
Figura 14: Salidas por hora por cada equipo. Autores.	31
Figura 15: Identificación de flujos vehiculares en Av. Cañasgordas. Autores.	34
Figura 16: Identificación de flujos vehiculares sobre Cra. 125. Autores.....	34
Figura 17: Flujos vehiculares Av. Cañasgordas y Cra. 122. Part. 1. Autores.	34
Figura 18: Flujos vehiculares Av. Cañasgordas y Cra. 122. Part. 2. Autores.	35
Figura 19: Vista aumentada de los flujos vehiculares de la Cra. 122 afectados y generados por las salidas desde el Punto de Acceso (PA) número 3. Autores.	35
Figura 20: Vista aumentada de los flujos vehiculares de la Cra. 122 afectados y generados por las entradas hacia el Punto de Acceso (PA) número 3. Autores. ...	35
Figura 21: Ubicación de los puntos de observación (P1 y P2). Autores.	36
Figura 22: Enfoque de ejecución del modelo en Av. Cañasgordas y Cra. 122. Autores	38
Figura 23: Vista general del modelo. Autores	39
Figura 24: Leyenda para entender la densidad y el tiempo de espera.	41
Figura 25: Tiempo de espera de las entradas sobre Av. Cañasgordas – Equipos 1 y 6. Autores	42
Figura 26: Tiempo de espera de las salidas sobre Av. Cañasgordas – Equipos 1 y 6. Autores	42
Figura 27: Tiempo de espera de las entradas sobre Cra. 122 – Equipos 3 y 4. Autores	43
Figura 28: Tiempo de espera de las salidas sobre Cra. 122 – Equipos 3 y 4. Autores	44
Figura 29: Tiempo de espera de las Entradas sobre Cra. 122 – Equipos 5. Autores	44
Figura 30: Problemática vehicular – Hora: 10:41. Autores.....	45
Figura 31: Tiempo de espera de las salidas sobre Cra. 122 – Equipos 5. Autores	45
Figura 32: Problemática vehicular – Hora: 7:30. Autores.....	46

Figura 33: Tiempo de Espera de las entradas sobre Cra. 125. Autores47
Figura 34: Tiempo de Espera de las salidas sobre Cra. 125. Autores48
Figura 35: Problemática vehicular – Hora: 19:15. Autores.....51

Lista de Tablas

Pág.

Tabla 1: Crecimiento de la universidad desde su reubicación en la comuna 22. (Icesi,2016)	15
Tabla 2: Cantidad de parqueaderos disponibles. Autores	15
Tabla 3: Métodos propios para alcanzar los objetivos específicos del proyecto. Autores	24
Tabla 4: Cronograma para alcanzar los objetivos del proyecto. Autores	25
Tabla 5: Ubicación de equipos en los diferentes puntos de acceso. Autores.	26
Tabla 6: Participación de volumen vehicular por intervalo. Autores.	33
Tabla 7: Agrupación de días. Autores.	33
Tabla 8: Resumen de datos recolectados sobre el volumen vehicular externo. Autores.	37
Tabla 9: Evaluación de costos de estado actual. Autores.....	49
Tabla 10: Evaluación de costos de escenario 2. Autores.	49
Tabla 11: Evaluación de costos de escenario 3. Autores.	50
Tabla 12: Evaluación de costos de escenario 4. Autores.	50

Lista de Anexos	Pág.
Anexo 1. Funciones de demanda para los equipos de entrada	56
Anexo 2. Funciones de demanda para los equipos de salida	59
Anexo 3. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso Base	63
Anexo 4. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de aumento del volumen vehicular en un 20%	67
Anexo 5. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 conservando el Equipo 6	71
Anexo 6. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 eliminando el Equipo 6.....	76
Anexo 7. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 reemplazando el Equipo 6	81
Anexo 8. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para los equipos 1 y 6.....	86
Anexo 9. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para los equipos 3 y 4.....	89
Anexo 10. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para el equipo 5 .	92
Anexo 11. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para nuevo punto de acceso sobre la Carrera 125.....	95

GLOSARIO

EQUIPO: dispositivo que emite y recibe un tiquete para controlar las entradas y salidas respectivamente.

FLUJO EXTERNO: flujo vehicular que transita por las calles aledañas de la institución educativa.

FLUJO INTERNO: hace referencia a la cantidad de vehículos que ingresan y salen de la Universidad.

FRANJA HORARIA: conjunto de horas.

HORA PICO: hora del día con afluencia vehicular.

HORA VALLE: hora del día con poco flujo vehicular.

HORARIO REGULAR: franja horaria donde el flujo vehicular es bajo.

MODELO: versión a escala de la situación a evaluar por medio de la simulación.

MUESTRA REPRESENTATIVA: porción de una población que recopila todas sus cualidades, para hacer inferencia sobre estas.

POBLACIÓN FLOTANTE: grupo de personas que habitan de forma temporal o permanente en una comunidad, pero no están registradas en el censo poblacional de dicho lugar.

PUNTO DE ACCESO: lugar donde se realizan las entradas y salidas vehiculares

SALIDAS MASIVAS: salidas en las cuales el volumen de vehículos es muy elevado.

SIMULACIÓN: técnica que permite evaluar situaciones por medio de software especializados.

TIEMPO DE CICLO: periodo de tiempo que toma realizar una tarea.

TIEMPO DE ESPERA: Tiempo en el que un vehículo se demora para entrar o salida de la Universidad.

VEHÍCULOS: hace referencia a todos los carros, camiones y buses que transitan por el alrededor de la Universidad o entran a esta.

VÍA ALEDAÑA: calles que limitan con la institución.

RESUMEN

Este proyecto se elaboró con el fin de construir un modelo de simulación del estado actual, que ayude a evaluar las políticas impuestas por la oficina de Movilidad y Parqueo en los puntos de acceso de la Universidad Icesi. Con el fin de lograr un beneficio para todas aquellas personas que emplean el parqueadero de la institución educativa. Además, ayudar a contribuir con las aspiraciones de mejorar el servicio prestado a estas mismas. Para ello se usó el software AIMSUN, puesto que es especializado para simular problemáticas relacionadas con el tráfico vehicular.

En este estudio se hace uso de los Estados de Tráfico que ofrece el simulador, donde se le asigna a cada intersección el porcentaje de cruce para cada uno de los vehículos. Con el fin de proveer los mejores resultados, la simulación se realizó de lunes a viernes desde las 6:00 a.m. hasta las 21:00 p.m. y los días sábados desde las 6:00 a.m. hasta las 13:00 p.m. Se proponen escenarios donde se examina el comportamiento del estado actual de los puntos de acceso frente un alza en la demanda el en flujo total, la implementación de un nuevo punto de acceso y la reubicación de uno de ellos.

Finalmente, se concluye que es necesario utilizar en mayor medida algunos puntos de acceso dado que los vehículos optan por usar unos puntos de acceso mas que otros, aumentando así los tiempos de espera. Para mejorar esto, se recomienda la implementación de un dispositivo en uno de los puntos de acceso donde se abre a ciertas horas para que alerte a los conductores que ese punto de acceso está abierto. Por otro lado, frente a la programación de los puntos de acceso vehiculares, se puede decir que está acorde a la prestación de un buen nivel de servicio teniendo en cuenta que infraestructura vial externa imposibilita una mejora operación de los puntos de acceso debido a la gran congestión que tienen las vías a ciertas horas del día.

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Contexto, Justificación y Formulación del Problema

1.1.1 Contexto

A finales del año 2015, la junta directiva de la Universidad Icesi optó por cobrar el servicio de parqueadero para soportar el crecimiento y mantenimiento del campus, los directivos definieron el conjunto de normas, tipos de planes y tabla de tarifas. Este cobro entró en vigencia en el 1er semestre de 2016, y fue necesario rediseñar los dos puntos de acceso vehiculares, con el fin de adecuar la infraestructura e instalar la tecnología de equipos que emiten y validan el pago de tiquetes, y también la lectura de placas y tarjetas de afiliación, al igual que el diseño del acceso de motocicletas, bicicletas y peatones. Por lo tanto, pasar de un sistema manual de entrega y recibo de fichas a un sistema automatizado de lectura, acarreó un tiempo adicional mínimo en el servicio.

Los dos puntos de acceso (PA) se ubican frente a las dos vías aledañas al campus: la avenida Cañasgordas por el costado oeste y la carrera 122 por el costado norte. Durante los dos años que lleva el funcionamiento del sistema de parqueo, se construyeron y acondicionaron dos porterías adicionales con el fin de mitigar el problema de circulación interna por distribución espacial no planeada y también el conflicto que se da en ciertos horarios entre el flujo entrante y saliente respecto al flujo vehicular externo en el diseño geométrico de las vías mencionadas. Adicional a estos cuatro puntos de acceso y siguiendo el proceso de expansión de la universidad, cabe la posibilidad de instalar una nueva portería sobre la carrera 125.



Figura 1 Mapa de Universidad Icesi señalando los Puntos de Acceso (PA) y las calles aledañas

Frente a los horarios de inicio de labores académicas y laborales en la mañana, movimientos de entradas y salidas en horarios del mediodía, y flujos y contraflujos entre poblaciones de colaboradores y estudiantes de pregrado y posgrado alrededor de las 18 h, se han diseñado planes de facilitación para ingresos y salidas vehiculares. Justo en esos momentos, el flujo vial externo está en sus fases pico lo

que conlleva a una relación compleja de relaciones viales, que incluso los días sábado (día sin restricción de movilidad denominada pico y placa) alcanza su mayor criticidad a pesar de involucrar a una pequeña fracción de población estudiantil de pregrado y laboral, y la totalidad de la población de posgrados. Desde lo fáctico, se reconoce una función de demanda no estacionaria, con posibles variaciones entre los diferentes días de la semana. Adicionalmente, es importante advertir la realización de eventos académicos que atraen visitantes e invitados, alterando la función cotidiana de demanda.

La Universidad Icesi presenta una oferta actual de 27 programas de pregrado, 26 maestrías, 15 programas de especialización, 22 especializaciones (provenientes de las ciencias de la salud) y un programa de doctorado. El crecimiento de su oferta, exhibe aperturas constantes de programas y de manera paralela, la universidad también ha incursionado en los diferentes programas de maestría y en especializaciones, particularmente las provenientes de la facultad de las ciencias de la salud. Lo anterior demuestra el factor causal del crecimiento poblacional, y el consecuente crecimiento del flujo vehicular.

Frente a la anterior, y como ejemplo, entre los años 2014 y 2016, la universidad pasó de tener 330 colaboradores administrativos y de apoyo de tiempo completo, a 512, un aumento del 55,2% (Icesi, 2016). Por otro lado, el número de estudiantes de pregrado a principios del año 2006 era de 2454, pero a finales del año 2016 alcanzó un número de 5757, un aumento del 134,6%. En el mismo período, las maestrías registraron un aumento del 2466,7%, al pasar de 54 estudiantes a 1386 (Icesi, 2008 y 2016).

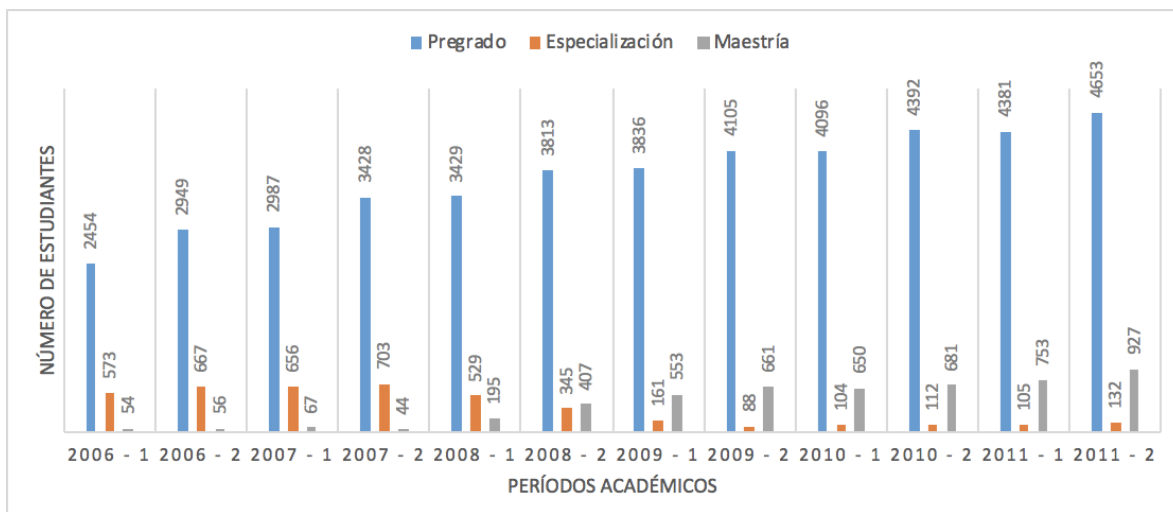


Figura 2: Población estudiantil Universidad Icesi 2006-2011. (Icesi,2011)

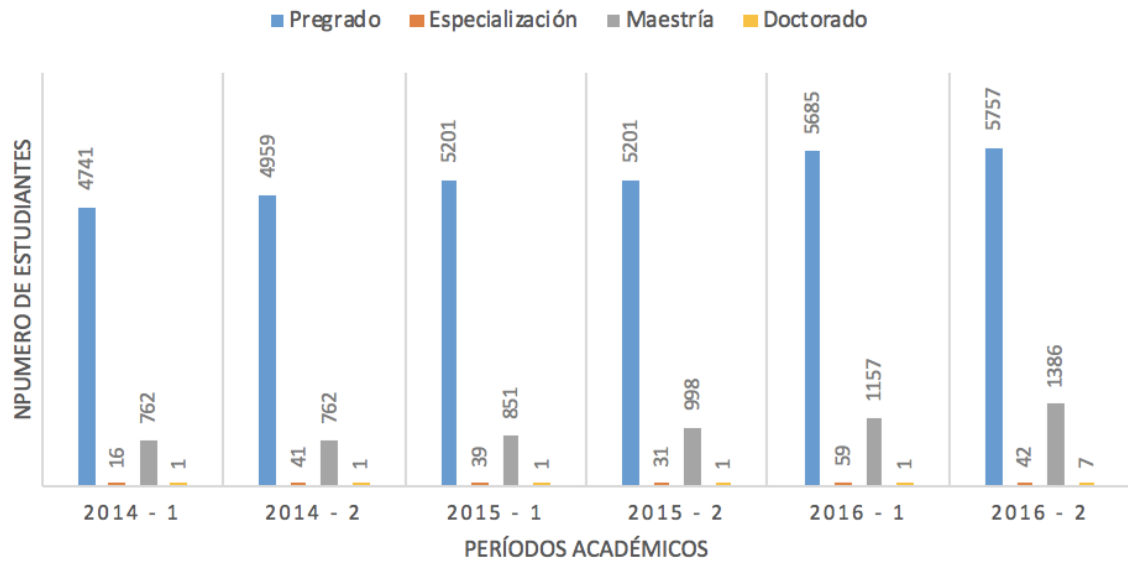


Figura 3: Población estudiantil Universidad Icesi 2014-2016. (Icesi,2016)

En cuanto al crecimiento del campus está constituido por un mayor número de espacios físicos para clases, oficinas y prestación de múltiples servicios a la población universitaria. La sede actual de la universidad Icesi ubicada en Pance, fue adquirida en el año 1984 con un área de 45.853 mt², y actualmente el campus tiene 141.256 mt², un crecimiento del 208,1% (Icesi, 2016).

Las zonas de parqueo vehicular han ido aumentando año tras año con la adquisición de los nuevos terrenos. Actualmente, la capacidad es para 998 carros, cuando a finales del año 2008 era para 747, lo que equivale a una oferta adicional de 251 espacios (Icesi 2008 y 2016).

Año	Lotes	Área (m ²)	M ² Acumulados
1987	Universidad Icesi	45.853	45.853
1988	Vías cedidas al municipio	-3.721	42.132
1990	Lote vendido a Emcali	-395	41.737

1994	Campos deportivos	11.215	52.952
1998	Consultorio Jurídico*	639	53.591
2001	Taller de Diseño	3.754	57.345
2006	Lote expansión costado oriental I	11.799	69.144
	Lote expansión nor-oriental	3.978	73.122
2007	Lote Laboratorios	7.000	80.122
	Lote expansión interna	4.797	84.919
	Lote expansión deportes	1.900	86.819
2008	Lote expansión costado oriental II	11.216	98.035
2010	Lote expansión costado nor-oriental**	26.666	124.701
2014	Edificio K	702	125.403
	Casa San Joaquín***	148	125.551
2016	Lote Alma Diana Gonzáles	1.450	127.001
	Lote de expansión costado sur	14.255	141.256

Tabla 1: Crecimiento de la universidad desde su reubicación en la comuna 22. (Icesi,2016)

	2008	2011	2014	2015	2016
Número de Parquaderos	747	977	940	994	998

Tabla 2: Cantidad de parqueaderos disponibles. Autores

A la par con el desarrollo de la Universidad Icesi, la comuna 22 también ha sufrido grandes cambios en el último lustro por la creciente urbanización y la concentración de entidades educativas y recreativas (Alcaldía de Santiago de Cali, 2010). Esta concentración ha causado problemas de movilidad, al combinarse crecimientos simultáneos entre población flotante y residencial (Alcaldía de Santiago de Cali, 2010).

1.1.2 Problema

Cada punto de acceso representa un costo de inversión y operación, cuyas horas de funcionamiento y decisiones de operación, deben ser acordes a la prestación de un buen nivel de servicio de un sistema de cobro de parqueadero. Las funciones de demanda por identificar, en el día a día y durante la semana, son previsibles a presentar variaciones y ser impactadas por eventos en momentos específicos del semestre académico.

De otro lado, hay externalidades de flujos vehiculares que se interrelacionan con el diseño del sistema, e impactan el nivel de servicio. La expansión del campus y su distribución espacial no planeada en el horizonte requieren puntos cercanos y acceso rápido minimizando el desplazamiento interno. Frente a todas estas variables exógenas y endógenas, se plantea la técnica de simulación para la experimentación y evaluación de escenarios que determinen los niveles de servicio asociados a los costos operativos, variando la programación de horas de operación, los flujos permitidos, la ubicación de los puntos de acceso y su relación con la infraestructura vial externa.

Con la simulación se puede evaluar y comparar la programación actual es decir los horarios y reglas del flujo vehicular, con aquellas posibilidades que plantee la administración de la universidad y otras que se consideren por parte de los autores, y anticipar posibles escenarios futuros con la apertura de un nuevo punto de acceso y posibles cambios a las actuales.

1.1.3 Justificación

El impacto de los resultados de este proyecto se traduce en beneficios tanto para la comunidad universitaria y visitantes que hacen uso del servicio de parqueadero de la institución, y el apoyo a la administración física de la universidad al contribuir a sus metas presupuestales y de servicio.

Para los autores, representa una oportunidad de implementar técnicas cuantitativas con soporte computacional a un sistema de oferta-demanda impactado por causas externas y políticas internas.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo del Proyecto

Construir un modelo de simulación para evaluar el nivel de servicio de los puntos de acceso de la Universidad Icesi en escenarios con decisiones de ubicación y reglas operativas, y patrones no estacionarios de flujos vehiculares internos y externos.

2.2 Objetivos Específicos

1. Identificar las funciones actuales de demanda en diferentes marcos de tiempo en cada punto de acceso actual.
2. Recolectar y analizar los datos de los flujos vehiculares de las vías aledañas para las entradas al modelo de simulación.
3. Diseñar, plantear y simular los escenarios de programación de puntos de acceso en diferentes escenarios normativos y extremos.
4. Formular propuestas de uso de las porterías con evaluación en la estimación de costos e indicadores de servicio.

2.2.1 Entregables del proyecto

- Curvas de las funciones de demanda
- Tablas de datos de entradas al modelo de simulación
- Modelos de simulación con la programación de los puntos de acceso.
- Tablas de resultados en indicadores de servicio y costos de cada sistema simulado.

3. MARCO DE REFERENCIA

3.1 Antecedentes o Estudios Previos

La investigación de publicaciones referentes conduce a identificar dos enfoques mayoritarios, pero no idénticos: el tráfico en intersecciones de grandes ciudades y la optimización de movimientos vehiculares al buscar un parqueadero.

Sin embargo, se resalta el trabajo investigativo de Yanwen Zou, Jun Zhang, Yueyan Zhu, Fan Chen y Weijian Gu en contextos similares. En el año 2015, publicaron un estudio con simulación para analizar las horas pico en las calles aledañas a la Universidad Jiaotong en Beijing, China, y proponen programas para mejorar el flujo vehicular en calles externas, debido que los estudiantes al entrar y salir de la universidad contribuyen al tráfico.

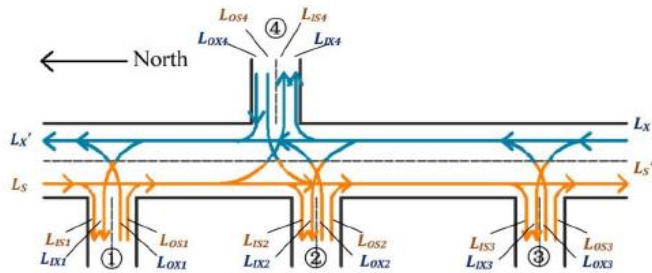


Figura 4: Calles aledañas universidad Jiaotong. (Zou et al., 2015)

Los datos que requería el modelo de simulación fueron tabulados en intervalos de diez minutos, y así, lograr medir con exactitud la fluctuación del tráfico en las calles aledañas a la universidad (Zou et al., 2015). El software que utilizaron los autores fue el simulador de tráfico VISSIM. Evaluaron el tiempo de tránsito de los carros, el tiempo de espera y la longitud de las colas derivadas. Los tres escenarios propuestos por los autores fueron orientados a la adecuación de la infraestructura y regulación de tiempos de semáforos.

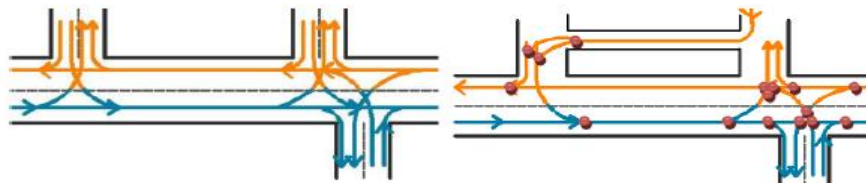


Figura 5: Escenario de calles aledañas universidad Jiaotong. (Zou et al., 2015)

En ese mismo año, Yuchuan Du, Cong Zhao, Xi Zhang y Lijun Sun publicaron un estudio similar en las calles aledañas a la Universidad Tongji, ubicado en Shanghai, China. El objetivo de este estudio era crear un método para evaluar simulaciones microscópicas en las entradas vehiculares y para ello utilizaron la entrada de esta universidad. La simulación en VISSIM se hizo bajo seis diferentes escenarios,

adicionando la reducción de accidentes. Las simulaciones se condujeron entre variaciones de reglas de cruces y posibilidades de infraestructura. Por esto, los primeros dos escenarios, prohíben hacer un cruce a la izquierda, mientras que el tercero si permite girar a la izquierda (Este era el escenario actual). El cuarto escenario permite girar a la izquierda, pero tiene un semáforo que regula esta acción. El quinto tiene un carril auxiliar que evita interferencia de los vehículos que van a cruzar a la derecha y los que van a seguir derecho. El último escenario es similar al quinto, pero con la diferencia de tener un semáforo (Du et al., 2015).

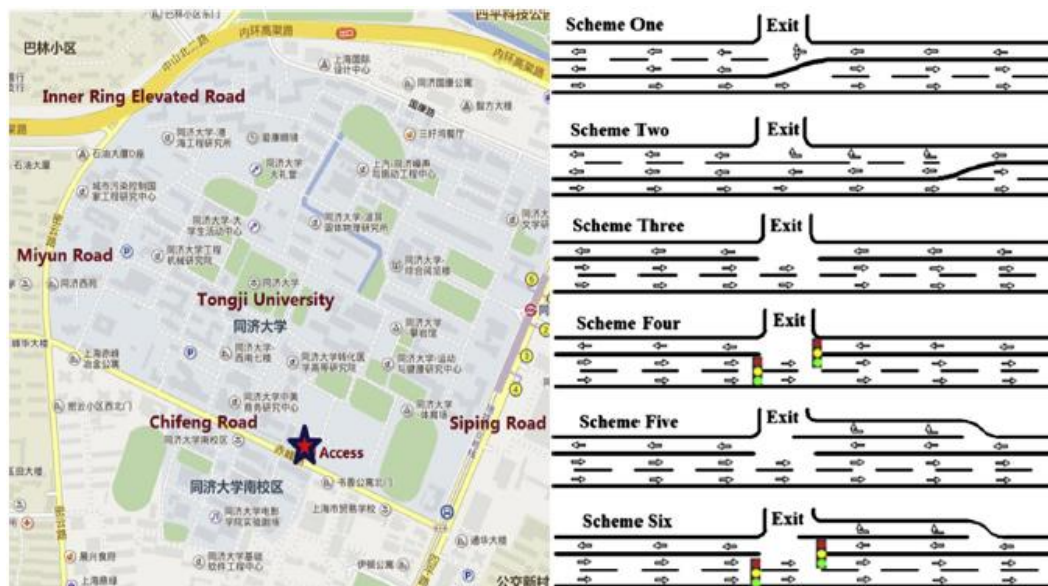


Figura 6: Mapa Universidad Tongji y escenarios simulados. (Du et al., 2015)

La simulación arrojó que los escenarios donde se permitían girar a la izquierda para entrar o salir, minimizan la interacción de las calles, pero restringía la entrada de los vehículos, obligándolos a dar una vuelta más grande para llegar al destino. Por otro lado, la implementación de una calle auxiliar y la colocación de semáforos, mejoran en gran medida la fluidez del tráfico al igual que la seguridad de los conductores.

En el contexto latinoamericano, hay antecedentes de un estudio similar realizado por Hugo Ribeiro, Kleber Pinto y Nathane Peixoto en el año 2017 en el aeropuerto regional de Uberlandia, Brasil. El objetivo de los autores fue mejorar el nivel de servicio de la entrada vehicular al aeropuerto de Uberlandia, aplicando un modelo de simulación discreta (Ribeiro et al., 2017).

El sistema analizado era la entrada y salida vehicular al aeropuerto regional de Uberlandia que tiene una alta demanda de vehículos en ciertos horarios por la llegada y salida de aviones. El sistema se caracteriza por tener dos plataformas por donde pueden ingresar los vehículos, donde la primera tiene mayor utilización porque tiene más puertas de acceso hacia el aeropuerto. Los problemas principales

identificados por los autores eran el elevado tiempo de espera por vehículos (promedio de 6,5 minutos), la concentración de los vehículos en la primera plataforma, la salida de los parqueaderos privados obligaba a los conductores a pasar por cualquiera de las dos plataformas y la circulación de vehículos de servicio del aeropuerto por cualquiera de las dos plataformas (Ribeiro et al., 2017).

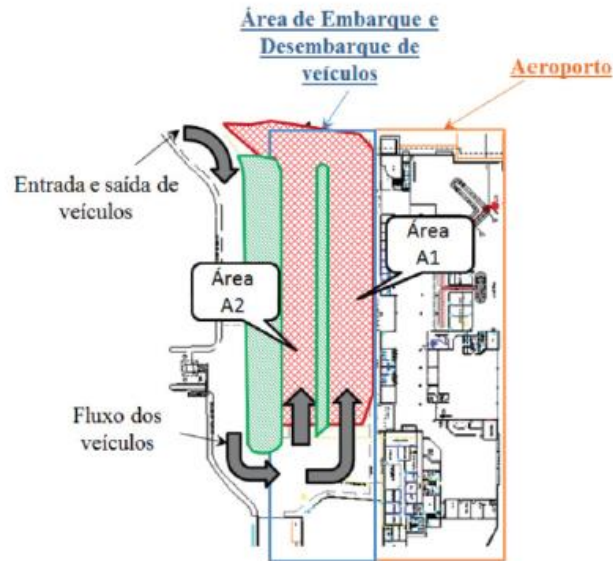


Figura 7: Mapa acceso vehicular aeropuerto de Uberlandia. (Ribeiro et al., 2017)

Para mejorar el nivel de servicio de la entrada y salida vehicular, los autores proponen tres escenarios a ser modelados y corridos, estos son: construir 5 plazas automotrices en la primera plataforma, considerar la presencia de un guarda de tránsito y por último construir la vía de acceso directamente desde una avenida principal (Ribeiro et al., 2017).



Figura 8: Escenario 3 con nueva vía de acceso. (Ribeiro et al., 2017)

La simulación de los escenarios dejó como mejor opción implementar un guarda de tránsito para regular el aparcamiento prolongado, pero también se podría considerar como meta a largo plazo implementar el tercer escenario ya que este también arrojó muy buenos resultados.

3.2 Marco Teórico

Para poder abordar el estudio del flujo vehicular en las entradas y salidas de la Universidad Icesi, se introducen varios conceptos de simulación de tráfico, nivel de servicio en teoría de colas, y el simulador de tráfico AIMSUN.

3.2.1 Modelos de tráfico vehicular

Un modelo se define como una abstracción simplificada de la realidad con el nivel de detalle necesario para ser analizado. El comportamiento de un modelo imita un aspecto importante del sistema bajo estudio (White & Ingalls, 2016); teniendo en cuenta que un sistema es un conjunto de elementos interrelacionados que interactúan entre sí para lograr un objetivo. En este caso, el sistema consiste en las cuatro porterías vehiculares, al igual que las calles aledañas a la Universidad Icesi que son la avenida Cañasgordas, la carrera 122 y la carrera 125. Los diferentes modelos de simulación del tráfico vehicular están basados en el nivel de detalle que estos puedan tener.

3.2.2 Nivel de detalle del modelo

Los modelos de tráfico vehicular se pueden clasificar según el nivel de detalle que se le quiera dar a la simulación. Existen tres tipos de modelos de tráfico vehicular que son los modelos macroscópicos, mesoscópicos y los microscópicos (Avilés, 2017). En el caso de la simulación a realizar, se tratará de un modelo microscópico, pero es necesario explicar los demás modelos para comparar y entender la pertinencia de un modelo microscópico en la simulación.

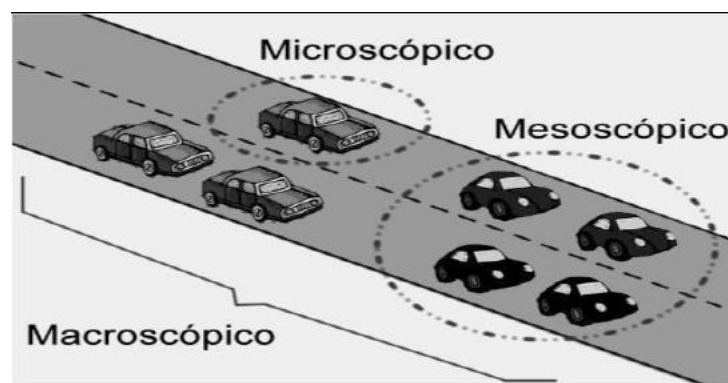


Figura 9: Modelos de tráfico vehicular según nivel de detalle. (Alcalá Ramos, 2016)

3.2.2.1. Modelos Macroscópicos

Los modelos macroscópicos se encargan de estudiar el flujo vehicular de forma general, es decir, que representan las características principales del tráfico tales

como la velocidad, media de los vehículos y la densidad del tráfico. Estos modelos son usados para estudiar autopistas y calles donde hay un tránsito vehicular fluido, por lo tanto, no pueden ser usados para estudiar calles y avenidas con alta congestión vehicular (Avilés, 2017).

3.2.2.2. Modelos Mesoscópicos

Este modelo contiene elementos tanto de los modelos macroscópicos como de los modelos microscópicos. En estos se simulan pelotones de vehículos como si fueran uno solo vehículo, donde se pueden determinar los movimientos de giro y los tiempos de entrada y salida del pelotón (Arrieta, 2013).

3.2.2.3. Modelos Microscópicos

Los modelos microscópicos tienen la capacidad de estudiar las características individuales de los vehículos y su interacción con los demás vehículos (Arrieta, 2013). Debido a que se trata de un modelo de gran detalle, es necesario caracterizar el entorno de la simulación y los diferentes comportamientos individuales que puedan tener los vehículos en diferentes escenarios (Arrieta,2013).

3.2.3 Teoría de colas

Las colas están presentes en las situaciones de espera, es decir que están en el diario vivir. El objetivo en el diseño de líneas de espera es equilibrar el costo de ofrecer un servicio y el tiempo de espera, puesto que eliminar demoras es demasiado costoso (Taha, 2012). Para ello se deben relacionar los siguientes elementos de la teoría de colas:

- Clientes: Vehículos de la comunidad que ingresa a la Universidad Icesi.
- Instalación de Servicio: Porterías de la Universidad
- Fuente: capacidad infinita, pues no se tiene un control de la cantidad de carros que ingresen al sistema.
- Colas: las filas de carros sobre la carrera 122 y la Av. Cañasgordas, e internamente.
- Tiempo entre llegadas: patrón de arribos de carros en dos sentidos a cada portería.
- Tiempo de servicio: la demora probabilística de ocupación de espacio, validación de placa o recibo o lectura de tarjeta.
- Disciplina de la cola: la selección de los clientes será de forma PEPS (Primeras Entradas, Primeras en Salir)

3.2.3.1 Nivel de servicio

El tiempo de espera en cola, e incluso la proporción del tiempo de espera respecto al sistema, y la acumulación de entidades en cola son los indicadores que mejor representan el nivel de servicio desde la eficiencia del sistema. En contraprestación, determinar el nivel de utilización del servidor, que en este caso puede ser el personal acompañante al sistema automatizado o semi-automatizado de los puntos de acceso.

3.2.4 AIMSUN

Modela el tráfico vehicular para evaluar diferentes operaciones de tráfico a cualquier escala y a cualquier complejidad. Los principales resultados son análisis de impacto de diseño de infraestructura, impacto ambiental, estrategias de evaluación de demanda, evaluación de políticas de velocidad, entre otros. La evolución de este simulador ha sido tal que ha pasado de solo modelar micro simulaciones, a tener la capacidad de tener funcionalidad de modelos macroscópicos y mesoscópicos (AIMSUN, 2018), y sus versiones corresponden al nivel de modelamiento.

3.3 Contribución Intelectual o Impacto del Proyecto

El impacto del proyecto es proveer un insumo para la planeación del campus de la Universidad Icesi en su servicio de puntos de acceso vehiculares, con el fin de asegurar un buen nivel de servicio. Por esta razón, se propondrán diferentes escenarios tanto de ubicación como de reglas operativas en la funcionalidad de los puntos de acceso, mediando los presupuestos de operación, en relación con los horarios de funcionamiento sugeridos, dado que a cada portería se le asigna un recurso humano.

La contribución intelectual se centra en la implementación de técnicas de modelado computacional como es la simulación y sus análisis estadísticos asociados con datos de entrada y salida, validando su uso y poder inferir sugerencias que soporten las decisiones administrativas en términos de asegurar una buena prestación del servicio. El modelo a elaborar en AIMSUN podrá servir de referencia para futuras decisiones.

Frente a la revisión de la bibliografía, en este proyecto se produce una diferenciación por la consideración de puntos de servicio en las estaciones de validación y no solamente intersecciones viales de campus abiertos con la infraestructura vial.

4. METODOLOGÍA

Para el cumplimiento de los objetivos específicos se llevó a cabo la siguiente metodología:

Objetivos Específicos	Metodología de Recolección de Información	Metodología de Análisis	Entregable
Identificar las funciones actuales de la demanda en diferentes marcos de tiempo en cada portería actual	Solicitar datos históricos al Supervisor de Estacionalidad y Movilidad de la Universidad Icesi.	Seleccionar los datos de los horarios relevantes, para graficarlos y ver el comportamiento de la demanda.	Tabla de datos con interpretación de las curvas de función de demanda.
Recolectar y analizar los datos de los flujos vehiculares de las vías aledañas para las entradas al modelo de simulación.	Conteo manual de vehículos en calles aledañas.	Calcular el volumen de flujo vehicular en las vías aledañas para así encontrar las proporciones de las diferentes intensiones de giro.	+ Tablas de datos de entradas al modelo de simulación. + Interpretación del flujo vehicular en las calles aledañas.
Diseñar, plantear y simular los escenarios de programación de porterías en diferentes escenarios normativos y extremos.	+ Cálculo teórico del modelo. + Plasmar el modelo en el simulador (AIMSUN)	Validar el modelo base (estado actual).	Modelos de simulación con la programación de las porterías.
Formular propuestas de uso de las porterías con evaluación en la estimación de costos e indicadores de servicio.	Recolectar los datos arrojados por el simulador al evaluar los diferentes escenarios.	Comparar los diferentes escenarios al estimar los costos e indicadores de servicio.	Tablas de resultados: indicadores de servicio y costos de cada escenario simulado con interpretación y análisis.

Tabla 3: Métodos propios para alcanzar los objetivos específicos del proyecto. Autores

Por otro lado, el cronograma empleado fue el siguiente:

	Actividad	Inicio	Fin
1	Solicitar datos históricos al Supervisor de Estacionalidad y Movilidad de la Universidad Icesi.	7/5/18	11/5/18
2	Recolectar los datos de los flujos vehiculares de las vías aledañas.	9/8/18	17/5/18
3	Graficar y analizar los datos de entrada en los horarios relevantes.	13/8/18	15/8/18
4	Graficar y analizar los datos de salida en los horarios relevantes.	20/8/18	24/8/18
5	Cálculo teórico del modelo.	27/8/18	29/8/18
6	Plasmar el modelo en el simulador (AIMSUN)	3/9/18	21/9/18
7	Validar el modelo base (estado actual).	24/9/18	28/9/18
8	Recolectar los datos arrojados por el simulador al evaluar los diferentes escenarios.	1/10/18	5/10/18
9	Tablas de resultados: Indicadores de servicio y costos de cada escenario simulado con interpretación y análisis.	8/10/18	21/10/18

Tabla 4: Cronograma para alcanzar los objetivos del proyecto. Autores

5. RESULTADOS

5.1 Objetivo 1: Identificar las funciones actuales de demanda en diferentes marcos de tiempo en cada punto de acceso actual.

5.1.1 Ubicación de equipos y obtención de datos

Como se mencionó en la sección 1.1.1 (Contexto), la Universidad Icesi posee cuatro puntos de acceso vehicular (Ver figura 1.) dotados con equipos que permiten el control de entrada y salida de manera automática. Cada uno de estos equipos, identificados con números del 1 al 7, lleva un registro por hora del número de vehículos que hacen uso de los diferentes puntos de acceso. Dichos datos son almacenados en la base de datos de la oficina de Estacionamiento y Movilidad de la universidad.

Punto de Acceso (PA)	Número de equipo
1	1 y 2
2	3, 4 y 7(Motos)
3	5
4	6

Tabla 5: Ubicación de equipos en los diferentes puntos de acceso. Autores.



Figura 10: Imagen satelital de la Universidad Icesi con la ubicación de los equipos. Autores.

El equipo 1 es utilizado solamente como entrada, los equipos 2 y 6 solamente como salida, y los equipos 3, 4 y 5 son utilizados como entrada o salida dependiendo de la hora. En el caso de las motos o el equipo 7, este tiene dos carriles, uno de entrada y uno salida con sentidos invariables a lo largo del día.

Para identificar las funciones actuales de la demanda en diferentes marcos de tiempo en cada uno de los puntos de acceso, se solicitaron a la oficina de Estacionamiento y Movilidad los datos registrados desde el día 22 de enero del 2018 hasta el 9 de abril del mismo año, lo que representa las primeras 12 semanas de clase (de lunes a sábado) del semestre 18-1. Los datos recuperados para 12 semanas se consideran datos representativos para un semestre académico de 16 semanas.

5.1.2 Curvas de Entrada

Para obtener las funciones de demanda, se clasificaron los datos por días de la semana en cada uno de los equipos, y así descartar los días domingos y festivos que representan flujos mínimos o inexistentes. Con esta clasificación, se procedió a calcular el promedio del total de carros que entran desde el día lunes hasta el sábado en los mismos horarios de operación durante las 12 semanas. Esto se realizó con el fin de identificar en primera instancia el comportamiento de las entradas teniendo en cuenta el día de la semana.

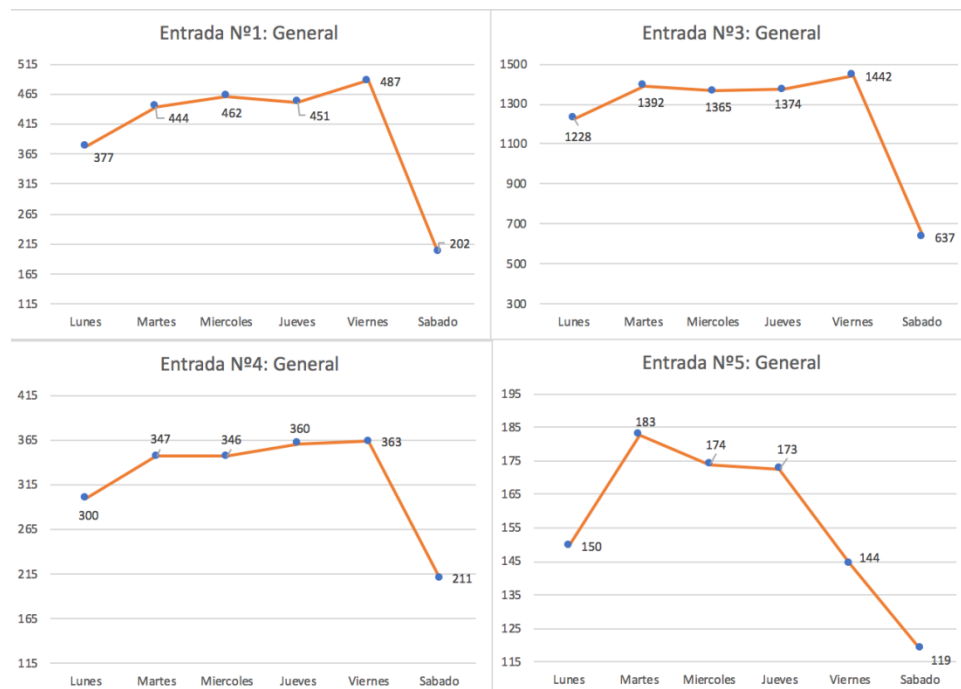


Figura 11: Entradas generales de lunes a sábado por cada equipo. Autores.

El punto de acceso donde está ubicado el equipo número 3 se identifica como el de más entradas, seguido por el punto 1, 4 y por último el 5. El equipo 3 es el punto de acceso vehicular de mayor utilización a pesar de no estar disponible todo el día (después de las 20 h se utiliza solo de salida) debido a que la mayoría de la población estudiantil utiliza la avenida Cañasgordas para llegar a la universidad y al cruzar por la carrera 122, este sería el primer punto de acceso al alcance de los conductores. Por otro lado, algunos conductores optan por seguir hasta la carrera 125 y devolverse para entrar por el punto de acceso donde está ubicado el equipo 1; este equipo se utiliza solamente de entrada durante todo el día, lo que explica su gran utilización. El equipo 4 se utiliza como entrada por las mañanas, al medio día y en algunas ocasiones por las noches (durante las demás horas se utiliza como salida) y el equipo 5 sirve como entrada por la mañana únicamente, lo que explica su baja utilización como punto de acceso.

Cada equipo presenta un comportamiento estable entre los días martes, miércoles y jueves, de lo que se infiere un patrón común de arribos en la selección de punto de acceso por parte de los conductores residentes. El día viernes se caracteriza por tener la mayor entrada en los equipos 1, 3 y 4, debido a las clases de postgrados y educación continua. El equipo 5 no se ve influenciado por este factor ya que solamente sirve de entrada durante la mañana, lo que da a entender que los días lunes y viernes se comportan de la misma manera si solamente tomamos en cuenta las clases de pregrado. El día sábado es el de menor entrada por la no programación sustancial de actividades de pregrado y todo se concentra en la mañana.

Luego de analizar las entradas de forma general, se procedió a calcular el promedio por hora de cada uno de los días de la semana por equipo desde las 5 h hasta las 21 h, dado que, suponen las horas de mayor tránsito de entrada. En primer lugar, se analizará el movimiento por hora de los carros que entran por el equipo 3, punto de acceso de mayor flujo.

Se puede apreciar que los vehículos comienzan a entrar desde muy temprano a las 5 h, pero que tienen una tendencia ascendente pronunciado entre las 6 h y las 7 h, es decir antes de comenzar las clases de 7 h. Ya después tienen un pico bastante alto entre las 9 h y las 10 h teniendo en cuenta que este es el horario donde más clases se dictan durante el día; al medio día entre las 13 h y 14 h se establece un nuevo pico (regreso de almuerzo). En el caso de los viernes, se puede ver que se tiene un pico nuevamente entre las 16 h y 18 h por la población posgrado. Los sábados presenta un pico entre las 7 h y las 8 h que coincide con el comienzo de las clases durante este día que normalmente se extienden hasta el final del mediodía.



Figura 12: Entradas por hora en el Equipo 3. Autores.

En cuanto a las tendencias, se puede ver que el patrón de entrada por el equipo 3 es prácticamente el mismo para los días martes, miércoles y jueves. La tendencia del viernes es muy parecida al de los lunes hasta la llegada de los estudiantes de las clases de posgrado. Por último, el día sábado presenta un pico muy alto por la mañana, pero al pasar el día este tiende a disminuir gradualmente.

A cada uno de los equipos se le graficaron sus funciones de demanda, pero debido a la gran cantidad de gráficas se pueden hallar en el anexo 1, dividido entre los equipos 1, 4 y 5.

5.1.3 Curvas de Salida

Para los datos de salida se manejó el mismo procedimiento que a los datos de entrada, es decir, se calculó el promedio de salidas de cada uno de los equipos de acceso vehicular desde el día lunes hasta el sábado.



Figura 13: Salidas generales de lunes a sábado por cada equipo. Autores.

Al graficar las funciones de demanda para la salida de vehículos por los diferentes equipos, se puede ver que el equipo que más se utiliza para la salida es el equipo 4, seguido por el equipo 2, 6, 5 y 3. Al estar situado al lado del equipo 3 (equipo de más entradas), este equipo es utilizado principalmente para la salida de vehículos, aunque también es utilizado como punto de entrada. También cabe resaltar que la portería 4 es de fácil acceso a la mayor zona de parqueo de la universidad, y además tiene un ángulo de salida más cómodo que el equipo 2 y tiene la posibilidad de tomar vías en diferentes direcciones. El punto de acceso donde está ubicado el equipo 2 es el siguiente con más salida de vehículos, esto se puede explicar ya que es el único punto de salida por el costado oeste y solamente funciona como equipo de salida durante toda la jornada de operación. Entretanto, el equipo 6 es utilizado como punto de salida únicamente durante ciertos horarios picos de salida (mediodía y después de las 17 h). Por otro lado, el equipo 5 es utilizado de salida únicamente en los horarios desde las 17h hasta las 19 h aproximadamente. Como se mencionó en la sección 5.1.2 (Curvas de Entrada), el punto de acceso donde está ubicado el equipo 3, se utiliza solamente de salida después de las 20 h, y en algunos casos

especiales de alta congestión; esto explica el bajo número de vehículos que salen por este punto.

Se puede observar en términos generales que las salidas tienen patrones muy similares de martes a jueves. Debido a que el lunes es el día de menos entradas a la universidad, se puede ver como esto es el causal de que sea el día de menos salidas. Igualmente, el viernes es el día de mayores salidas debido a la presencia de todas las clases de posgrado. Cabe resaltar también que los sábados el equipo 5 no es utilizado como punto de salida en ningún momento y solamente se usa en casos de mucho tráfico dentro de la universidad.

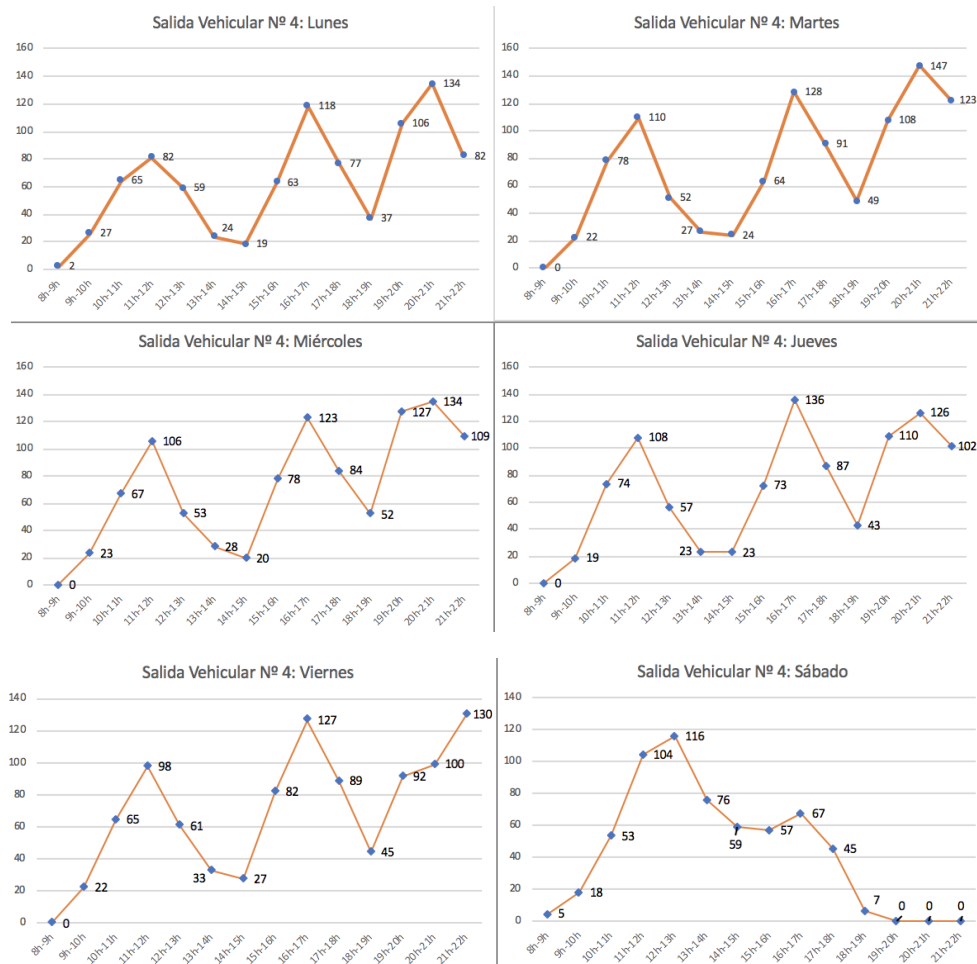


Figura 14: Salidas por hora por cada equipo. Autores.

Luego de analizar los patrones de salida de forma general, se procedió a calcular el promedio por hora de cada uno de los días por equipo desde las 8h hasta las 21h los cuales se identificaron como las horas de mayor tránsito a la hora de salir de la universidad. Se decidió analizar las funciones de demanda del punto de acceso donde está ubicado el equipo 4 por ser el punto de mayor demanda a la hora de salir de la universidad. Debido a la gran cantidad de gráficas que resultan de cada

equipo de salida, las demás funciones de demanda se pueden encontrar en el **anexo 2**, es decir las funciones de los equipos 2, 3, 5, y 6 respectivamente.

Las funciones de demanda de salida para el equipo 4 muestran que las tendencias ascendentes se presentan desde las 10h hasta las 12 h debido a la salida de gran parte de la comunidad que termina labores en ese lapso, adicional a la salida a almorzar. Luego, desde las 15h hasta las 18 h se da otro incremento debido al cierre gradual de clases de pregrado y por último desde las 19 h hasta las 21 h por fin de jornada para estudiantes, profesores y colaboradores. Estas tendencias se asemejan mucho entre sí de lunes a viernes; a pesar que el lunes tiene una tendencia igual tiene un menor número de salidas que se da por la menor asistencia. El viernes se puede apreciar un incremento notable en la salida a partir de las 19 h, producto de la salida tanto de estudiantes de pregrado, como de estudiantes de posgrado y demás colaboradores de la universidad. El día sábado tiene un pico muy marcado entre las 11 h y las 12 h. que coincide con la finalización de clases que dictan ese día por la mañana; nuevamente a las 16h hay un pico, pero no es tan alto como el de la mañana.

5.2 Objetivo 2: Recolectar y analizar los datos de los flujos vehiculares de las vías aledañas para las entradas del modelo de simulación

5.2.1 Efectos del flujo externo

La importancia de los flujos vehiculares en las vías aledañas se debe a la congestión que se logra producir en estas, lo que afecta el ingreso y salida de la universidad, pues genera cuellos de botellas en las mismas. Generalmente, los intervalos que más impactan esta situación son aquellos donde hay entradas y/o salidas masivas y el tráfico exterior se intensifica por los ingresos y/o salidas hacia/a otras instituciones educativas o empresas del sector. Este comportamiento es vital para el desarrollo de este proyecto, puesto que los cuellos de botella generados en las vías externas, producen largas filas para los vehículos que quieren hacer uso de los puntos de acceso de la universidad. Además, todos estos vehículos son o serán parte del flujo externo ya sea antes o después de pasar los puntos de acceso respectivamente. Adicionalmente, la congestión se propaga al interior de la institución educativa e impide el paso de los vehículos por las calles del parqueadero.

Al dejar en evidencia la importancia el flujo externo, se optó por realizar un plan para la toma de datos y así obtener una frecuencia del volumen vehicular que normalmente interactúa con la av. Cañasgordas, carreras 122 y 125.

5.2.2 Plan para la recolección de datos

La toma de datos se llevó a cabo en 36 horas durante dos semanas, seleccionando franjas horarias claves del día. Es importante aclarar que, para el desarrollo de este objetivo no se calculó una muestra estadística, dado que implicaba la participación

de recurso humano y tecnológico con el que no se contaba, ni se discriminó el tipo de vehículo, el propósito fue tener un volumen de carros de referencia. Para ello, lo primero que se hizo fue reconocer los intervalos de tiempo, donde el flujo vehicular externo tenía un alto nivel de participación en las vías aledañas y había entradas y/o salidas significativas de la universidad, y también se escogió momentos de baja participación. En segundo lugar, se identificaron las intenciones de giro que afectan de forma directa los puntos de acceso (PA). Finalmente, al ya contar con los dos parámetros anteriores se eligieron dos puntos de observación (P.1 y P.2) en donde se podían visualizar con facilidad todas las intenciones de giro seleccionadas.

Se realizó un conteo manual de los vehículos en franjas de 15 minutos durante los intervalos de tiempo escogidos, expuestos en la tabla 6. Sabiendo de los patrones comunes entre los días de la semana, la toma de datos externos se dividió en tres grupos de días (ver tabla 7), es decir, se agrupan los días lunes y viernes, luego los martes, miércoles y jueves, y el día sábado es el único en su grupo.

Intervalo de tiempo	Nombre Intervalo	Participación
6:00 – 8:00	Mañana	Alta
11:00 – 14:00	Mediodía	Alta
17:00 – 19:00	Noche	Alta
8:00 – 11:00 y 14:00 – 17:00	Horario regular	Bajo

Tabla 6: Participación de volumen vehicular por intervalo. Autores.

Grupo	Nombre de días
1	lunes y viernes
2	martes, miércoles y jueves
3	Sábado

Tabla 7: Agrupación de días. Autores.

En el caso del paso dos, se lograron identificar 8 intenciones de giro en la intersección de la Cra. 125 y av. Cañasgordas (Ver figuras 16 y 17), donde los giros del 5 al 9 entran a tomar relevancia en el caso de que la universidad Icesi tome la decisión de abrir un nuevo punto de acceso sobre la Cra. 125, lo cual es un escenario que se entrará a evaluar en detalle en el cuarto objetivo. Sin embargo, todos los datos registrados se ingresarán al simulador.

Por otro lado, en la intersección de la Cra. 122 con av. Cañasgordas se registraron 15 posibles opciones que pueden hacer los conductores (Ver figuras 18 -21), lo que hizo el proceso de recolección más dispendioso. Sumado a esto, la Cra. 122 es una vía con alto flujo vehicular debido a los dos puntos de acceso que tiene la universidad sobre la misma y es una importante conexión entre la calle 25 (Autopista Cali - Jamundí) y la comuna 22.

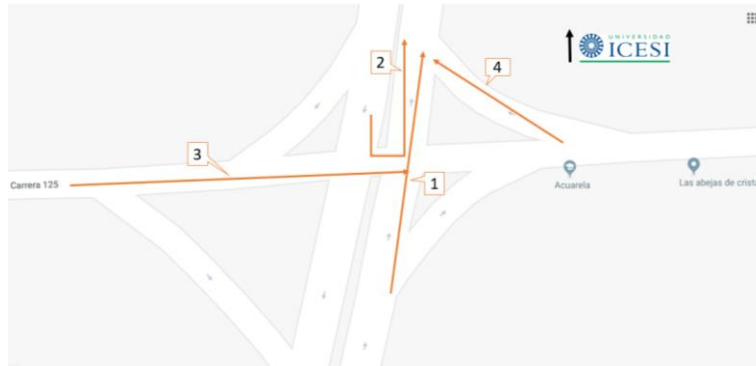


Figura 15: Identificación de flujos vehiculares en Av. Cañasgordas. Autores.

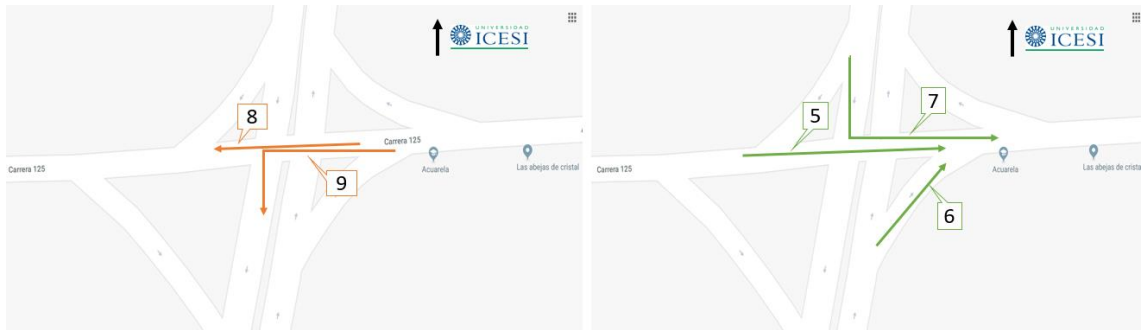


Figura 16: Identificación de flujos vehiculares sobre Cra. 125. Autores



Figura 17: Flujos vehiculares Av. Cañasgordas y Cra. 122. Part. 1. Autores.



Figura 18: Flujos vehiculares Av. Cañasgordas y Cra. 122. Part. 2. Autores.

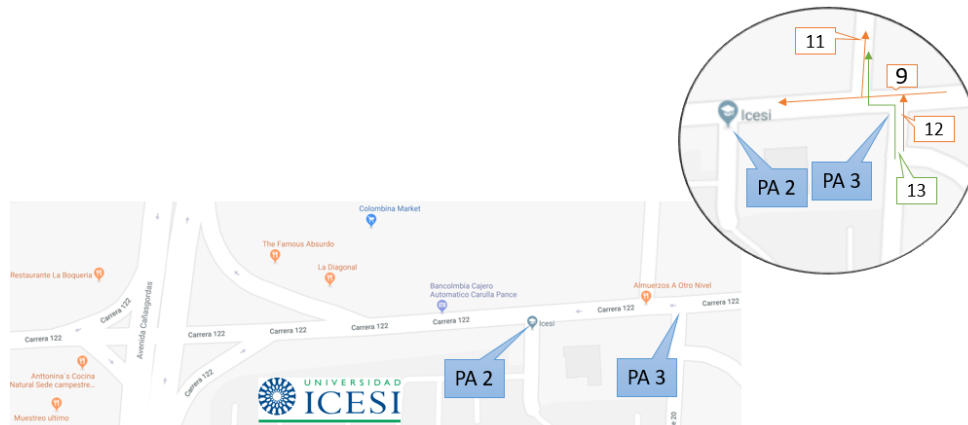


Figura 19: Vista aumentada de los flujos vehiculares de la Cra. 122 afectados y generados por las salidas desde el Punto de Acceso (PA) número 3. Autores.



Figura 20: Vista aumentada de los flujos vehiculares de la Cra. 122 afectados y generados por las entradas hacia el Punto de Acceso (PA) número 3. Autores.

Cabe anotar que, los flujos relacionados con las entradas y salidas de los puntos de acceso 2 y 3 no se registraron en el total de las franjas correspondientes, pues los datos ya estaban registrados en las funciones de demanda expuestas en el objetivo 1. Además, otro flujo que no se tuvo en cuenta en el total de las franjas es el flujo número 5 (salida de Carulla), debido que esta intención no perjudicaba de manera directa a los PA de la universidad Icesi, pero sí al flujo externo.

Por último, se tuvo que contar con el trabajo de dos personas en cada uno de los puntos los dos puntos de observación (P1 y P2). Estos puntos fueron elegidos gracias a que lograban abarcar todas las intenciones de giro que podían realizar los conductores.



Figura 21: Ubicación de los puntos de observación (P1 y P2). Autores.

Como el registro de datos fue manual, se realizaron formatos para registrar cada intención de giro y flujos de las diferentes vías. Luego, al final se totalizó el número de carros que interactuaron en cada una de las vías.

5.2.3 Recopilación de datos del volumen vehicular externo

Al terminar la recolección de datos en las 36 horas planeadas, se logró referenciar la frecuencia de volumen vehicular en las vías aledañas de la universidad. En la tabla 8 se exponen a groso modo los datos recolectados, clasificados por: grupo de días, intervalo del día, punto de observación y franja. Así mismo en la última columna de la tabla se presentan los valores totales de cada una de las franjas de 15 minutos empleadas para la toma de datos. Al tener esta información, se puede relacionar con los arribos y salidas de la universidad Icesi y así lograr estimar el porcentaje de vehículos que transitan estas calles con el fin de llegar a la institución.

Grupo	Nombre Intervalo	Horario de Registro	Punto de Observación	Vol. de Carros (Franja 1)	Vol. de Carros (Franja 2)	Vol. de Carros Total
1	Mañana	6:30 – 7:00	1	339	325	664
	Mañana	6:30 – 7:00	2	465	502	967
	Mediodía	12:45 - 13:15	1	222	235	457
	Mediodía	12:00 – 13:00	2	330	316	646
	Noche	18:15 – 18:45	1	251	221	472
	Noche	17:45 – 18:15	2	247	288	535
	Horario Regular	16:30 – 17:00	1	131	145	276
	Horario Regular	16:00 – 16:30	2	297	301	598
2	Mañana	7:05 -7:35	1	271	259	530
	Mañana	6:25 – 6:55	2	415	480	895
	Mediodía	12:55 – 13:25	1	224	204	428
	Mediodía	12:00 – 12:30	2	293	236	529
	Noche	17:50 – 18:20	1	275	288	563
	Noche	17:55 – 18:25	2	402	354	756
	Horario Regular	10:30 – 11:00	1	145	151	296
	Horario Regular	10:15 – 10:45	2	335	288	623
3	Mañana	7:50 – 8:20	1	337	266	603
	Mañana	7:10 – 7:40	2	248	328	576
	Mediodía	12:50 – 13:20	1	157	130	287
	Mediodía	12:00 – 12:30	2	410	288	798
	Horario Regular	9:00 – 9:30	1	218	217	435
	Horario Regular	9:40 – 10:10	2	371	418	789

Tabla 8: Resumen de datos recolectados sobre el volumen vehicular externo. Autores.

5.3 Objetivo 3: Diseñar, plantear y simular los escenarios de programación de porterías en diferentes escenarios normativos y extremos

En primer lugar es necesario resaltar que el simulador que se utilizó fue Aimsun en su versión 8.2. Este simulador ofrece la posibilidad de utilizar matrices de Origen – Destino o Estados de Trafico, en el primero se programan previamente unos centroides desde donde salen y llegan los vehiculos, es decir que estos ya tienen un origen y un destino definido, mientras que en el segundo se programa la cantidad de vehiculos que salen de cada calle y se define la proporción de vehículos que giran en cada intersección.

En este caso, se utilizaron los Estados de Trafico con los datos del volumen vehicular externo y definiendo la proporción de giro en cada intersección de acuerdo al comportamiento vehicular recopilado. En la definición de la proporción de giro, se tomaron en cuenta la cantidad de vehículos que entran a la Universidad durante cada hora de acuerdo a los datos de la oficina de Estacionamiento y Movilidad de la universidad para así cumplir con la cantidad de vehículos que entran a los diferentes puntos de acceso a lo largo del día.

5.3.1 Elaboración del modelo para el estado actual

Después de obtener los datos tanto de la demanda interna como el volumen vehicular externo, se procedió a construir el respectivo modelo para validar el estado actual del sistema en cuestión.

En primer lugar, se debe construir la infraestructura vial a tratar, para ello se utilizó como base una captura de imagen de Google Maps donde se muestra la ubicación de la Universidad Icesi y las vías circundantes. Lo que se hizo fue imitar cada una de las calles con sus respectivos cruces, es decir, todas aquellas intenciones legales de giro que un conductor puede hacer.

Después, se ubicaron los semáforos existentes en las intersecciones, cada uno de ellos se programó con los mismos tiempos de ciclo que manejan en la actualidad. Luego se procedió a ubicar los 6 equipos de control de acceso vehicular de la universidad; estos a diferencias de los semáforos se programaron con un tiempo de servicio promedio de 10 segundos, aunque no todos los usuarios se demoran el mismo tiempo.



Figura 22: Enfoque de ejecución del modelo en Av. Cañasgordas y Cra. 122. Autores

Al ya tener el esquema del modelo, se llevó a cabo el cálculo de cada uno de los cruces previamente asignados, puesto que AIMSUN necesita la cantidad total de vehículos que van a ingresar por cada calle y, del mismo modo, el porcentaje de participación en cada uno de los giros que un conductor al transitar por las vías pueda realizar. Para definir la cantidad de vehículos que salen de cada vía, se tomaron los datos del volumen vehicular en cada vía y se multiplicó por 4 debido a que fueron muestras de 15 minutos; con esta multiplicación se calculó la cantidad de vehículos durante cada hora del día para cada momento del día, es decir, mañana, medio día, tarde y las horas regulares.

Es importante anotar que, al modelo base se dividió en los tres grupos de días identificados en la tabla 7, es decir lunes y viernes, martes a jueves y sábado, cada uno de ellos concatenado con el porcentaje de intención de giro equivalente. Esto

se realizó con la intención de evaluar el comportamiento de cada uno de estos grupos de días, ya que como se explicó antes, la agrupación de estos días se comporta de manera semejante.



Figura 23: Vista general del modelo. Autores

5.3.2 Validación del modelo con el estado actual.

Todos los datos recolectados para la elaboración de este proyecto fueron cargados de manera directa al simulador, sin necesidad de hacer uso de distribuciones de probabilidad; en otras palabras, se hacen uso de distribuciones empíricas. Como los datos son muestras promedios en el caso del flujo interno y de referencia para el flujo externo, la validación del modelo se centró en los grados de concentración vehicular que se registran en diferentes horarios en diversos sectores del sistema.

5.4 Objetivo 4: Formular propuestas de uso de los puntos de acceso con evaluación en la estimación de costos e indicadores de servicio.

Con el fin de formular propuestas del uso de los puntos de acceso de la Universidad Icesi, se planteó un escenario en el cual se eleva el flujo vehicular total en pro de verificar si las políticas actuales de la universidad son adecuadas. Por otro lado, se crearon escenarios donde se incluye un nuevo punto de acceso sobre la carrera 125 con el objetivo de evaluar la factibilidad de la inclusión de este.

5.4.1 Descripción de los escenarios

A continuación, se exponen los cuatro escenarios planteados:

1. Aumentar el flujo vehicular total

Teniendo en cuenta la capacidad actual de los puntos de acceso de la Universidad, se decidió incrementar en un 20% el monto total de vehículos ingresado al simulador, pues este lo permite con facilidad. Con el objetivo de aumentar la demanda vehicular y entrar a evaluar las políticas impuestas por la oficina de Estacionamiento y Movilidad de la institución.

2. Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 conservando el Equipo 6

Con el fin de disminuir la congestión vehicular actual en las vías aledañas, Av. Cañasgordas y Cra 122, se proyecta la creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 compuestos por dos equipos, uno para el ingreso y otro para la salida de los usuarios. Este escenario se plantea con el fin de proveer al conductor la posibilidad de tomar vías alternas diferentes a los que existen actualmente.

3. Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 eliminando el Equipo 6

Este escenario es básicamente el mismo que el expuesto anterior, con la diferencia de que se incrementa el número de vehículos que salen de la universidad por la eliminación del Equipo 6.

4. Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 reemplazando el Equipo 6

Dado que el punto de acceso cuatro (Equipo 6) solo se usa en dos franjas horarias al día en la mayoría de los casos, y solo cuenta con un equipo que permite la salida de los vehículos, se plantea la reubicación de este sobre la Carrera 125. Para así ver cómo afecta a los otros puntos de acceso, pues este sería una buena opción de salida para aquellas personas que quieran ir hacia la vía Cali-Jamundí, subir por la 125 o Av. Cañasgordas sentido

5.4.2 Valoración de escenarios

Con el fin de realizar la respectiva evaluación del nivel de servicio de cada uno de los puntos de acceso en cada escenario planteado en el punto anterior, se procedió a identificar la densidad vehicular sobre las vías y el tiempo de espera en segundos sobre las mismas y su interacción con las entradas y salidas de la institución educativa.

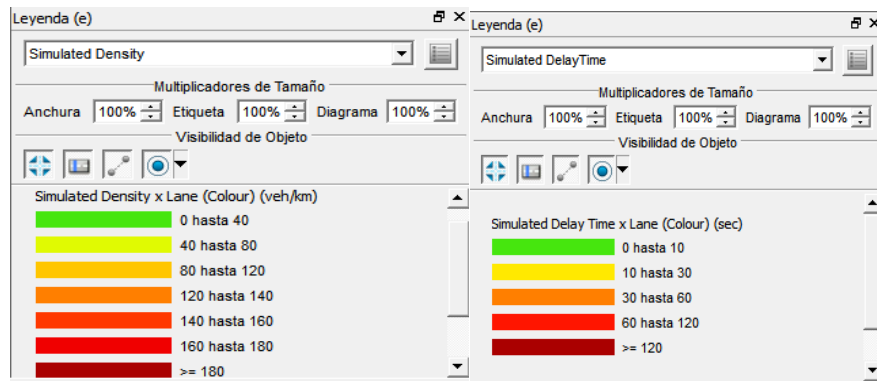


Figura 24: Leyenda para entender la densidad y el tiempo de espera.

Esta información se recolectó en una serie de tablas clasificadas por entradas y salidas (Ver Anexo 3) para facilitar la creación de los gráficos que serán expuestos a continuación y así poder comparar el comportamiento de las tres vías nombradas a lo largo del documento en cada escenario. Debido a que la densidad de los vehículos son causantes de las demoras en los tiempos de entrada y salida, se graficaron las tablas relacionadas por los tiempos de demora donde a mayor tiempo menor nivel de servicio. Cabe resaltar que solamente se analizaron los días martes a jueves que suponen los días más críticos de la semana, el resto de las gráficas se encuentran en los anexos.

- **Avenida Cañasgordas - Equipo 1, 2 y 6**

Sobre la Avenida Cañasgordas se puede evidenciar un tiempo de espera alto durante las primeras horas de la mañana y luego una tendencia ascendente desde las 9:00 a.m. hasta las 12:00 en el caso base, durante el resto del día, este punto de acceso no presenta tiempos de espera muy elevados. Teniendo en cuenta esto, se puede decir que esta entrada no se utiliza durante gran parte del día. Por otro lado, se puede decir que los escenarios donde se implementa un punto de acceso sobre la Carrera 125 reducen notablemente los tiempos de demora al entrar a la universidad. Esto se puede explicar, ya que los vehículos que normalmente entran por esta avenida pueden optar por entrar sobre esta vía que tiene menos congestión en las horas pico.

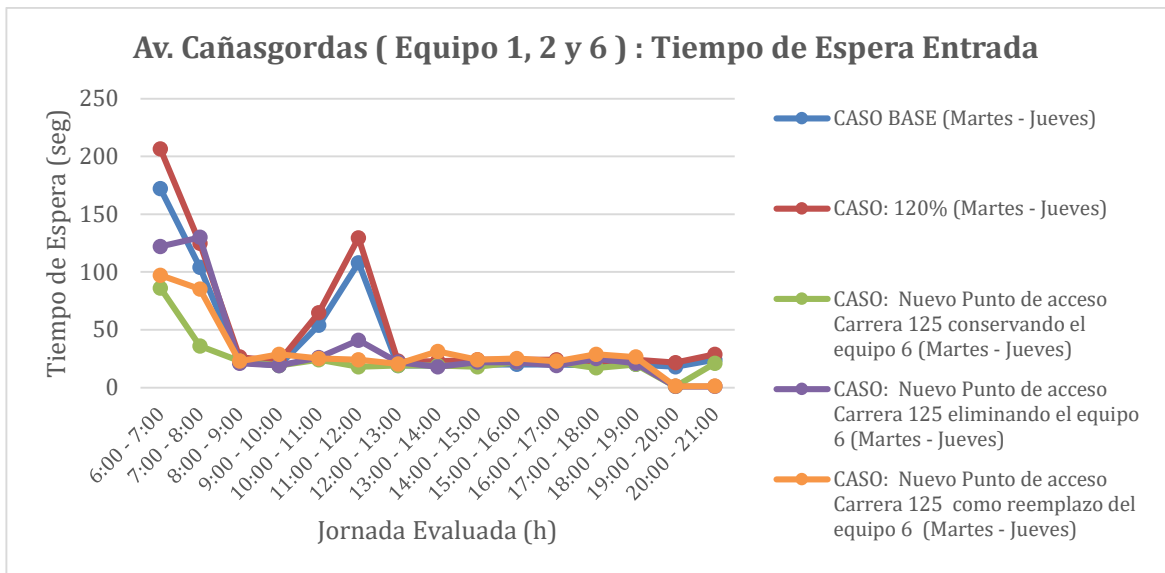


Figura 25: Tiempo de espera de las entradas sobre Av. Cañasgordas – Equipos 1 y 6. Autores

Para el caso de los vehículos que salen de la universidad, los escenarios donde se implementa un nuevo punto de acceso sobre la carrera 125 proveen los mejores niveles de servicio, siendo el escenario donde se traslada el equipo 6 hacia la carrera 125 la más efectiva. Esto se da porque una porción de los vehículos que salen de la universidad en diferentes horas, pueden optar por esta salida ya que pueden acceder fácilmente a otras vías.

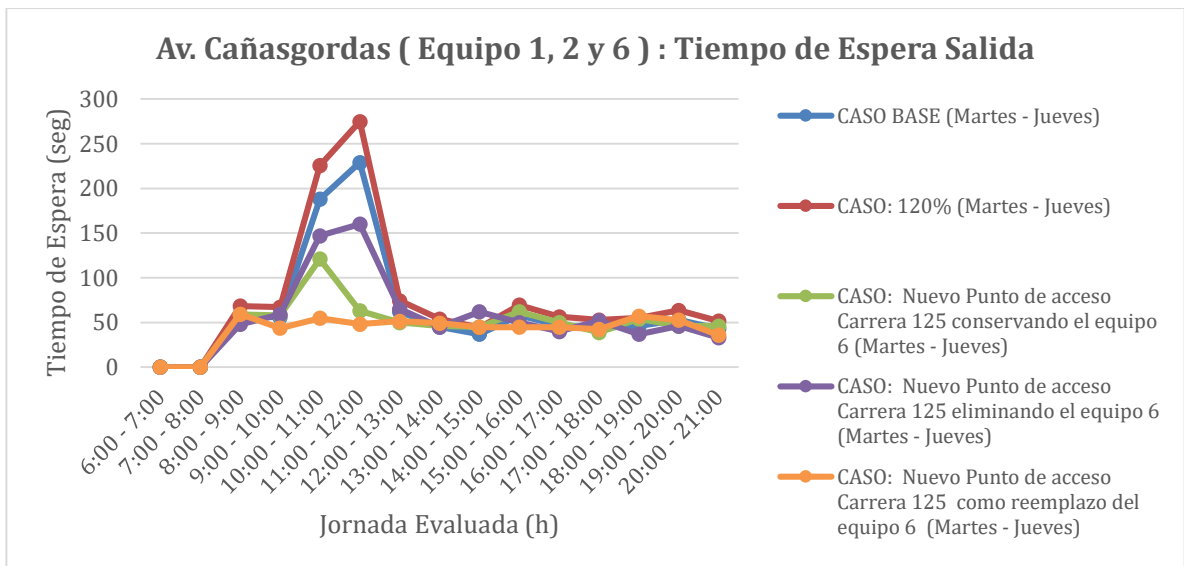


Figura 26: Tiempo de espera de las salidas sobre Av. Cañasgordas – Equipos 1 y 6. Autores

- **Carrera 122 - Equipo 3 y 4**

Como se puede evidenciar en la figura 27, donde se consolida la información sobre el punto de acceso 2 compuestos por los equipos 3 y 4, el tiempo de espera en

todos los casos presentan un comportamiento similar alrededor de la jornada evaluada. Sin embargo, en el intervalo de 10:00 – 13:00 donde todos los casos menos el caso cuatro enseñan picos representativos, puesto que en este instante surge un aumento tanto en el flujo interno como externo y de esta forma se afecta el tiempo de espera sobre dicho punto de acceso. Mientras que en el caso cuatro cuentan con el nivel de servicio más estable, pues su tiempo de espera a través del día no supera los 121 segundos.

Por otro lado, se percibe un comportamiento totalmente diferente en las salidas, puesto que ahora los picos se presentan en el intervalo de 17:00 – 20:00. Este comportamiento es esperado dado que en este momento se presentan las salidas masivas de la institución y el flujo externo se incrementa. Al igual que en la figura de las entradas, el caso cuatro es el que mejor nivel de servicio tiene, mientras el caso uno es el peor. Esto se debe a que en el caso uno se incrementa en un 20% el volumen vehicular real introducido al simulador y no se hace ninguna reforma estructural u operativa que ayude a satisfacer dicha demanda. En cambio, en el caso cuatro, la demanda no sufre ningún cambio, pero se reubica un punto de acceso sobre la carrera 125.

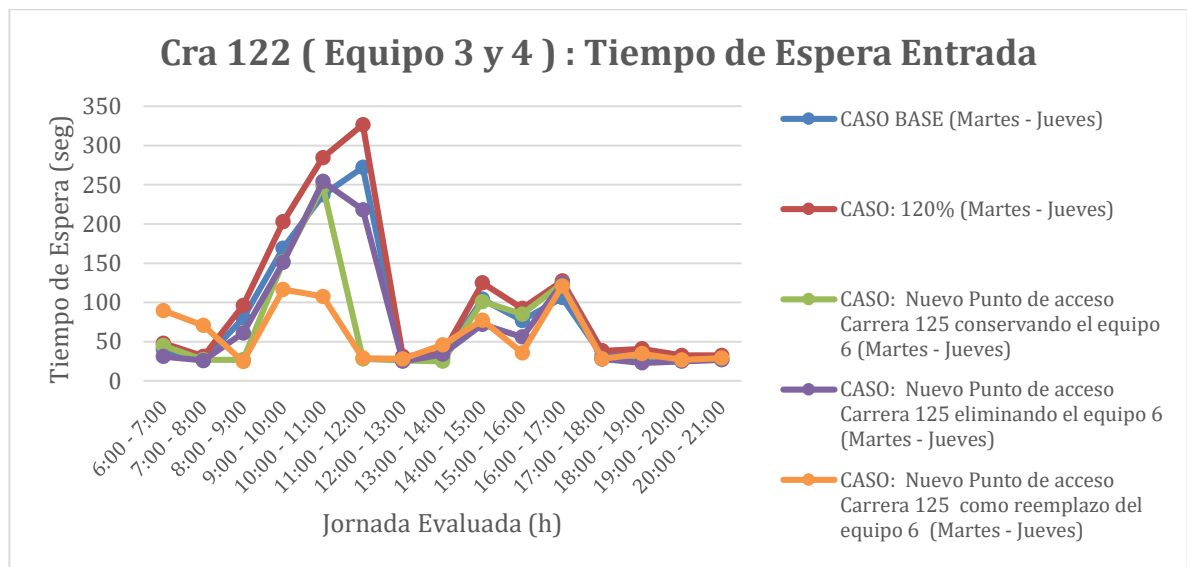


Figura 27: Tiempo de espera de las entradas sobre Cra. 122 – Equipos 3 y 4. Autores

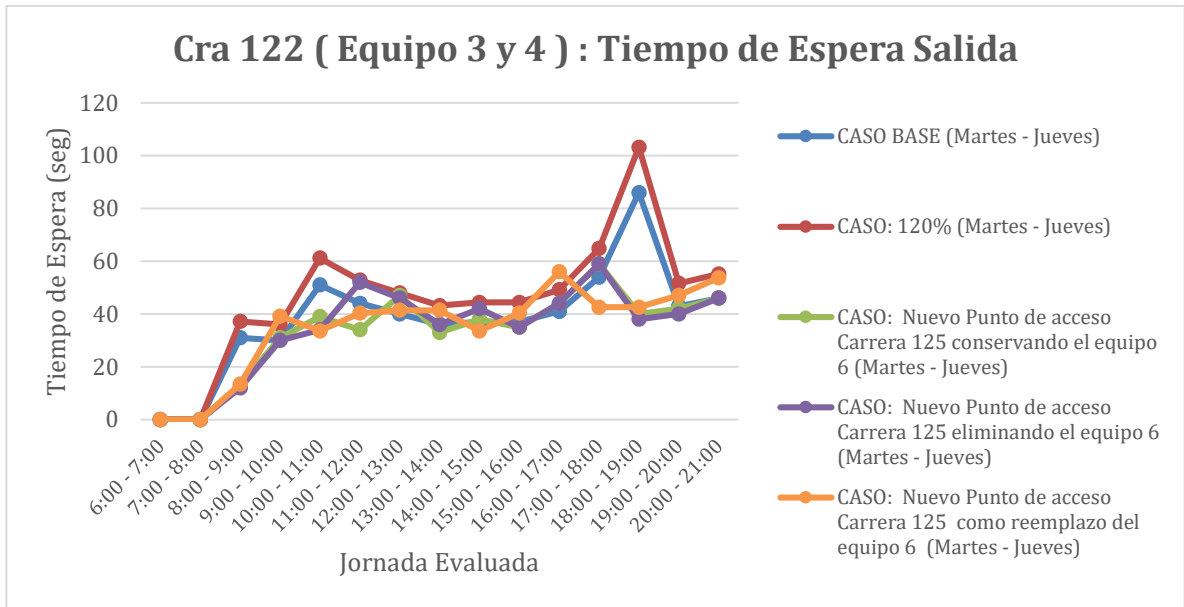


Figura 28: Tiempo de espera de las salidas sobre Cra. 122 – Equipos 3 y 4. Autores

- Carrera 122 - Equipo 5

Sobre el punto de acceso donde está ubicado el equipo 5 se observa un nivel de servicio muy similar frente a los casos evaluados. Pues como se puede ver en la Figura 30 los puntos críticos en el momento de las entradas se presentan entre 6:00 a.m. - 9:00 a.m. y el resto del día es extremadamente bajo, esto se debe a los horarios programados de entradas para este punto de acceso.

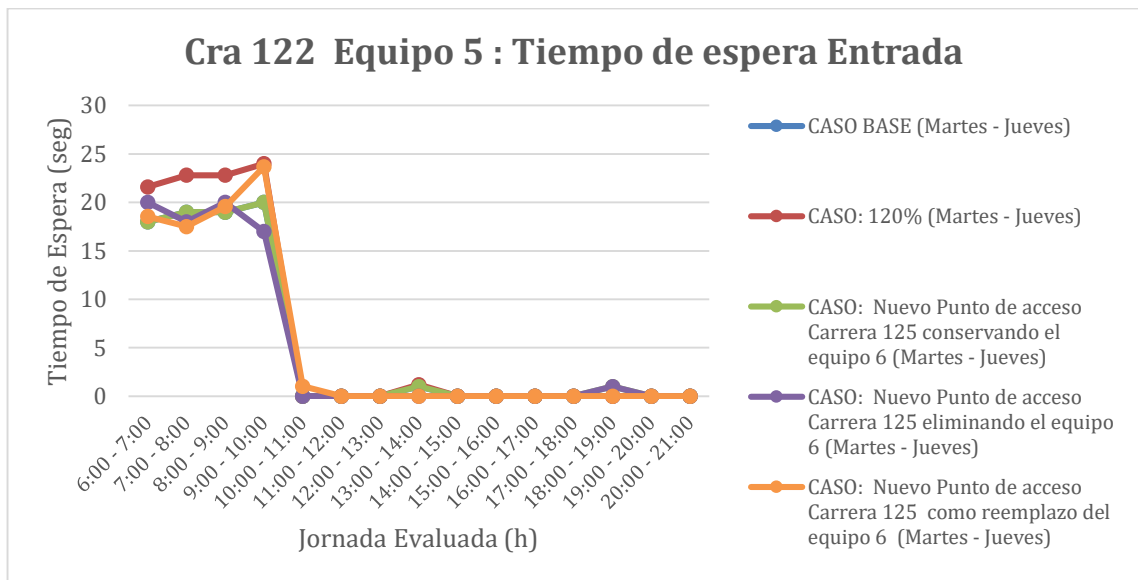


Figura 29: Tiempo de espera de las Entradas sobre Cra. 122 – Equipos 5. Autores

Sumado a esto, muchos de los conductores que viene por la cra 122 desconocen u omiten este punto de acceso y prefieren entrar por el PA 2 (Ver Figura 31) De esta forma se obstaculiza el ingreso de los vehículos que viene por la Av. Cañasgordas o bajan por la cra 122 afectando el tiempo de espera en dicho PA.

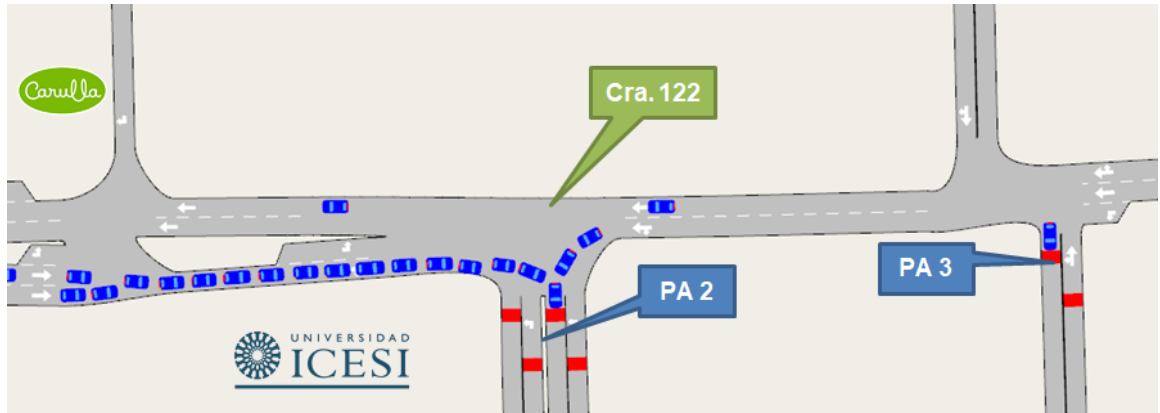


Figura 30: Problemática vehicular – Hora: 10:41. Autores

En cambio, el comportamiento de las salidas realizadas por este punto tiene un comportamiento más dinámico a través del día produciendo variaciones en el nivel de servicio del mismo. Sin embargo, este no es muy crítico, pues el valor más alto de tiempo de espera fue de 84 segundos al comparar todos los casos entre sí. Por otro lado, una de las razones por las cuales este punto de acceso si tiene una alta actividad en las salidas es porque la universidad guía el flujo interno para que hagan uso de esta con la ayuda de un auxiliar de Estacionamiento y Movilidad.

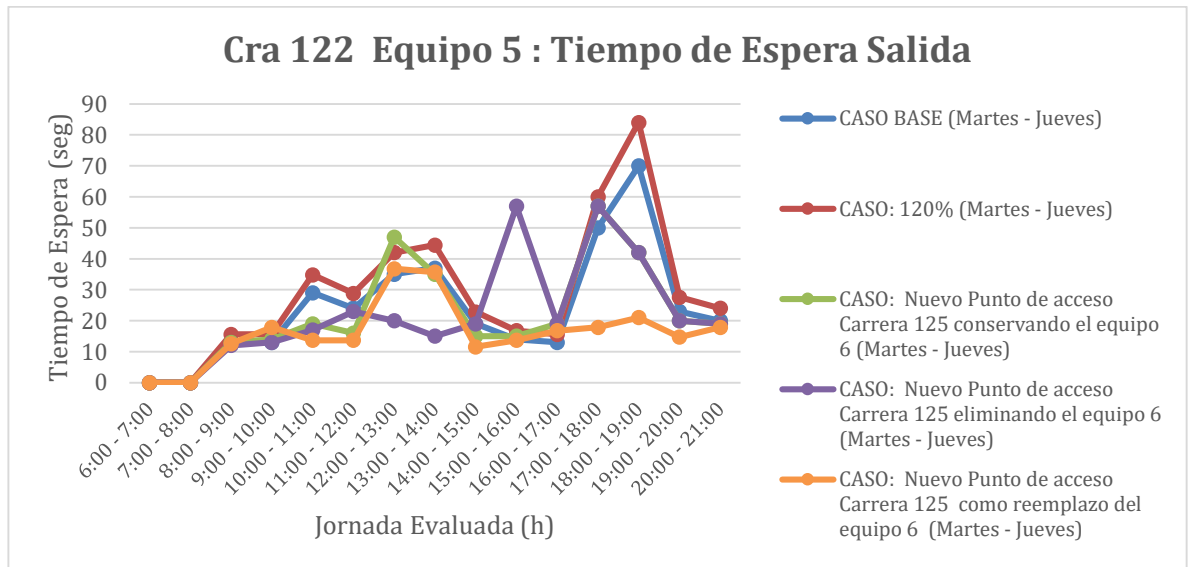


Figura 31: Tiempo de espera de las salidas sobre Cra. 122 – Equipos 5. Autores

En general, vemos que el tiempo de espera del caso que representa la situación actual del sistema, tanto en las entradas como en las salidas, se puede mejorar al reubicar el equipo 6 sobre la carrera 125, pero esta opción desencadena diversas problemáticas a los conductores que transitan por esta vía, las cuales se dejan en evidencia más adelante.

- **Carrera 125**

Al evaluar los niveles de servicio en la implementación de este nuevo punto de acceso vehicular, se puede evidenciar un tiempo mayor en los tiempos de espera durante las horas pico. Esto se da debido a la infraestructura que posee actualmente la Carrera 125, está compuesta por un carril que se dirige hacia la Avenida Cañasgordas y dos que se dirigen hacia la vía Cali - Jamundí; debido a la ubicación de la universidad, el punto de acceso tiene que estar ubicado sobre la vía que se dirige hacia la Avenida Cañasgordas.



Figura 32: Problemática vehicular – Hora: 7:30. Autores

Al observar las entradas sobre este punto de acceso, se evidencia que el nivel de servicio se ve afectado negativamente en los intervalos de 6:00 a.m. - 8:00 a.m. y 17:00 p.m. - 19:00 p.m., donde un conductor puede llegar a esperar entre 411 y 625 segundos. Por lo tanto, estos escenarios a pesar de ser beneficiosos para las demás vías, no resulta ser atractivo sobre esta vía durante las horas pico de la mañana y las de la tarde - noche. Cabe resaltar que el escenario donde simplemente se traslada el equipo 6 a esta vía no tiene entradas, como sucede actualmente.

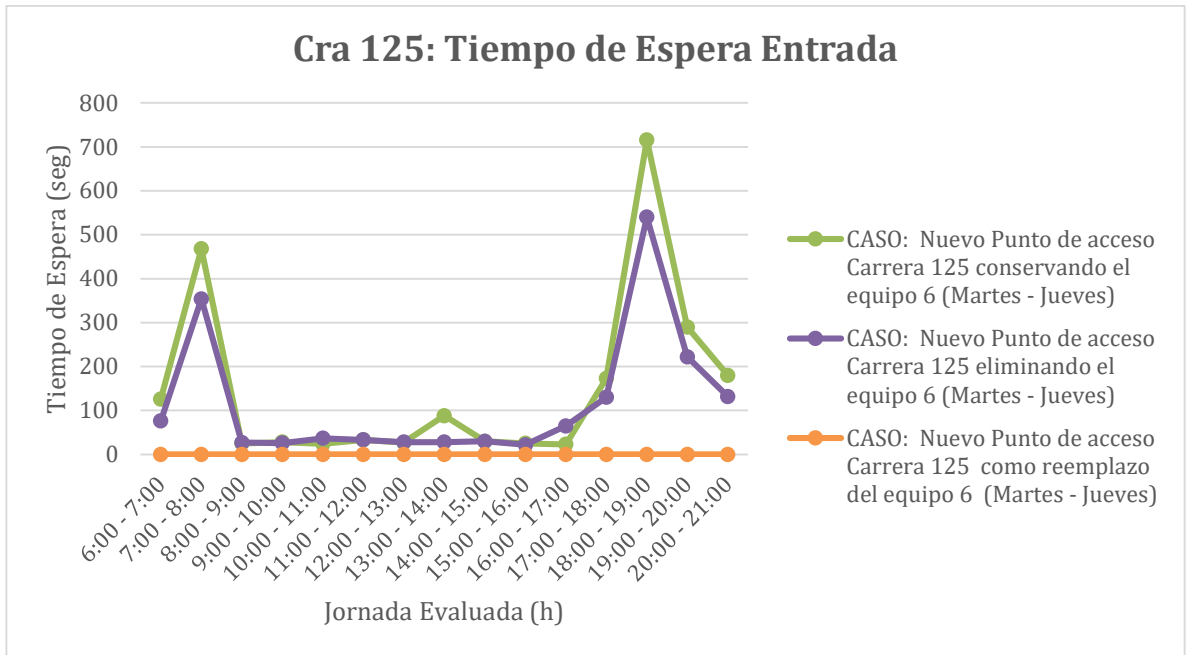


Figura 33: Tiempo de Espera de las entradas sobre Cra. 125. Autores

Con las salidas, se presenta un problema similar con los elevados tiempos de espera, pero con la diferencia de que el escenario donde se traslada el equipo 6 hacia el punto de acceso sobre la Carrera 125, experimenta menores tiempos de espera. Por lo tanto, se podría decir que en el caso de implementar un nuevo punto de acceso sobre la Carrera 125 el escenario que provee mejores tiempos de espera para los usuarios sería el traslado del equipo 6 hacia la Carrera 125.

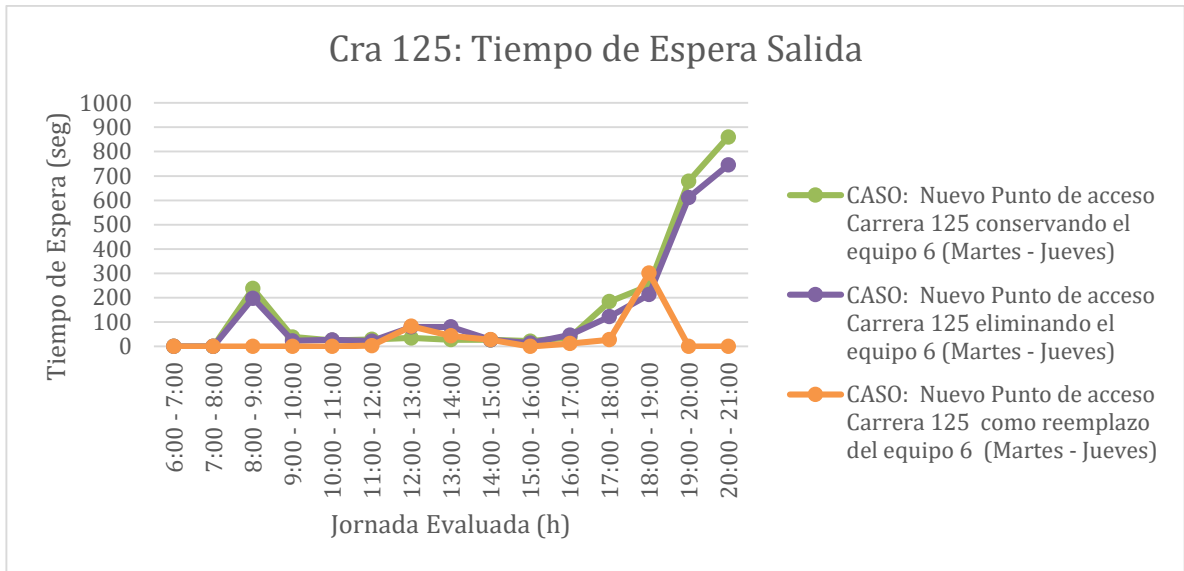


Figura 34: Tiempo de Espera de las salidas sobre Cra. 125. Autores

5.4.3 Evaluación de costos por escenario

Para el buen funcionamiento de cada punto de acceso, además de contar con los equipos de control de acceso, hace uso de recurso humano, los cuales ayudan y vigilan a los usuarios. Dicho recurso humano se divide en dos tipos: Portero y Auxiliar, donde después de una consulta a personas cercanas a estos, se establece que el primero tiene un pago de un salario mínimo legal vigente al mes y el segundo recibe un pago proporcional a las horas trabajadas, tomando como base un salario de \$900.000 mensuales. Además, este a su vez varía según el punto de acceso, es decir que no todos los puntos de acceso tienen el mismo costo de operación respecto al recurso humano empleado en ellos.

Cabe anotar que, un portero trabaja toda su jornada en el punto de acceso asignado, mientras que el auxiliar solo trabaja alrededor del 50% de su jornada en ellos. Es por esto que se estima que cada auxiliar labore 96 horas mensuales. Por otro lado, se sabe que los puntos de acceso cuentan con el mismo número de personal. Por ejemplo en el caso del PA 1 y 2 tienen 2 porteros permanentes, 1 auxiliar permanente y 1 auxiliar temporal. Mientras que los PA 3 y 4 solo cuentan con un portero permanente. En este momento, los costos operativos de los puntos de acceso se encuentran distribuidos de la siguiente manera:

Punto de Acceso	Cant. Porteros	Cant. Auxiliares	Hr. de trabajo Aux por mes	Valor por hora Aux	Costo Mensual Aux	Costo Mensual portero	Costo Mensual Total
1	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
2	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
3	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
4	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
Total							\$ 6.127.452

Tabla 9: Evaluación de costos de estado actual. Autores.

De este modo, se presenta a continuación la evaluación de costos para cada uno de los casos, con excepción del caso donde se aumenta el flujo un 20% pues este no requiere de ningún cambio a nivel de porterías. Para esto se tendrán supuestos como:

- 1) Las horas de trabajo de los auxiliares serán las mismas del caso base.
- 2) Si el punto de acceso maneja un solo flujo, ya sea entrada o salida, solo tendrá un portero permanente.
- 3) El valor de cada recurso humano es el mismo al del caso base.

- **Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 conservando el Equipo 6**

En este escenario cómo se crea un nuevo punto de acceso que permite tanto el ingreso como las salidas de las personas y solo se va a utilizar en ciertos horarios de la jornada se asigna un auxiliar temporal para soportar el servicio en los intervalos de tiempos críticos, es decir de 6:00 - 9:00, 12:00 - 14:00 y 16:00 - 19:00.

Punto de Acceso	Cant. Porteros	Cant. Auxiliares	Hr. de trabajo Aux por mes	Valor por hora Aux	Costo Mensual Aux	Costo Mensual portero	Costo Mensual Total
1	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
2	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
3	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
4	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
5 (Nuevo PA)	1	1	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 781.242	\$ 1.501.242
Total							\$ 7.628.694

Tabla 10: Evaluación de costos de escenario 2. Autores.

- **Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 eliminando el Equipo 6**

Aquí el costo disminuye porque se opta por eliminar el equipo 6, el punto de acceso 4 se cierra por completo. Pero el nuevo punto de acceso sobre la Carrera 125 queda habilitado igual que en el caso anterior, para entradas y salidas de los usuarios, y también se cuenta con el mismo número de recurso humano.

Punto de Acceso	Cant. Porteros	Cant. Auxiliares	Hr. de trabajo Aux por mes	Valor por hora Aux	Costo Mensual Aux	Costo Mensual portero	Costo Mensual Total
1	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
2	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
3	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
5 (Nuevo PA)	1	1	96	\$ 3.750	\$ 360.000	\$ 1.141.242	\$ 1.501.242
Total							\$ 6.847.452

Tabla 11: Evaluación de costos de escenario 3. Autores.

- **Creación de un punto de acceso sobre la carrera 125 reemplazando el Equipo 6**

En este caso los costos de operación son iguales al caso base, puesto que solo es hacer la reubicación del equipo 6 (Punto de acceso 4) a la calle 125.

Punto de Acceso	Cant. Porteros	Cant. Auxiliares	Hr. de trabajo Aux por mes	Valor por hora Aux	Costo Mensual Aux	Costo Mensual portero	Costo Mensual Total
1	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
2	2	2	192	\$ 3.750	\$ 720.000	\$ 1.562.484	\$ 2.282.484
3	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
5 (Nuevo PA)	1	-	-	-	-	\$ 781.242	\$ 781.242
Total							\$ 6.127.452

Tabla 12: Evaluación de costos de escenario 4. Autores.

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

Después de realizar un análisis de los datos obtenidos del Caso Base, se evidenció que la programación actual de los puntos de acceso de la universidad está acorde a la prestación de un buen nivel de servicio. Esto teniendo en cuenta que la universidad emplea unos cambios de flujos a lo largo del día en algunos equipos de acceso vehicular. La relación de los vehículos que entran o salen de la universidad con la infraestructura vial externa imposibilita una mejor operación de los puntos de acceso con la programación actual debido a la gran congestión que tienen las vías a ciertas horas del día como se puede apreciar en la siguiente figura.

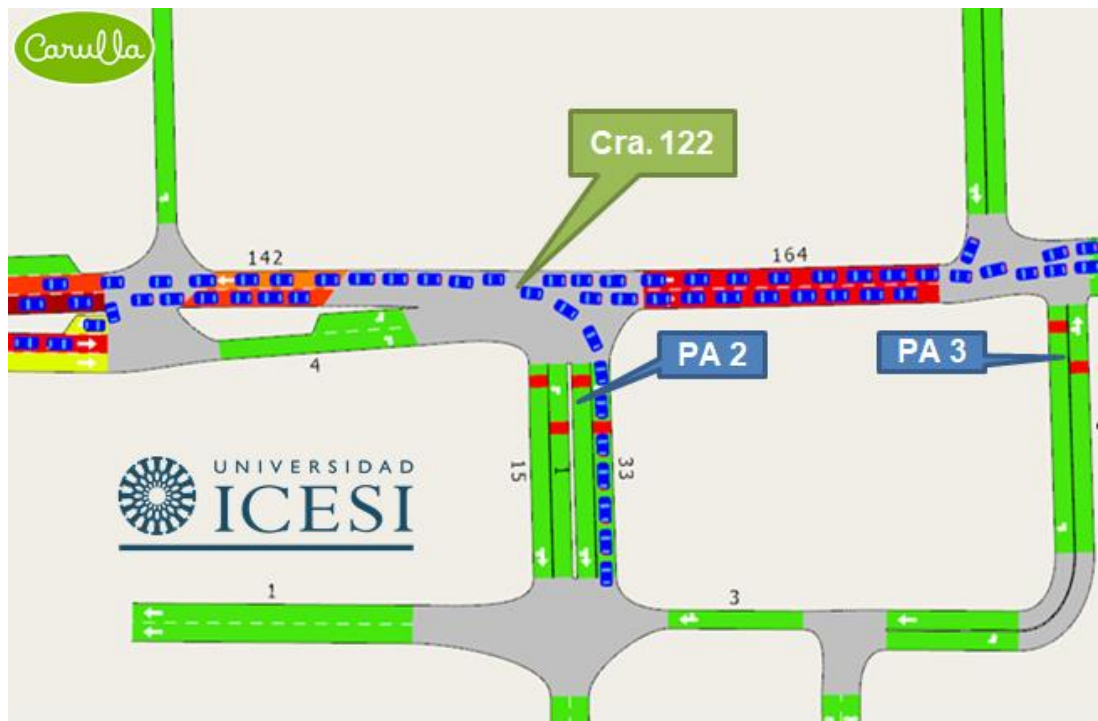


Figura 35: Problemática vehicular – Hora: 19:15. Autores

Por otro lado, se pudo evidenciar que el acceso por el equipo 1 se subutiliza durante gran parte del día, esto debido a que las personas que vienen en su mayoría por la Avenida Cañasgordas o de Jamundí, optan por utilizar la Carrera 122 y no dar una vuelta más larga para entrar por este punto de acceso. Así el vehículo tenga que estar en el área donde se encuentra este equipo, los conductores prefieren entrar por los puntos de acceso sobre la Carrera 122 y luego trasladarse dentro de la universidad al área del equipo 1.

En cuanto al uso del equipo 5, se puede apreciar una poca utilización de este por parte de los usuarios. En este sentido, muchos vehículos que vienen sobre la Carrera 122 desde la vía Cali - Jamundí, no entran por este punto de acceso, sino que siguen derecho hacia el siguiente punto de acceso donde se encuentran los

equipos 3 y 4. Este tipo de comportamientos generan un incremento en los tiempos de espera para los vehículos que solo tienen la posibilidad de entrar por los equipos 3 y 4 de acuerdo a su procedencia.

Teniendo en cuenta los niveles de servicio arrojados por los escenarios donde se implementa un nuevo punto de acceso sobre la Carrera 125, no es viable la apertura de este punto de acceso debido a la limitación que existe en cuanto a la infraestructura vial existente. Debido a que el punto de acceso se ubica sobre la vía de un solo carril, limita mucho el paso de los vehículos generando tiempos de espera prolongados. Por otro lado, el hecho de que los vehículos que entran o salen de la Universidad puedan interactuar con el carril que se dirige hacia la Panamericana se vuelve peligroso y podría convertirse en un sitio de alta accidentalidad, ya que para entrar o salir de la Universidad tienen que pasar sobre el carril que se dirige en sentido contrario.

De los escenarios propuestos con la incorporación de un nuevo punto de acceso, el único que podría implementarse con la infraestructura vial existente es el escenario donde el equipo 6 es trasladado hacia la Carrera 125 con su misma programación, es decir, solamente de salida en unas horas específicas. Este posee unos tiempos de espera mucho menor a los demás escenarios propuestos, sin embargo, tiene unos tiempos de espera ligeramente mayores a los que tienen actualmente los demás puntos de acceso. La mejora que se le podría proveer a los usuarios con este escenario es la posibilidad de coger otras vías diferentes a las que permite en la actualidad los puntos de acceso.

6.2 Recomendaciones

Recomendaciones a la Universidad Icesi:

Mediante este proyecto se pudo establecer que es necesario que los vehículos que vienen sobre la Carrera 122 utilicen en mayor medida el punto de acceso donde está ubicado el equipo 5 para evitar mayores congestiones sobre el punto de acceso donde están ubicados los equipos 3 y 4. Para esto se recomienda crear algún tipo de señalización de tipo semafórica donde se indique si el equipo 5 está abierto por medio de una luz verde para la entrada de los vehículos. Esto se hace con el fin de que los vehículos no acudan al punto de acceso donde están los equipos 3 y 4, ya que muchos usuarios creen que el equipo 5 no está abierto a pesar de que en este punto ya existe un cartel con las horas de entrada. Con esta recomendación, se espera que los tiempos de espera para los vehículos que entran a la universidad por los equipos 3 y 4 en horas pico sean menores.

Para los escenarios donde se implementa un punto de acceso vehicular sobre la carrera 125, se evidenciaron cruces peligrosos que podrían convertirse en un punto de accidentes vehiculares. Por lo tanto, si la universidad decide darle apertura a este nuevo punto de acceso, se recomienda coordinar con la secretaria de tránsito la adición de un regulador de tránsito para darle manejo a los carros que entran a la

universidad en horas de la mañana para evitar accidentes de tráfico. Se recomienda en el mismo sentido poner un regulador de tránsito en las horas de alta congestión en la tarde – noche para evitar accidentes con la entrada o salida de vehículos desde la universidad.

Recomendaciones para investigaciones futuras:

Para próximos estudios se recomienda realizar una simulación de tráfico enfocado en la Carrera 125 para poder cambiar el sentido de las vías y ver cuál es la mejor disposición del sentido de las vías. Este estudio le permitiría a la administración municipal poder establecer un mecanismo para redirigir el tráfico que tenía la intención de coger la Avenida Cañasgordas. También, se podría escoger la mejor disposición infraestructural y de la misma manera sería insumo para la Universidad Icesi en su plan de apertura de un nuevo punto de acceso sobre esta vía. Esta simulación puede variar dependiendo de los cambios que resultan después de la ampliación de la vía Cali – Jamundí.

Por otro lado, es pertinente realizar una simulación de tráfico donde se implemente una bahía sobre la Carrera 125 con el fin de ver que tanto disminuyen los tiempos de espera en los escenarios donde se ubica un punto de acceso sobre esta vía. Con esta bahía se podría mejorar los tiempos de espera de los vehículos que vayan a entrar o salir de la Universidad sin alterar en mayor medida el tráfico tanto en las vías externas a la universidad como en las internas.

Para la recolección de datos, se recomienda el uso de mejores tecnologías como un contador automático que pueda instalarse y subir a una nube los datos que vaya recolectando. Con este tipo de tecnologías, se tendría una recolección más exacta de datos y por otro lado no se tendría que disponer de tanto recurso humano; las investigaciones futuras se beneficiarían de este recurso para poder tener más tiempo al momento de modelar y evaluar nuevos escenarios.

Este estudio se realizó usando unos estados de tráfico, donde se define la proporción de vehículos que giran en cada intersección teniendo en cuenta la toma de datos que se realizó. Debido a la gran cantidad de datos utilizados, se recomienda el uso de las matrices Origen-Destino que provee el simulador, ya que se puede modelar con más exactitud el direccionamiento de cada uno de los vehículos.

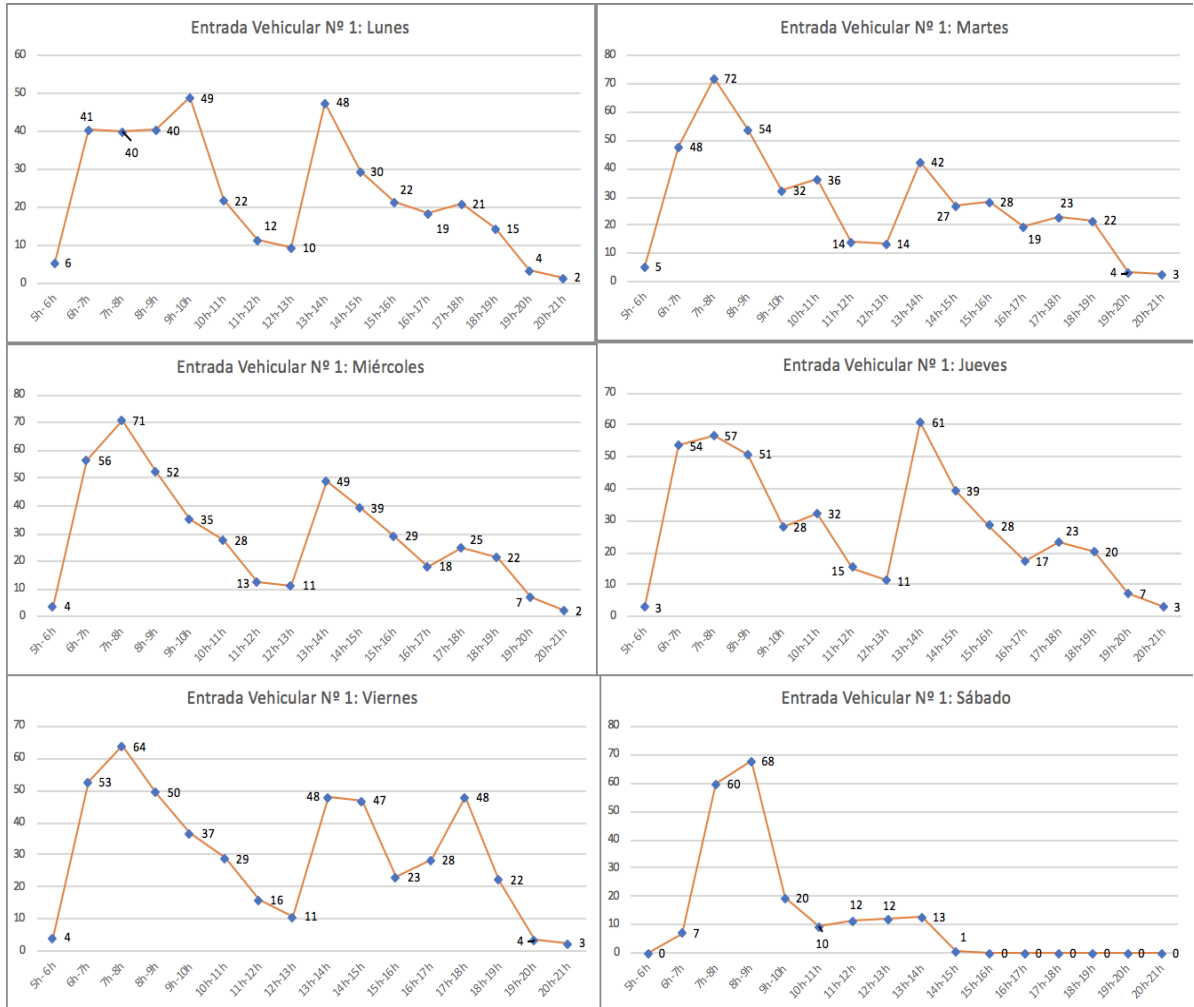
REFERENCIAS

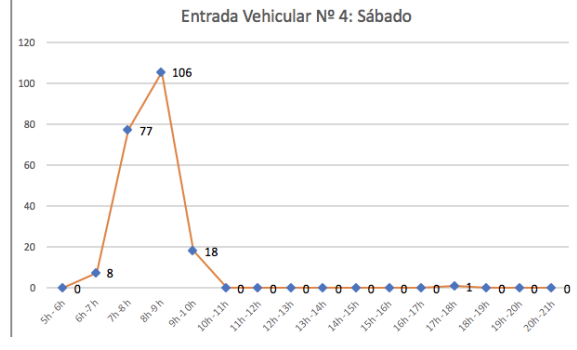
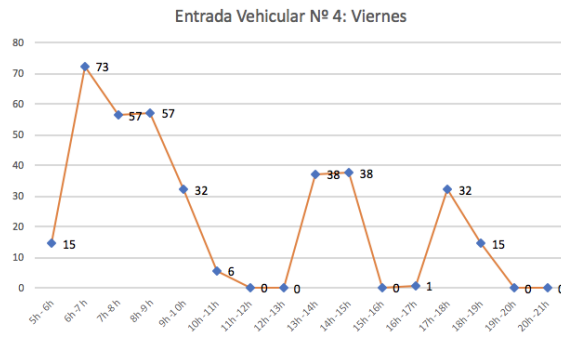
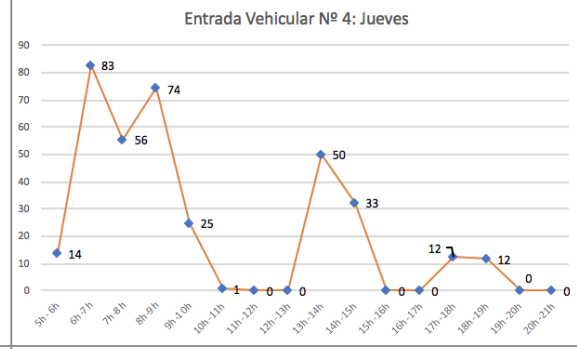
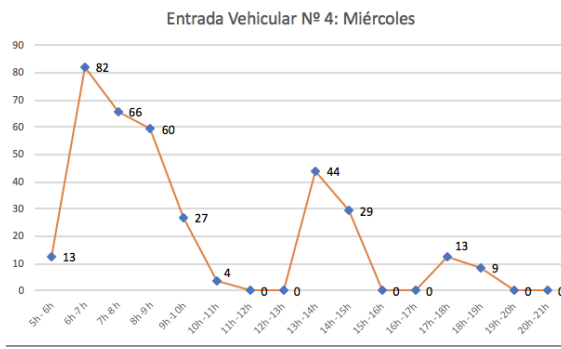
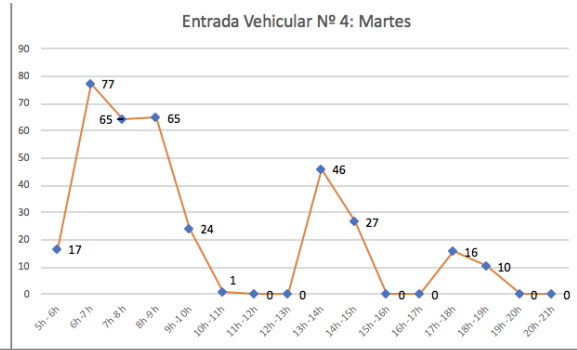
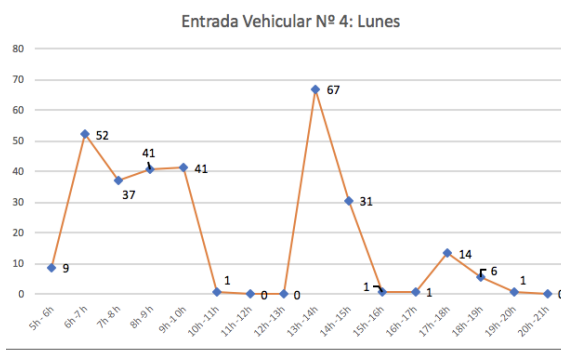
- Universidad Icesi. (2016). *Icesi en Cifras* (Capítulo 1). Recuperado de <https://www.icesi.edu.co/images/2016icesiencifras.pdf>
- Universidad Icesi. (2016). *Infraestructura y otros recursos* (Capítulo 9). Recuperado de <https://www.icesi.edu.co/images/2016infraestructura.pdf>
- Universidad Icesi. (2011). *Icesi en Cifras* (Capítulo 1). Recuperado de http://www.icesi.edu.co/imgs/contenido/pdfs/boletin2011/boletin_estadistico_2011.pdf
- Alcaldía de Santiago de Cali. (2010) *Plan de desarrollo 2008-2011 Comuna 22*. Recuperado de Comuna 22 - Alcaldía de Santiago de Cali
- Universidad Icesi. (2008). *Icesi en Cifras* (Capítulo 1). Recuperado de https://www.icesi.edu.co/contenido/pdfs/boletin_estadistico_icesi_cifras2008.pdf
- Zou, Y., Zhang, J., Zhu, Y., Chen, F., & Gu, W. (2015). *Solutions to Traffic Jam on East Road of Beijing Jiaotong University in Rush Hours Based on Analogue Simulation*. MATEC Web Of Conferences, 25, 04004. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1051/matecconf/20152504004>
- White, Jr., P., & Ingalls, R. (2016). *The Basics of Simulation*. Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference, pg. 38-52. Recuperado de <http://simulation.su/uploads/files/default/2016-white-ingalls.pdf>
- Avilés García, C. (2017). *MICROANÁLISIS DE LOS DESPLAZAMIENTOS PEATONALES Y VEHICULARES EN LAS AFUERAS DEL HOSPITAL DEL NIÑO* (Pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Perú. Recuperado de <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/123456789/8640>
- Alcalá Ramos, M. (2016). *MICRO SIMULACIÓN DEL TRÁFICO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS BOLÍVAR, CÓRDOVA Y CALLE ANDALUCÍA EMPLEANDO EL SOFTWARE VISSIM 6* (Pregrado). Pontificia Universidad Católica Del Perú. Recuperado de http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/123456789/8640/AVILES_CAROLINA_DESPLAZAMIENTOS_PEAONALES_VEHICULARES.pdf?sequence=1&isAllowed=y

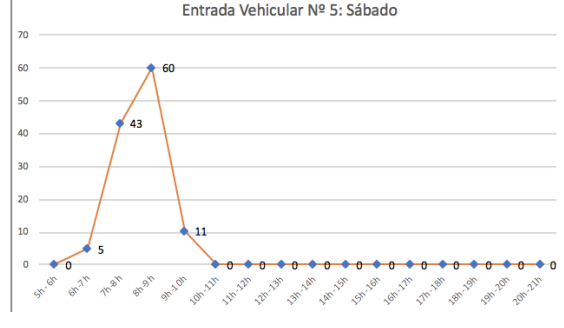
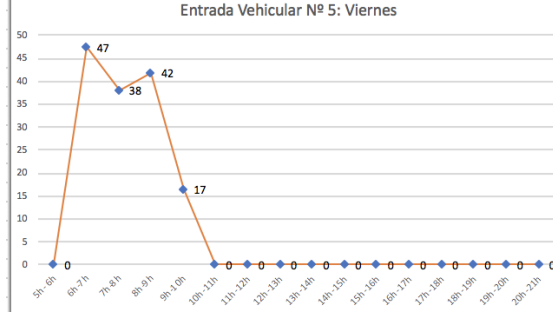
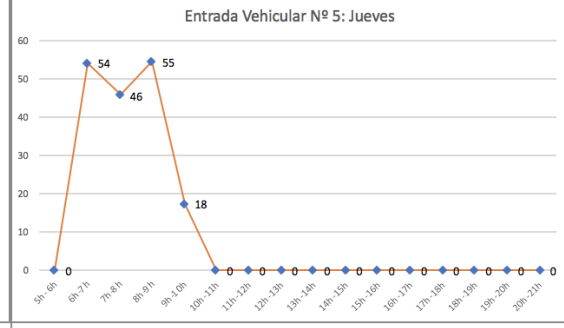
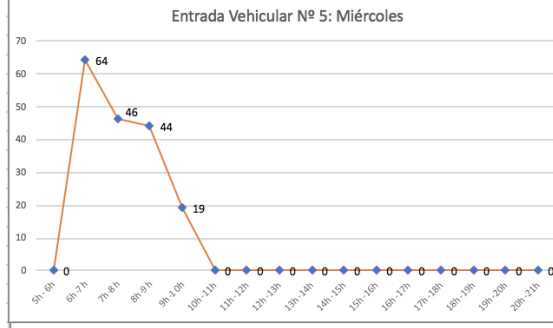
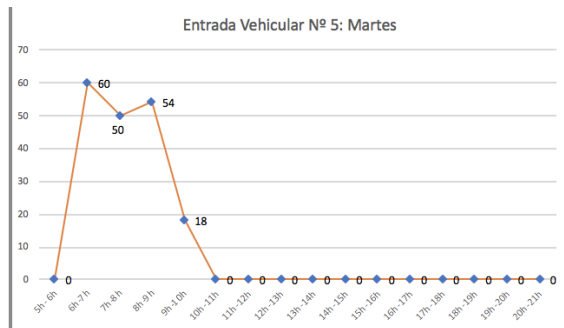
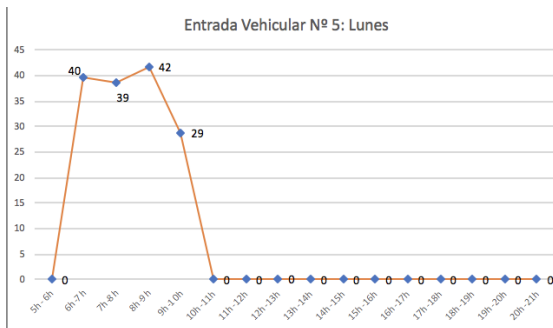
- Arrieta, K. (2013). *Modelación del tráfico vehicular con el software PTV Vissim - Tramo Bomba El gallo - Bomba El Amparo*. Cartagena: Universidad de Cartagena. Recuperado de <http://190.242.62.234:8080/jspui/bitstream/11227/532/1/MODELACIÓN%20DEL%20TRAFICO%20VEHICULAR%20CON%20EL%20SOFTWARE%20PTV%20VISSIM%20TRAMO%20BOMBA%20EL%20GALLO-%20BOMBA%20EL%20AMPARO.pdf>
- Aimsun Next traffic modeling software. (2018). *Aimsun*. Recuperado 10 April 2018, de <https://www.aimsun.com/aimsun-next/>
- Du, Y., Zhao, C., Zhang, X., & Sun, L. (2015). *Microscopic simulation evaluation method on access traffic operation*. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 53, 139-148. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.1016/j.simpat.2015.02.004>
- Alves Silva Ribeiro, H., Carlos Ribeiro Pinto, K., & Eva Santos Peixoto, N. (2017). *Process analysis for vehicle access in Uberlândia's regional airport: a simulation model*. *Revista Gestão Da Produção Operações E Sistemas*, 12(4), 320-343. Recuperado de <http://dx.doi.org/10.15675/gepros.v12i4.1830>

ANEXOS

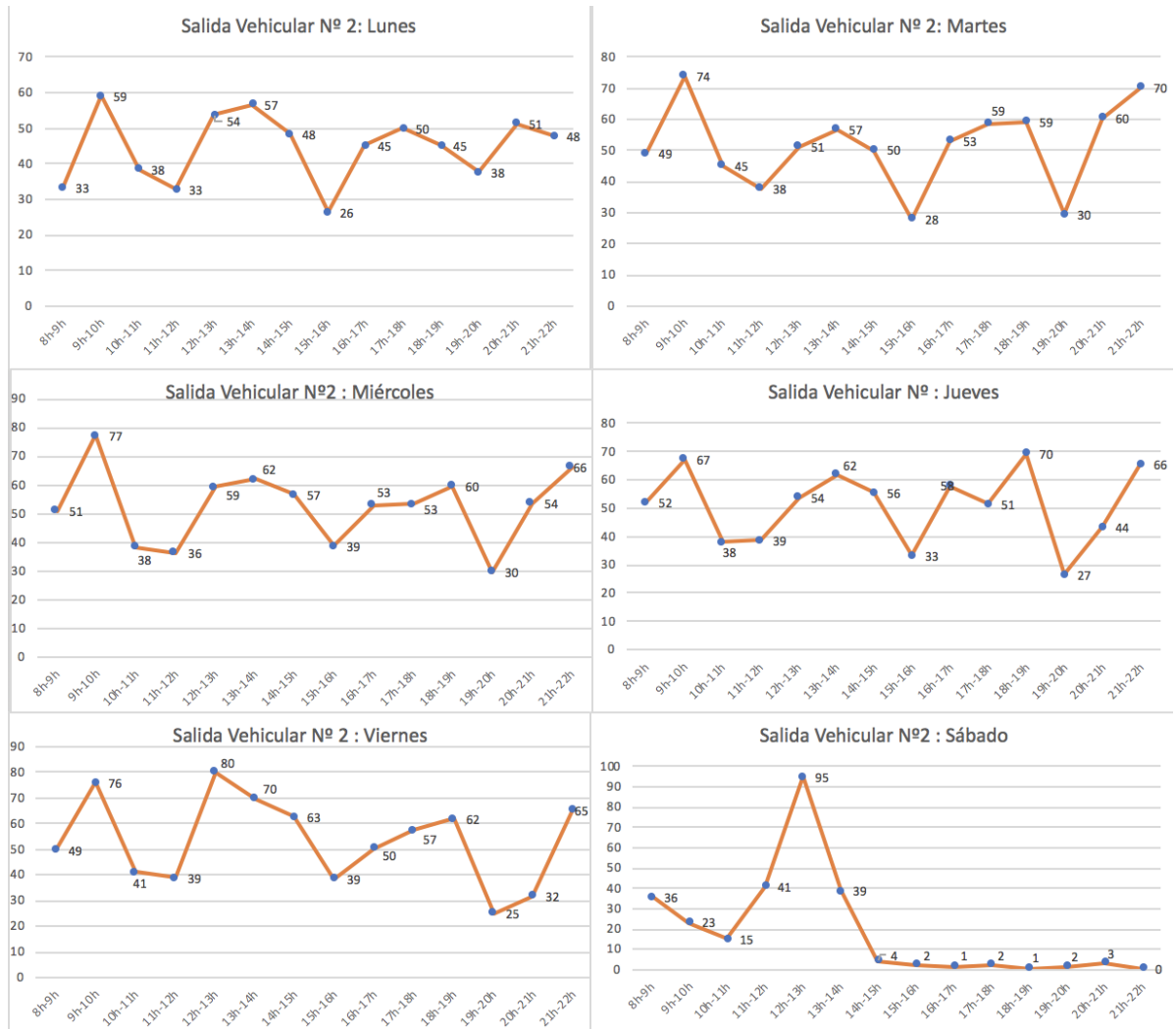
Anexo 1. Funciones de demanda para los equipos de entrada

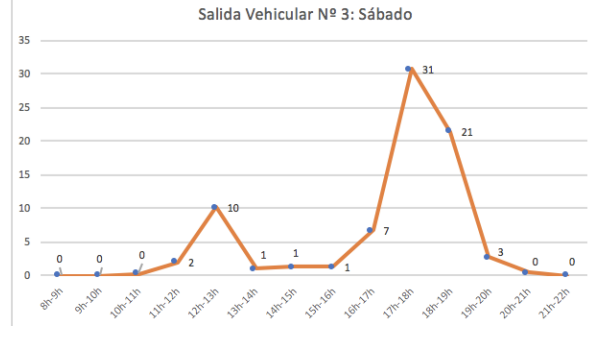
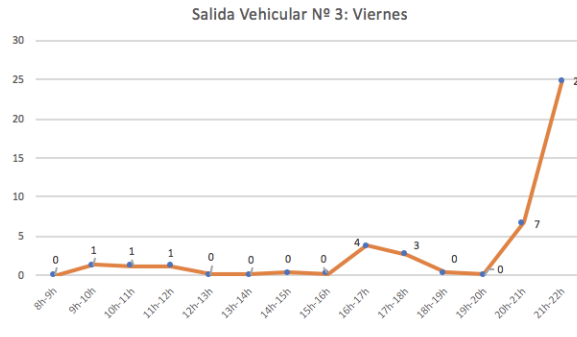
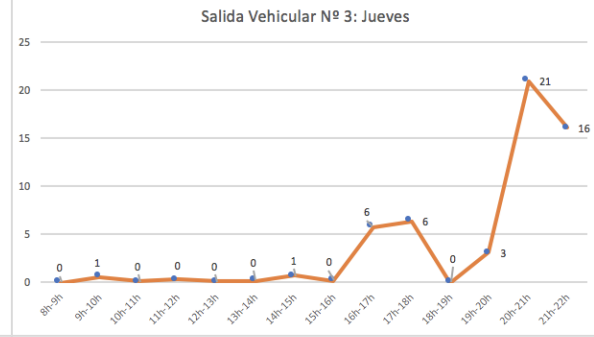
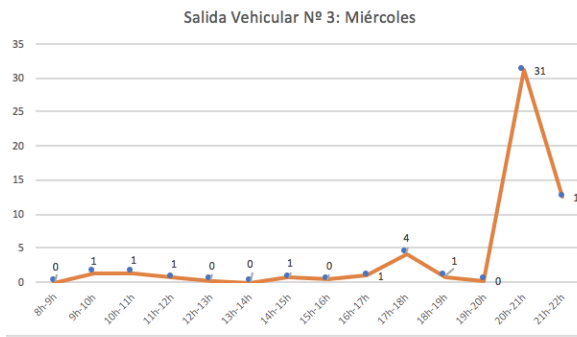
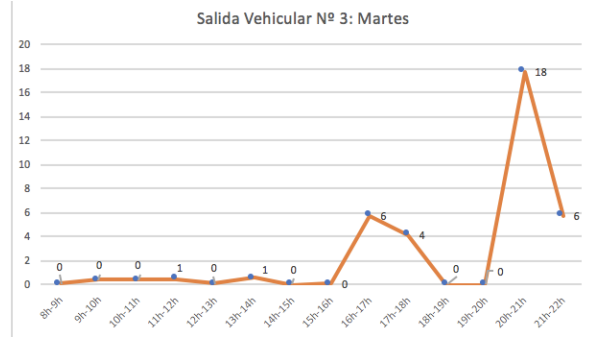
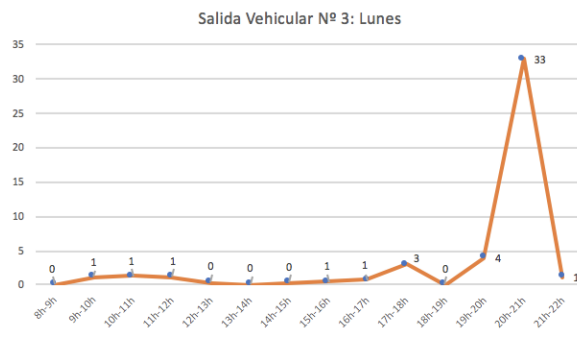


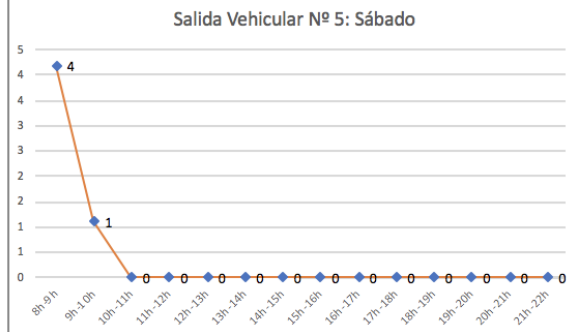
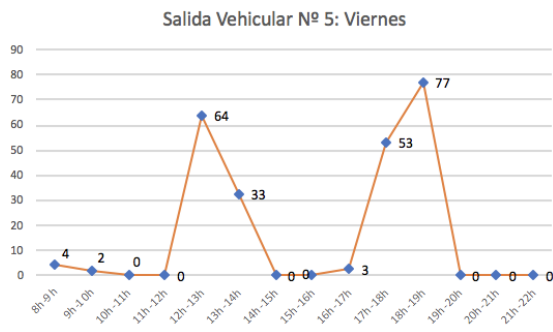
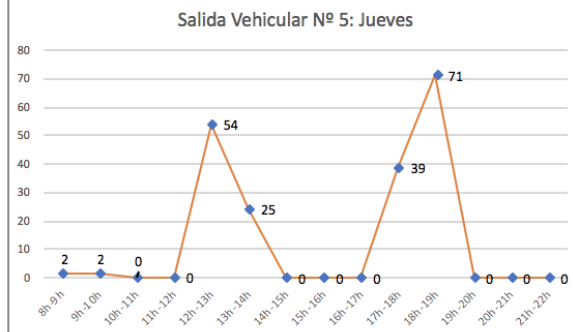
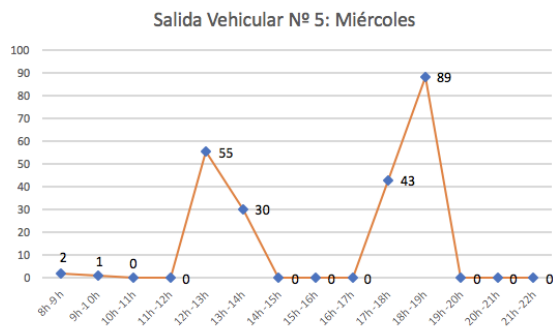
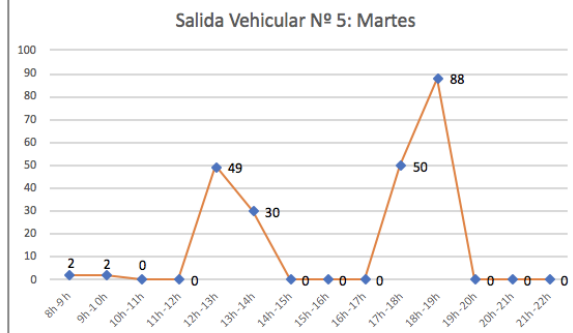
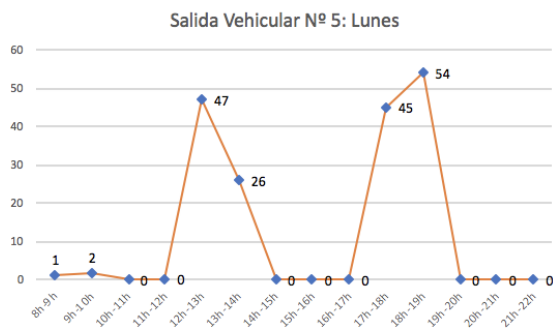


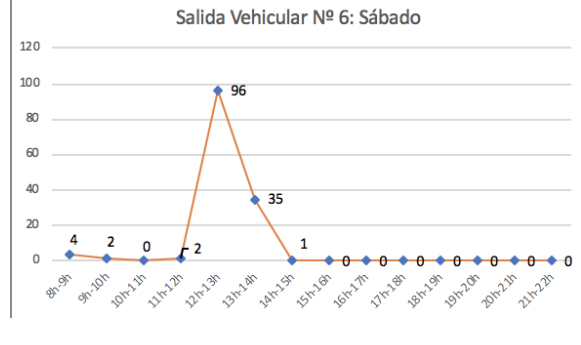
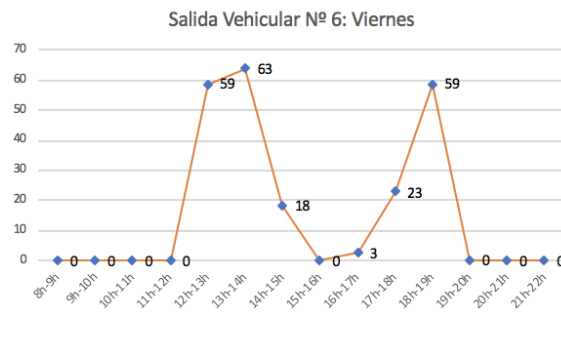
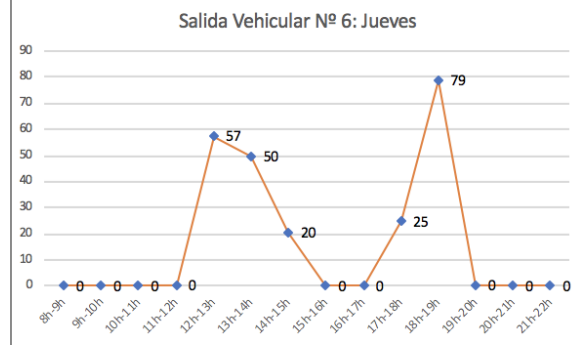
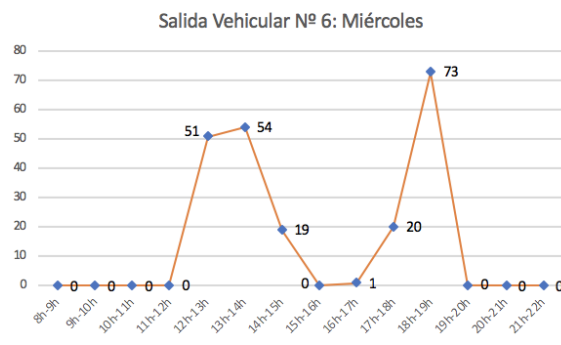
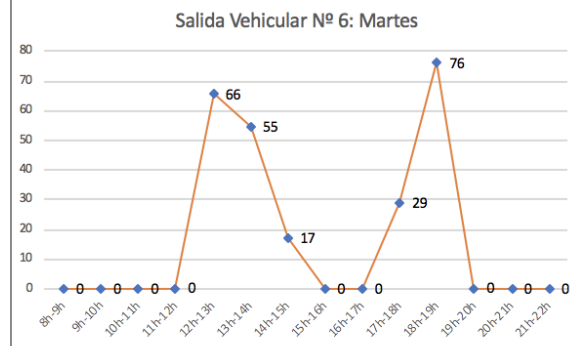
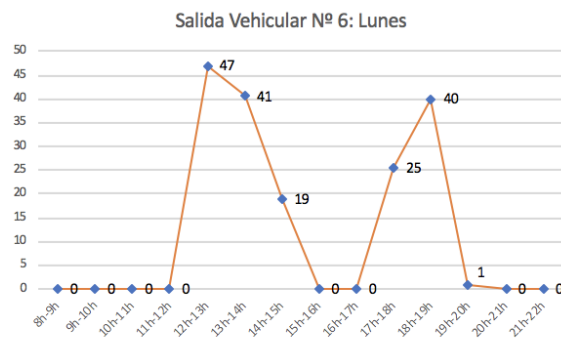


Anexo 2. Funciones de demanda para los equipos de salida









Anexo 3. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso Base

- Días lunes y viernes

		CASO BASE (Lunes - Viernes)				
		Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
Hora		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1, 2 y 6)	6:00 - 7:00	103	-	84	-	
	7:00 - 8:00	88	-	71	-	
	8:00 - 9:00	16	31	22	46	
	9:00 - 10:00	9	25	23	36	
	10:00 - 11:00	9	36	21	52	
	11:00 - 12:00	6	28	20	40	
	12:00 - 13:00	7	30	19	39	
	13:00 - 14:00	27	36	38	43	
	14:00 - 15:00	13	39	22	57	
	15:00 - 16:00	9	26	20	40	
	16:00 - 17:00	4	26	19	49	
	17:00 - 18:00	14	13	24	39	
	18:00 - 19:00	6	26	20	44	
	19:00 - 20:00	3	18	16	47	
	20:00 - 21:00	3	24	18	56	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	199	-	102	-
		7:00 - 8:00	169	-	77	-
		8:00 - 9:00	111	10	105	13
		9:00 - 10:00	144	21	71	34
		10:00 - 11:00	178	29	119	38
11:00 - 12:00		31	73	26	57	
12:00 - 13:00		26	76	25	59	
13:00 - 14:00		43	48	72	41	
14:00 - 15:00		64	15	28	32	
15:00 - 16:00		70	38	37	35	
16:00 - 17:00		165	43	107	33	
17:00 - 18:00		110	43	50	34	
18:00 - 19:00		42	44	25	37	
19:00 - 20:00	32	63	26	43		
20:00 - 21:00	19	58	26	37		

Cra. 122 (Equipo 5)

6:00 - 7:00	6	-	19	-
7:00 - 8:00	5	-	16	-
8:00 - 9:00	2	11	20	13
9:00 - 10:00	3	22	18	33
10:00 - 11:00	1	23	0	19
11:00 - 12:00	2	62	0	36
12:00 - 13:00	3	84	0	62
13:00 - 14:00	3	59	0	43
14:00 - 15:00	2	14	0	10
15:00 - 16:00	2	25	0	15
16:00 - 17:00	1	19	0	29
17:00 - 18:00	3	36	0	15
18:00 - 19:00	3	54	0	39
19:00 - 20:00	2	47	0	24
20:00 - 21:00	3	39	0	14

- Días martes, miércoles y jueves

CASO BASE (Martes - Jueves)

Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
6:00 - 7:00	302	-	172	-
7:00 - 8:00	143	-	104	-
8:00 - 9:00	10	43	22	57
9:00 - 10:00	8	50	19	56
10:00 - 11:00	32	257	54	188
11:00 - 12:00	34	324	108	229
12:00 - 13:00	7	51	19	62
13:00 - 14:00	10	41	19	45
14:00 - 15:00	10	35	20	37
15:00 - 16:00	6	47	20	58
16:00 - 17:00	9	40	20	47
17:00 - 18:00	5	44	19	44
18:00 - 19:00	11	45	20	46
19:00 - 20:00	5	50	18	53
20:00 - 21:00	7	41	24	43

Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)

Cra. 122 (Equipo 3 y 4)

6:00 - 7:00	80	-	40	-
7:00 - 8:00	44	-	26	-
8:00 - 9:00	147	19	80	31
9:00 - 10:00	250	24	169	30
10:00 - 11:00	326	47	237	51
11:00 - 12:00	323	55	272	44
12:00 - 13:00	27	44	26	40
13:00 - 14:00	68	30	29	36
14:00 - 15:00	175	25	104	37
15:00 - 16:00	139	38	77	37
16:00 - 17:00	181	61	106	41
17:00 - 18:00	62	90	32	54
18:00 - 19:00	51	146	34	86
19:00 - 20:00	17	77	27	43
20:00 - 21:00	18	70	27	46

Cra. 122 (Equipo 5)

6:00 - 7:00	5	-	18	-
7:00 - 8:00	6	-	19	-
8:00 - 9:00	5	20	19	13
9:00 - 10:00	5	21	20	13
10:00 - 11:00	2	29	0	29
11:00 - 12:00	2	35	0	24
12:00 - 13:00	2	36	0	35
13:00 - 14:00	2	30	1	37
14:00 - 15:00	1	26	0	19
15:00 - 16:00	1	20	0	14
16:00 - 17:00	1	26	0	13
17:00 - 18:00	3	80	0	50
18:00 - 19:00	3	143	0	70
19:00 - 20:00	3	61	0	23
20:00 - 21:00	3	45	0	20

- Día sábado

CASO BASE (Sábado)					
Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
	Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	4	-	18
	7:00 - 8:00	10	-	20	-
	8:00 - 9:00	11	40	22	46
	9:00 - 10:00	5	58	19	65
	10:00 - 11:00	5	47	19	56
	11:00 - 12:00	5	52	22	52
	12:00 - 13:00	8	65	20	62
	13:00 - 14:00	5	51	18	60
Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	17	-	26	-
	7:00 - 8:00	52	-	37	-
	8:00 - 9:00	198	34	81	32
	9:00 - 10:00	46	35	28	44
	10:00 - 11:00	43	36	26	35
	11:00 - 12:00	1	33	25	33
	12:00 - 13:00	19	47	27	42
	13:00 - 14:00	19	35	24	37
Cra. 122 (Equipo 5)	6:00 - 7:00	3	-	1	-
	7:00 - 8:00	4	-	12	-
	8:00 - 9:00	2	33	19	15
	9:00 - 10:00	2	34	16	17
	10:00 - 11:00	2	32	0	16
	11:00 - 12:00	2	22	0	14
	12:00 - 13:00	2	24	1	16
	13:00 - 14:00	2	25	1	19

Anexo 4. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de aumento del volumen vehicular en un 20%

- Días lunes y viernes

CASO: 120% (Lunes - Viernes)						
	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	124	-	101	-	
	7:00 - 8:00	106	-	85	-	
	8:00 - 9:00	19	37	26	55	
	9:00 - 10:00	11	30	28	43	
	10:00 - 11:00	11	43	25	62	
	11:00 - 12:00	7	34	24	48	
	12:00 - 13:00	8	36	23	47	
	13:00 - 14:00	32	43	46	52	
	14:00 - 15:00	16	47	26	68	
	15:00 - 16:00	11	31	24	48	
	16:00 - 17:00	5	31	23	59	
	17:00 - 18:00	17	16	29	47	
	18:00 - 19:00	7	31	24	53	
	19:00 - 20:00	4	22	19	56	
	20:00 - 21:00	4	29	22	67	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	239	-	122	-
		7:00 - 8:00	203	-	92	-
		8:00 - 9:00	133	12	126	16
		9:00 - 10:00	173	25	85	41
10:00 - 11:00		214	35	143	46	
11:00 - 12:00		37	88	31	68	
12:00 - 13:00		31	91	30	71	
13:00 - 14:00		52	58	86	49	
14:00 - 15:00		77	18	34	38	
15:00 - 16:00		84	46	44	42	
16:00 - 17:00		198	52	128	40	
17:00 - 18:00	132	52	60	41		
18:00 - 19:00	50	53	30	44		
19:00 - 20:00	38	76	31	52		

Cra. 122 (Equipo 5)

20:00 - 21:00	23	70	31	44
6:00 - 7:00	7	-	23	-
7:00 - 8:00	6	-	19	-
8:00 - 9:00	2	13	24	16
9:00 - 10:00	4	26	22	40
10:00 - 11:00	1	28	0	23
11:00 - 12:00	2	74	0	43
12:00 - 13:00	4	101	0	74
13:00 - 14:00	4	71	0	52
14:00 - 15:00	2	17	0	12
15:00 - 16:00	2	30	0	18
16:00 - 17:00	1	23	0	35
17:00 - 18:00	4	43	0	18
18:00 - 19:00	4	65	0	47
19:00 - 20:00	2	56	0	29
20:00 - 21:00	4	47	0	17

- Días martes, miércoles y jueves

CASO: 120% (Martes - Jueves)

Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)

Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)	
	Entrada	Salida	Entrada	Salida
	6:00 - 7:00	362	-	206
7:00 - 8:00	172	-	125	-
8:00 - 9:00	12	52	26	68
9:00 - 10:00	10	60	23	67
10:00 - 11:00	38	308	65	226
11:00 - 12:00	41	389	130	275
12:00 - 13:00	8	61	23	74
13:00 - 14:00	12	49	23	54
14:00 - 15:00	12	42	24	44
15:00 - 16:00	7	56	24	70
16:00 - 17:00	11	48	24	56
17:00 - 18:00	6	53	23	53
18:00 - 19:00	13	54	24	55
19:00 - 20:00	6	60	22	64

Cra. 122 (Equipo 3 y 4)

Cra. 122 (Equipo 5)

20:00 - 21:00	8	49	29	52
6:00 - 7:00	96	-	48	-
7:00 - 8:00	53	-	31	-
8:00 - 9:00	176	23	96	37
9:00 - 10:00	300	29	203	36
10:00 - 11:00	391	56	284	61
11:00 - 12:00	388	66	326	53
12:00 - 13:00	32	53	31	48
13:00 - 14:00	82	36	35	43
14:00 - 15:00	210	30	125	44
15:00 - 16:00	167	46	92	44
16:00 - 17:00	217	73	127	49
17:00 - 18:00	74	108	38	65
18:00 - 19:00	61	175	41	103
19:00 - 20:00	20	92	32	52
20:00 - 21:00	22	84	32	55
6:00 - 7:00	6	-	22	-
7:00 - 8:00	7	-	23	-
8:00 - 9:00	6	24	23	16
9:00 - 10:00	6	25	24	16
10:00 - 11:00	2	35	0	35
11:00 - 12:00	2	42	0	29
12:00 - 13:00	2	43	0	42
13:00 - 14:00	2	36	1	44
14:00 - 15:00	1	31	0	23
15:00 - 16:00	1	24	0	17
16:00 - 17:00	1	31	0	16
17:00 - 18:00	4	96	0	60
18:00 - 19:00	4	172	0	84
19:00 - 20:00	4	73	0	28
20:00 - 21:00	4	54	0	24

- Día sábado

CASO: 120% (sábado)					
	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de espera (Segundos)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
		Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	5	-
	7:00 - 8:00	12	-	24	-
	8:00 - 9:00	13	48	26	55
	9:00 - 10:00	6	70	23	78
	10:00 - 11:00	6	56	23	67
	11:00 - 12:00	6	62	26	62
	12:00 - 13:00	10	78	24	74
	13:00 - 14:00	6	61	22	72
Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	20	-	31	-
	7:00 - 8:00	62	-	44	-
	8:00 - 9:00	238	41	97	38
	9:00 - 10:00	55	42	34	53
	10:00 - 11:00	52	43	31	42
	11:00 - 12:00	1	40	30	40
	12:00 - 13:00	23	56	32	50
	13:00 - 14:00	23	42	29	44
Cra. 122 (Equipo 5)	6:00 - 7:00	4	-	1	-
	7:00 - 8:00	5	-	14	-
	8:00 - 9:00	2	40	23	18
	9:00 - 10:00	2	41	19	20
	10:00 - 11:00	2	38	0	19
	11:00 - 12:00	2	26	0	17
	12:00 - 13:00	2	29	1	19
	13:00 - 14:00	2	30	1	23

Anexo 5. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 conservando el Equipo 6

- Días lunes y viernes

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 conservando el equipo 6 (lunes - viernes)						
Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)			
	Entrada	Salida	Entrada	Salida		
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	13	-	24	-	
	7:00 - 8:00	19	-	25	-	
	8:00 - 9:00	12	39	21	55	
	9:00 - 10:00	10	32	24	43	
	10:00 - 11:00	10	41	22	54	
	11:00 - 12:00	4	47	19	58	
	12:00 - 13:00	6	67	22	65	
	13:00 - 14:00	9	30	22	41	
	14:00 - 15:00	13	30	20	40	
	15:00 - 16:00	8	30	21	43	
	16:00 - 17:00	7	32	19	40	
	17:00 - 18:00	12	27	25	52	
	18:00 - 19:00	5	21	21	37	
	19:00 - 20:00	3	18	18	41	
	20:00 - 21:00	2	21	1	33	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	170	-	102	-
		7:00 - 8:00	137	-	60	-
		8:00 - 9:00	26	16	21	31
		9:00 - 10:00	159	20	81	31
		10:00 - 11:00	179	31	122	40
11:00 - 12:00		25	95	24	56	
12:00 - 13:00		26	61	25	46	
13:00 - 14:00		65	34	34	36	
14:00 - 15:00		142	29	72	42	
15:00 - 16:00		107	40	56	35	
16:00 - 17:00	168	50	109	41		
17:00 - 18:00	58	45	29	33		
18:00 - 19:00	29	44	23	38		

Cra. 122 (Equipo 5)	19:00 - 20:00	34	59	25	40	
	20:00 - 21:00	24	61	26	45	
	6:00 - 7:00	4	-	18	-	
	7:00 - 8:00	4	-	17	-	
	8:00 - 9:00	9	17	19	30	
	9:00 - 10:00	2	22	0	32	
	10:00 - 11:00	1	25	0	21	
	11:00 - 12:00	3	67	0	29	
	12:00 - 13:00	2	60	0	40	
	13:00 - 14:00	2	39	0	37	
	14:00 - 15:00	2	28	0	23	
	15:00 - 16:00	2	26	0	16	
	16:00 - 17:00	2	22	0	31	
	17:00 - 18:00	3	37	0	14	
	18:00 - 19:00	3	45	0	33	
	19:00 - 20:00	2	43	0	20	
	20:00 - 21:00	2	40	0	19	
	Cra. 125	6:00 - 7:00	92	-	379	-
		7:00 - 8:00	188	-	731	-
		8:00 - 9:00	236	15	1523	34
9:00 - 10:00		17	166	29	622	
10:00 - 11:00		31	50	44	201	
11:00 - 12:00		35	15	37	34	
12:00 - 13:00		23	21	28	80	
13:00 - 14:00		40	18	77	43	
14:00 - 15:00		35	29	45	95	
15:00 - 16:00		22	28	29	62	
16:00 - 17:00		18	12	28	33	
17:00 - 18:00		42	27	65	77	
18:00 - 19:00	26	63	35	248		
19:00 - 20:00	14	18	21	48		
20:00 - 21:00	4	8	21	22		

- Días martes, miércoles y jueves

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 conservando el equipo 6 (Martes - Jueves)						
		Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
Hora		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	157	-	86	-	
	7:00 - 8:00	49	-	36	-	
	8:00 - 9:00	14	60	23	59	
	9:00 - 10:00	8	51	19	58	
	10:00 - 11:00	9	145	24	121	
	11:00 - 12:00	5	47	18	63	
	12:00 - 13:00	7	47	19	50	
	13:00 - 14:00	10	39	19	46	
	14:00 - 15:00	7	47	18	45	
	15:00 - 16:00	10	61	22	62	
	16:00 - 17:00	7	45	22	50	
	17:00 - 18:00	7	38	17	39	
	18:00 - 19:00	7	53	20	54	
	19:00 - 20:00	4	31	1	46	
	20:00 - 21:00	8	40	21	46	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	89	-	45	-
		7:00 - 8:00	47	-	27	-
		8:00 - 9:00	53	13	27	13
9:00 - 10:00		232	24	152	31	
10:00 - 11:00		325	46	248	39	
11:00 - 12:00		54	41	28	34	
12:00 - 13:00		25	57	26	47	
13:00 - 14:00		47	27	25	33	
14:00 - 15:00		169	26	101	38	
15:00 - 16:00		153	41	85	35	
16:00 - 17:00		161	60	124	44	
17:00 - 18:00		49	107	28	59	
18:00 - 19:00		38	62	25	40	
19:00 - 20:00		16	85	26	42	
20:00 - 21:00	17	69	27	46		

Cra. 122 (Equipo 5)	6:00 - 7:00	5	-	18	-	
	7:00 - 8:00	6	-	19	-	
	8:00 - 9:00	3	14	19	13	
	9:00 - 10:00	5	21	20	14	
	10:00 - 11:00	1	26	0	19	
	11:00 - 12:00	2	29	0	16	
	12:00 - 13:00	2	57	0	47	
	13:00 - 14:00	2	27	1	35	
	14:00 - 15:00	1	23	0	15	
	15:00 - 16:00	2	27	0	15	
	16:00 - 17:00	1	36	0	19	
	17:00 - 18:00	3	97	0	57	
	18:00 - 19:00	3	71	1	42	
	19:00 - 20:00	3	60	0	20	
	20:00 - 21:00	3	42	0	19	
	Cra 125	6:00 - 7:00	53	-	126	-
		7:00 - 8:00	138	-	468	-
		8:00 - 9:00	14	52	25	238
		9:00 - 10:00	18	18	28	39
		10:00 - 11:00	14	9	24	25
11:00 - 12:00		26	9	33	29	
12:00 - 13:00		16	8	27	35	
13:00 - 14:00		45	14	88	28	
14:00 - 15:00		21	16	30	27	
15:00 - 16:00		16	5	25	22	
16:00 - 17:00		14	11	23	37	
17:00 - 18:00		81	64	173	184	
18:00 - 19:00		183	61	716	249	
19:00 - 20:00	72	193	290	679		
20:00 - 21:00	43	196	180	860		

- Día sábado

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 conservando el equipo 6 (Sábado)						
Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de E (Segundos)			
	Entrada	Salida	Entrada	Salida		
Cañas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	4	-	19	-	
	7:00 - 8:00	21	-	24	-	
	8:00 - 9:00	11	35	21	49	
	9:00 - 10:00	5	41	20	40	
	10:00 - 11:00	5	43	20	55	
	11:00 - 12:00	5	49	18	53	
	12:00 - 13:00	8	70	21	71	
	13:00 - 14:00	6	50	22	58	
	Cra 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	17	-	28	-
		7:00 - 8:00	48	-	27	-
8:00 - 9:00		174	19	89	29	
9:00 - 10:00		47	24	28	30	
10:00 - 11:00		43	35	27	34	
11:00 - 12:00		21	33	25	32	
12:00 - 13:00		15	35	26	35	
13:00 - 14:00		20	35	25	39	
Cra 122 (Equipo 5)	6:00 - 7:00	3	-	1	-	
	7:00 - 8:00	8	-	20	-	
	8:00 - 9:00	7	21	20	31	
	9:00 - 10:00	1	22	0	13	
	10:00 - 11:00	2	31	0	16	
	11:00 - 12:00	2	22	0	13	
	12:00 - 13:00	2	21	1	13	
	13:00 - 14:00	2	25	1	20	
Cra 125	6:00 - 7:00	10	-	23	-	
	7:00 - 8:00	27	-	30	-	
	8:00 - 9:00	35	133	55	445	
	9:00 - 10:00	68	185	172	720	
	10:00 - 11:00	124	184	567	870	
	11:00 - 12:00	137	192	695	845	
	12:00 - 13:00	18	173	22	579	

13:00 - 14:00	15	161	22	735
---------------	----	-----	----	-----

Anexo 6. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 eliminando el Equipo 6

- Días lunes y viernes

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 eliminando el equipo 6 (Lunes - Viernes)					
Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
	Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	39	-	20	-
	7:00 - 8:00	83	-	70	-
	8:00 - 9:00	12	40	19	53
	9:00 - 10:00	8	39	20	55
	10:00 - 11:00	7	31	20	49
	11:00 - 12:00	4	46	19	58
	12:00 - 13:00	6	70	18	63
	13:00 - 14:00	12	34	24	44
	14:00 - 15:00	11	27	21	40
	15:00 - 16:00	9	25	20	38
	16:00 - 17:00	6	27	19	47
	17:00 - 18:00	8	22	23	34
	18:00 - 19:00	5	23	24	49
	19:00 - 20:00	2	20	1	47
20:00 - 21:00	2	21	1	33	
Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	208	-	102	-
	7:00 - 8:00	154	-	69	-
	8:00 - 9:00	27	11	22	12
	9:00 - 10:00	168	13	106	28
	10:00 - 11:00	159	23	99	30
	11:00 - 12:00	26	47	25	33
	12:00 - 13:00	23	50	25	37
	13:00 - 14:00	73	38	34	36
	14:00 - 15:00	94	20	33	29
	15:00 - 16:00	97	39	49	37
16:00 - 17:00	161	71	105	42	

Cra. 122 (Equipo 5)	17:00 - 18:00	98	57	47	45
	18:00 - 19:00	56	49	32	38
	19:00 - 20:00	21	60	23	42
	20:00 - 21:00	24	80	26	48
	6:00 - 7:00	7	-	21	-
	7:00 - 8:00	7	-	19	-
	8:00 - 9:00	5	13	19	12
	9:00 - 10:00	4	12	21	10
	10:00 - 11:00	2	18	1	13
	11:00 - 12:00	3	37	0	15
	12:00 - 13:00	3	52	0	37
	13:00 - 14:00	2	37	0	33
	14:00 - 15:00	1	13	0	10
	15:00 - 16:00	2	21	0	14
	16:00 - 17:00	1	21	0	12
	17:00 - 18:00	2	48	0	40
	18:00 - 19:00	2	55	0	42
	19:00 - 20:00	2	31	0	14
	20:00 - 21:00	3	44	0	17
	Cra. 125	6:00 - 7:00	92	-	379
7:00 - 8:00		188	-	731	-
8:00 - 9:00		20	18	43	60
9:00 - 10:00		17	166	29	622
10:00 - 11:00		31	50	44	201
11:00 - 12:00		27	7	47	27
12:00 - 13:00		20	19	42	55
13:00 - 14:00		32	8	69	33
14:00 - 15:00		20	6	41	25
15:00 - 16:00		13	6	26	24
16:00 - 17:00		14	8	32	31
17:00 - 18:00		12	7	27	24
18:00 - 19:00		19	20	39	50
19:00 - 20:00		11	42	26	178
20:00 - 21:00		4	9	23	27

- Días martes, miércoles y jueves

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 eliminando el equipo 6 (Martes - Jueves)						
Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)			
	Entrada	Salida	Entrada	Salida		
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	215	-	122	-	
	7:00 - 8:00	195	-	130	-	
	8:00 - 9:00	12	48	21	48	
	9:00 - 10:00	11	50	19	59	
	10:00 - 11:00	16	116	26	147	
	11:00 - 12:00	14	182	41	160	
	12:00 - 13:00	11	46	22	65	
	13:00 - 14:00	7	47	18	45	
	14:00 - 15:00	10	61	22	62	
	15:00 - 16:00	7	45	22	50	
	16:00 - 17:00	7	32	19	40	
	17:00 - 18:00	12	27	25	52	
	18:00 - 19:00	5	21	21	37	
	19:00 - 20:00	4	31	1	46	
	20:00 - 21:00	2	21	1	33	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	63	-	31	-
		7:00 - 8:00	46	-	26	-
		8:00 - 9:00	103	14	61	12
		9:00 - 10:00	231	21	151	30
		10:00 - 11:00	328	30	254	34
11:00 - 12:00		297	65	218	52	
12:00 - 13:00		26	34	25	46	
13:00 - 14:00		65	34	34	36	
14:00 - 15:00		142	29	72	42	
15:00 - 16:00		107	40	56	35	
16:00 - 17:00		161	60	124	44	
17:00 - 18:00		49	107	28	59	
18:00 - 19:00		29	44	23	38	
19:00 - 20:00	34	59	25	40		
20:00 - 21:00	17	69	27	46		
Cr a. 12	6:00 - 7:00	7	-	20	-	

Cra. 125

7:00 - 8:00	6	-	18	-
8:00 - 9:00	11	16	20	12
9:00 - 10:00	2	16	17	13
10:00 - 11:00	1	25	0	17
11:00 - 12:00	2	40	0	23
12:00 - 13:00	2	38	0	20
13:00 - 14:00	2	27	0	15
14:00 - 15:00	1	36	0	19
15:00 - 16:00	3	97	0	57
16:00 - 17:00	1	36	0	19
17:00 - 18:00	3	97	0	57
18:00 - 19:00	3	71	1	42
19:00 - 20:00	2	43	0	20
20:00 - 21:00	2	40	0	19
6:00 - 7:00	43	-	76	-
7:00 - 8:00	110	-	354	-
8:00 - 9:00	14	52	27	198
9:00 - 10:00	12	11	26	23
10:00 - 11:00	15	6	37	27
11:00 - 12:00	14	3	33	22
12:00 - 13:00	16	9	28	80
13:00 - 14:00	23	21	28	80
14:00 - 15:00	21	16	30	27
15:00 - 16:00	16	5	22	14
16:00 - 17:00	14	11	65	47
17:00 - 18:00	81	64	130	122
18:00 - 19:00	183	61	540	213
19:00 - 20:00	72	193	222	612
20:00 - 21:00	43	196	132	745

- Día sábado

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 eliminando el equipo 6 (Sábado)					
	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	4	-	19	-
	7:00 - 8:00	21	-	24	-
	8:00 - 9:00	11	35	21	49
	9:00 - 10:00	5	41	20	40
	10:00 - 11:00	6	56	23	67
	11:00 - 12:00	6	62	26	62
	12:00 - 13:00	10	78	24	74
	13:00 - 14:00	6	61	22	72
	Cra. 122 (Equipo 3, 4 y 5)	6:00 - 7:00	17	-	28
7:00 - 8:00		48	-	27	-
8:00 - 9:00		174	19	89	29
9:00 - 10:00		47	24	28	30
10:00 - 11:00		5	47	19	56
11:00 - 12:00		5	52	22	52
12:00 - 13:00		8	65	20	62
13:00 - 14:00		5	51	18	60
Cra. 122 (Equipo 5)		6:00 - 7:00	3	-	1
	7:00 - 8:00	8	-	20	-
	8:00 - 9:00	7	21	20	31
	9:00 - 10:00	1	22	0	13
	10:00 - 11:00	2	38	0	19
	11:00 - 12:00	2	26	0	17
	12:00 - 13:00	2	29	1	19
	13:00 - 14:00	2	30	1	23
	Cra. 125G	6:00 - 7:00	10	-	14
7:00 - 8:00		27	-	22	-
8:00 - 9:00		35	133	41	402
9:00 - 10:00		68	185	154	678
10:00 - 11:00		124	184	578	832
11:00 - 12:00		137	192	565	777
12:00 - 13:00		18	173	19	421

13:00 - 14:00	15	161	13	657
---------------	----	-----	----	-----

Anexo 7. Tiempos de espera y densidad vehicular para el Caso de creación de un punto de acceso sobre la Carrera 125 reemplazando el Equipo 6

- Días lunes y viernes

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 como reemplazo del equipo 6 (Lunes - Viernes)					
	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)	
		Entrada	Salida	Entrada	Salida
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	101	-	81	-
	7:00 - 8:00	85	-	71	-
	8:00 - 9:00	11	41	19	53
	9:00 - 10:00	7	29	24	39
	10:00 - 11:00	8	30	21	49
	11:00 - 12:00	6	32	20	43
	12:00 - 13:00	9	37	17	46
	13:00 - 14:00	17	35	26	44
	14:00 - 15:00	13	28	20	40
	15:00 - 16:00	10	27	21	40
	16:00 - 17:00	9	32	19	40
	17:00 - 18:00	15	13	24	38
	18:00 - 19:00	5	23	22	51
	19:00 - 20:00	2	20	1	47
	20:00 - 21:00	2	21	1	32
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	177	-	80
7:00 - 8:00		143	-	63	-
8:00 - 9:00		27	11	22	12
9:00 - 10:00		182	23	104	35
10:00 - 11:00		157	24	96	30
11:00 - 12:00		29	54	26	36
12:00 - 13:00		18	42	25	37
13:00 - 14:00		87	36	41	37
14:00 - 15:00		134	20	69	30
15:00 - 16:00		60	40	32	36
16:00 - 17:00	165	74	108	50	

Cra. 122 (Equipo 5)	17:00 - 18:00	51	55	25	38
	18:00 - 19:00	55	48	31	38
	19:00 - 20:00	23	65	24	42
	20:00 - 21:00	25	80	26	48
	6:00 - 7:00	5	-	18	-
	7:00 - 8:00	5	-	17	-
	8:00 - 9:00	5	13	19	12
	9:00 - 10:00	2	21	23	17
	10:00 - 11:00	2	19	1	13
	11:00 - 12:00	2	31	0	13
	12:00 - 13:00	2	43	0	35
	13:00 - 14:00	2	42	0	34
	14:00 - 15:00	16	1	0	11
	15:00 - 16:00	2	22	0	13
	16:00 - 17:00	1	23	0	16
	17:00 - 18:00	2	42	0	17
	18:00 - 19:00	2	54	0	20
	19:00 - 20:00	2	31	0	14
	20:00 - 21:00	3	44	0	17
	Cra. 125	6:00 - 7:00	-	-	-
7:00 - 8:00		-	-	-	-
8:00 - 9:00		-	-	-	-
9:00 - 10:00		-	-	-	-
10:00 - 11:00		-	-	-	-
11:00 - 12:00		-	4	-	3
12:00 - 13:00		-	15	-	69
13:00 - 14:00		-	21	-	36
14:00 - 15:00		-	6	-	23
15:00 - 16:00		-	-	-	-
16:00 - 17:00		-	5	-	10
17:00 - 18:00		-	6	-	23
18:00 - 19:00	-	63	-	251	
19:00 - 20:00	-	-	-	-	
20:00 - 21:00	-	-	-	-	

- Días martes, miércoles y jueves

CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 como reemplazo del equipo 6 (Martes - Jueves)

	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	121	-	97	-	
	7:00 - 8:00	102	-	85	-	
	8:00 - 9:00	13	47	23	59	
	9:00 - 10:00	8	33	29	44	
	10:00 - 11:00	10	35	25	55	
	11:00 - 12:00	7	37	24	48	
	12:00 - 13:00	11	43	20	52	
	13:00 - 14:00	20	40	31	49	
	14:00 - 15:00	16	32	24	45	
	15:00 - 16:00	12	31	25	45	
	16:00 - 17:00	11	37	23	45	
	17:00 - 18:00	18	15	29	43	
	18:00 - 19:00	6	26	26	57	
	19:00 - 20:00	2	23	1	53	
	20:00 - 21:00	2	24	1	36	
	Cra. 122 (Equipo 3 y 4)	6:00 - 7:00	195	-	90	-
		7:00 - 8:00	157	-	71	-
		8:00 - 9:00	30	12,2	25	13
		9:00 - 10:00	200	25,5	116	39
		10:00 - 11:00	173	26,6	108	34
11:00 - 12:00		32	59,9	29	40	
12:00 - 13:00		20	46,6	28	41	
13:00 - 14:00		96	40,0	46	41	
14:00 - 15:00		147	22,2	77	34	
15:00 - 16:00		66	44,4	36	40	
16:00 - 17:00		182	82,1	121	56	
17:00 - 18:00		56	61,1	28	43	
Cra. 122 (Equipo 5)	6:00 - 7:00	5	-	19	-	
	7:00 - 8:00	5	-	18	-	
	8:00 - 9:00	5	13	20	13	

Cra. 125

9:00 - 10:00	2	22	24	18
10:00 - 11:00	2	20	1	14
11:00 - 12:00	2	32	0	14
12:00 - 13:00	2	44	0	37
13:00 - 14:00	2	43	0	36
14:00 - 15:00	16	1	0	12
15:00 - 16:00	2	23	0	14
16:00 - 17:00	1	24	0	17
17:00 - 18:00	2	43	0	18
18:00 - 19:00	2	56	0	21
19:00 - 20:00	2	32	0	15
20:00 - 21:00	3	45	0	18
6:00 - 7:00	-	-	-	-
7:00 - 8:00	-	-	-	-
8:00 - 9:00	-	-	-	-
9:00 - 10:00	-	-	-	-
10:00 - 11:00	-	-	-	-
11:00 - 12:00	-	5	-	4
12:00 - 13:00	-	18	-	83
13:00 - 14:00	-	25	-	43
14:00 - 15:00	-	7	-	28
15:00 - 16:00	-	-	-	-
16:00 - 17:00	-	6	-	12
17:00 - 18:00	-	7	-	28
18:00 - 19:00	-	76	-	301
19:00 - 20:00	-	-	-	-
20:00 - 21:00	-	-	-	-

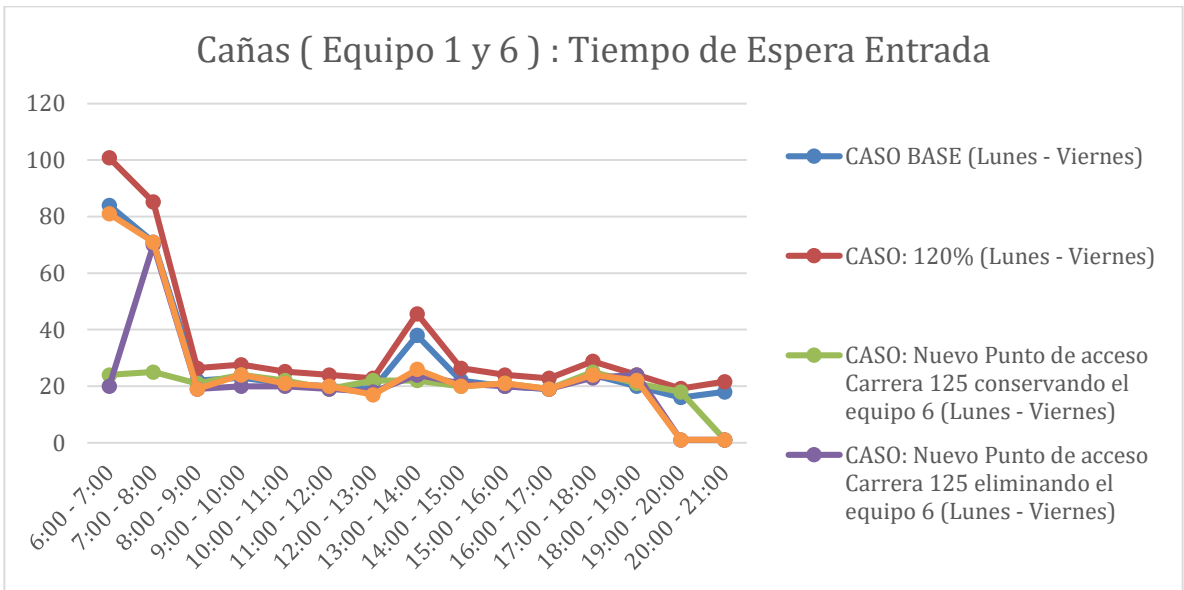
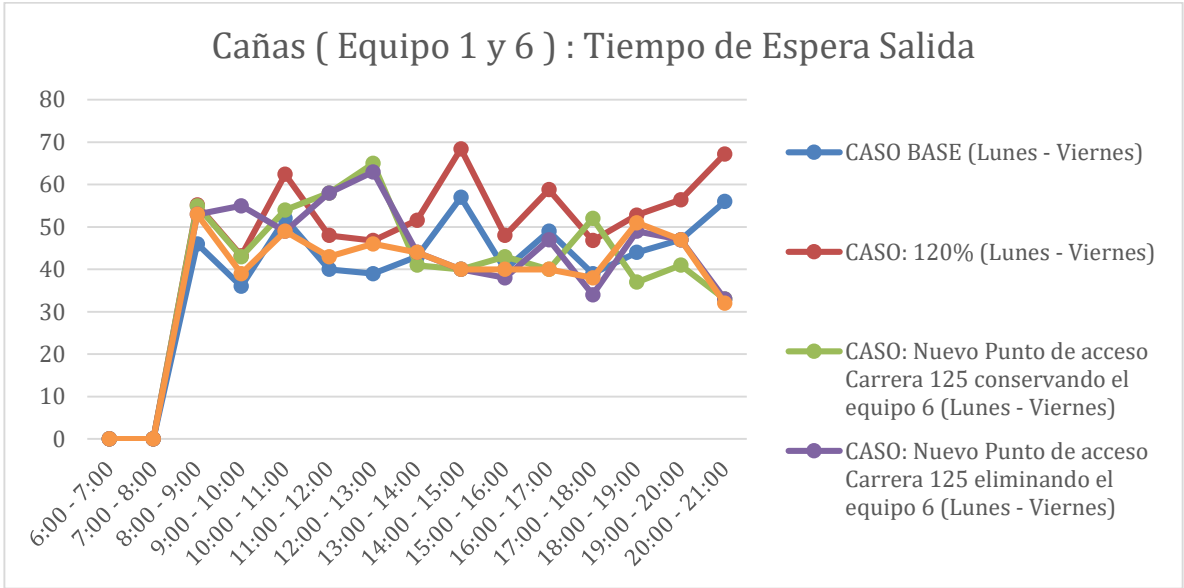
- Día sábado

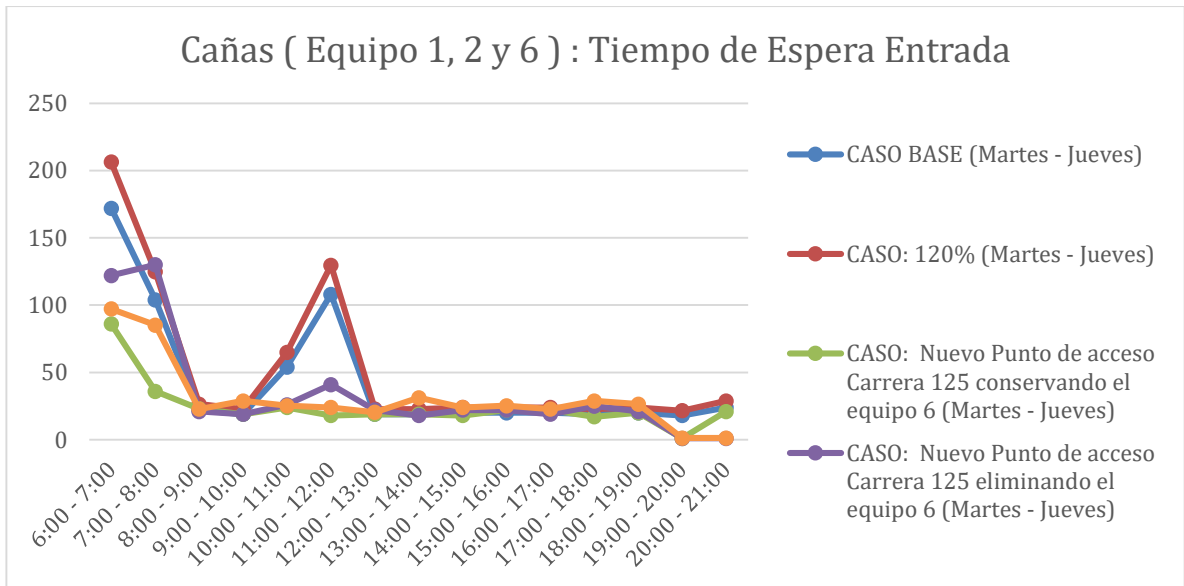
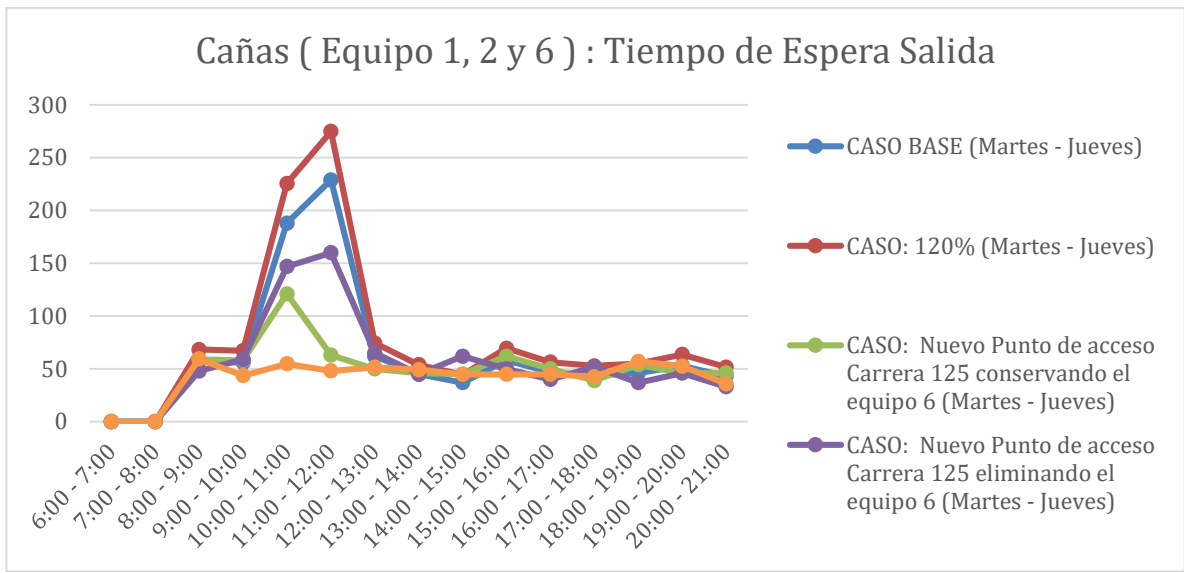
CASO: Nuevo Punto de acceso Carrera 125 como reemplazo del equipo 6 (Sábado)

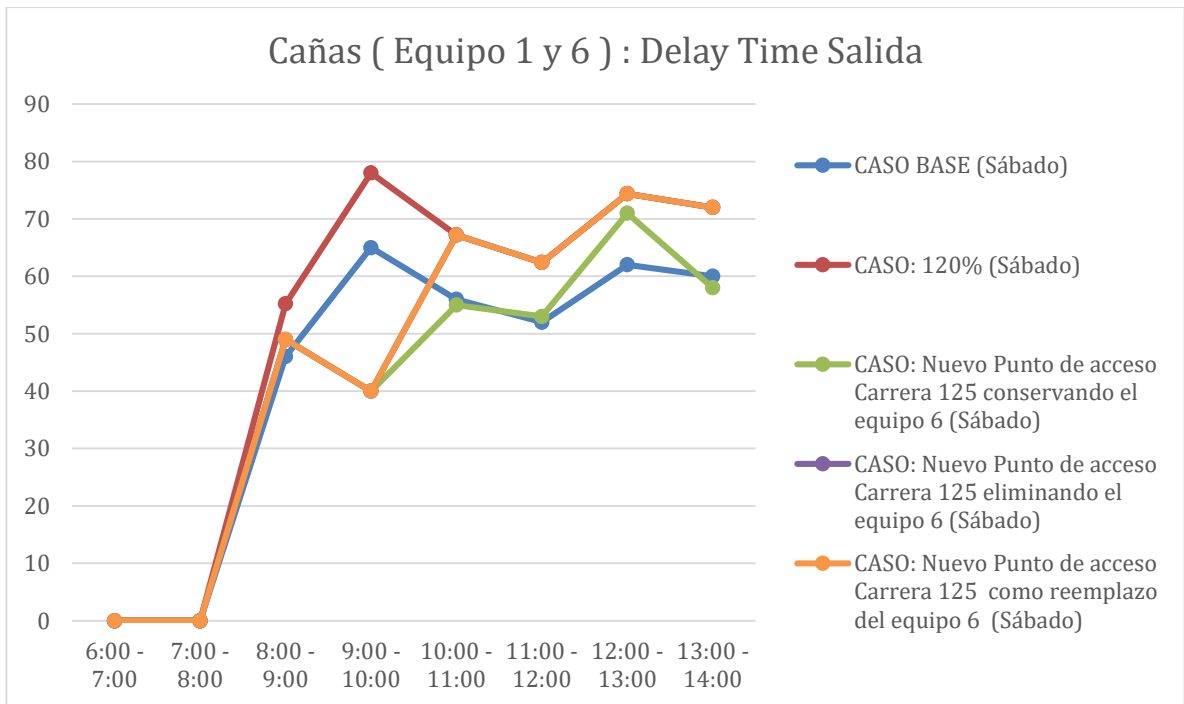
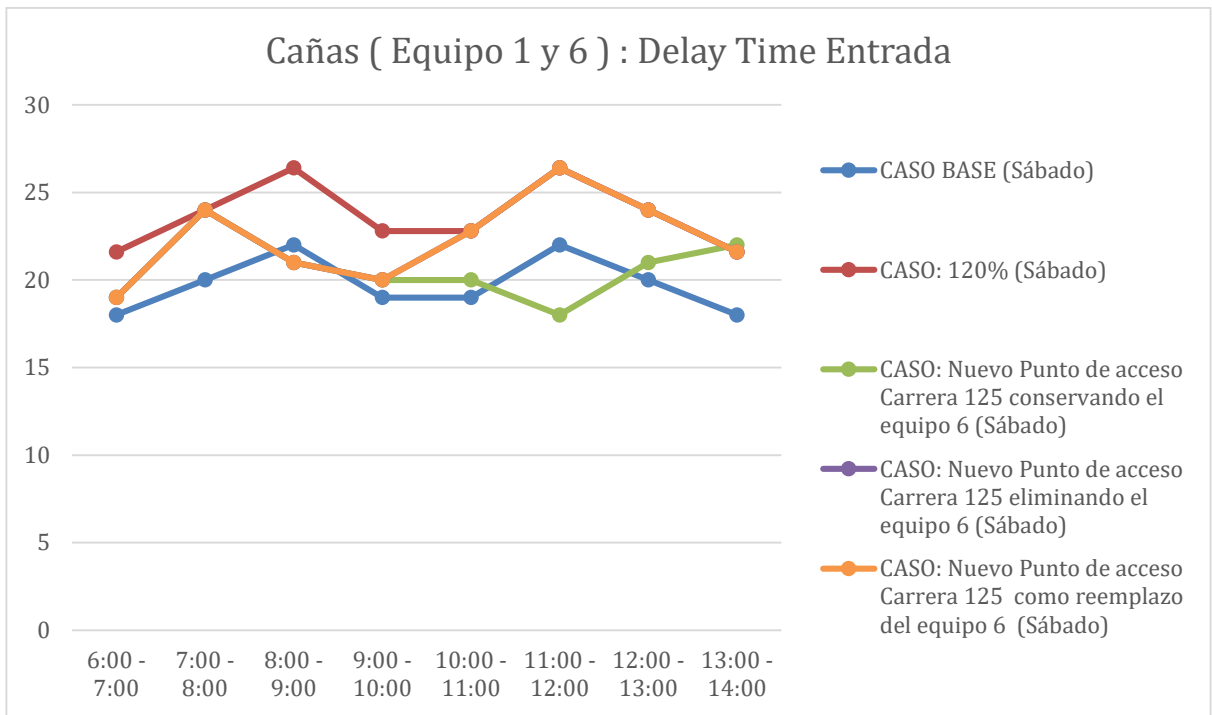
	Hora	Densidad (Vehículos/km)		Tiempo de Espera (Segundos)		
		Entrada	Salida	Entrada	Salida	
Av. Cañasgordas (Equipo 1 y 6)	6:00 - 7:00	4	-	19	-	
	7:00 - 8:00	21	-	24	-	
	8:00 - 9:00	11	35	21	49	
	9:00 - 10:00	5	41	20	40	
	10:00 - 11:00	6	56	23	67	
	11:00 - 12:00	6	62	26	62	
	12:00 - 13:00	10	78	24	74	
	13:00 - 14:00	6	61	22	72	
	Cra. 122 (Equipo 3, 4 y 5)	6:00 - 7:00	17	-	28	-
		7:00 - 8:00	48	-	27	-
8:00 - 9:00		174	19	89	29	
9:00 - 10:00		47	25	28	30	
10:00 - 11:00		43	35	27	34	
11:00 - 12:00		21	33	26	32	
12:00 - 13:00		15	37	30	35	
13:00 - 14:00		20	38	25	39	
Cra. 122 (Equipo 5)		6:00 - 7:00	3	-	1	-
		7:00 - 8:00	8	-	20	-
	8:00 - 9:00	7	21	20	31	
	9:00 - 10:00	1	31	0	28	
	10:00 - 11:00	2	39	0	21	
	11:00 - 12:00	2	32	0	24	
	12:00 - 13:00	2	23	0	23	
	13:00 - 14:00	2	27	0	23	
Cra. 125	6:00 - 7:00	-	-	-	-	
	7:00 - 8:00	-	-	-	-	
	8:00 - 9:00	-	4	-	3	
	9:00 - 10:00	-	-	-	-	
	10:00 - 11:00	-	-	-	-	
	11:00 - 12:00	-	192	-	720	
	12:00 - 13:00	-	173	-	533	

13:00 - 14:00	-	161	-	684
---------------	---	-----	---	-----

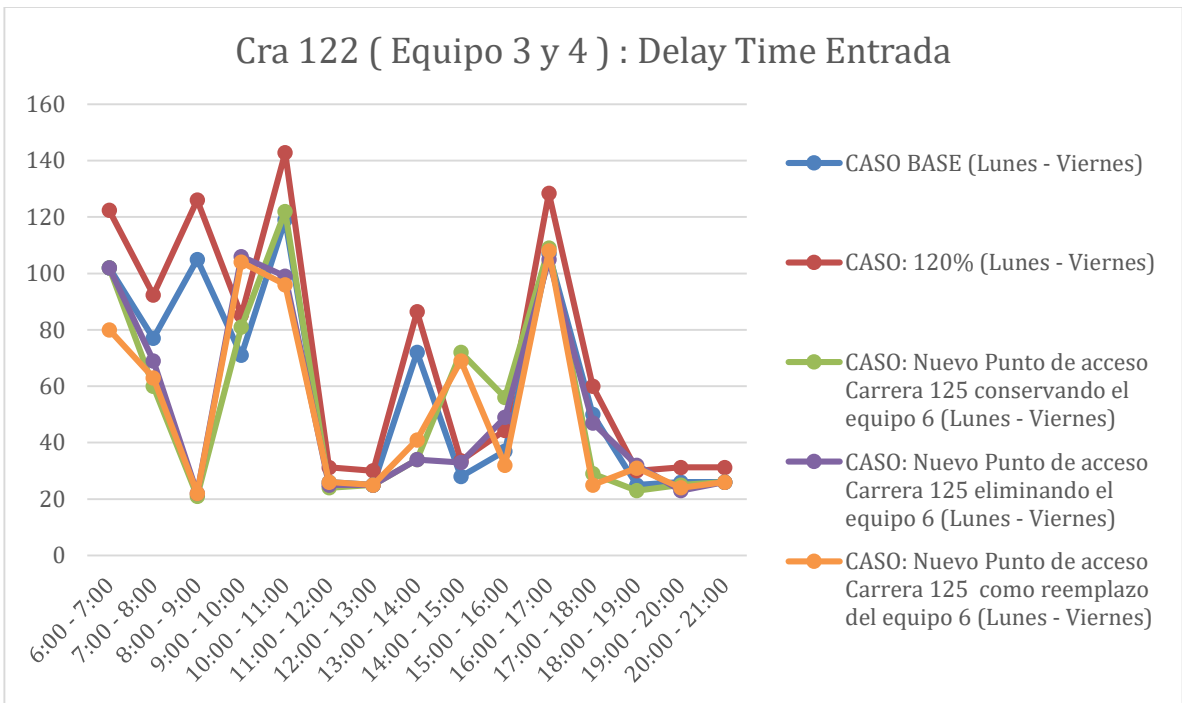
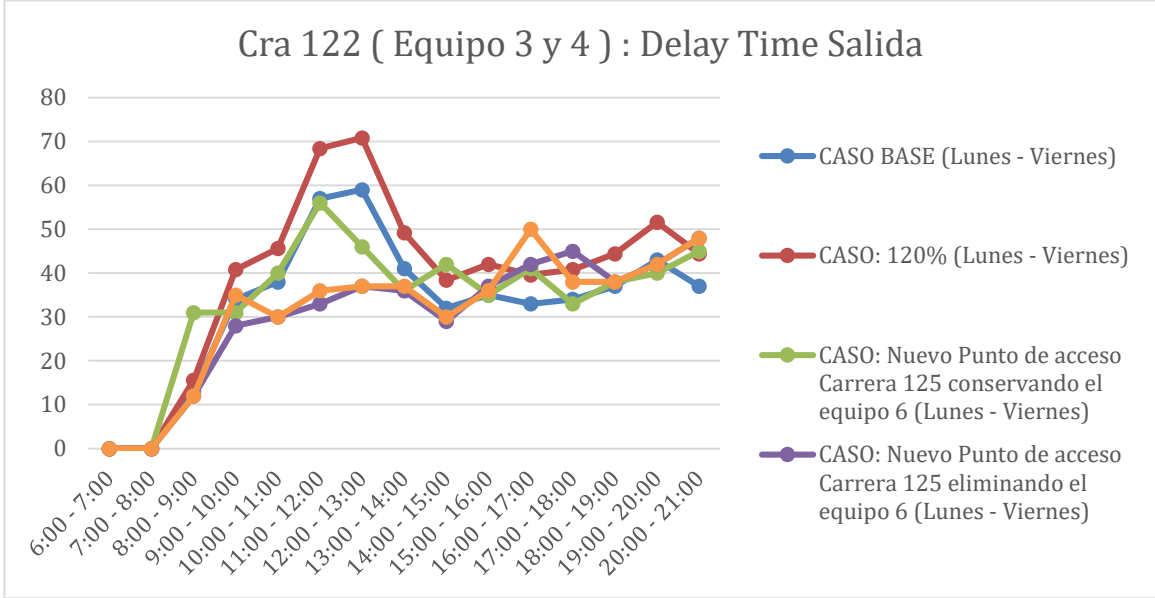
Anexo 8. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para los equipos 1 y 6

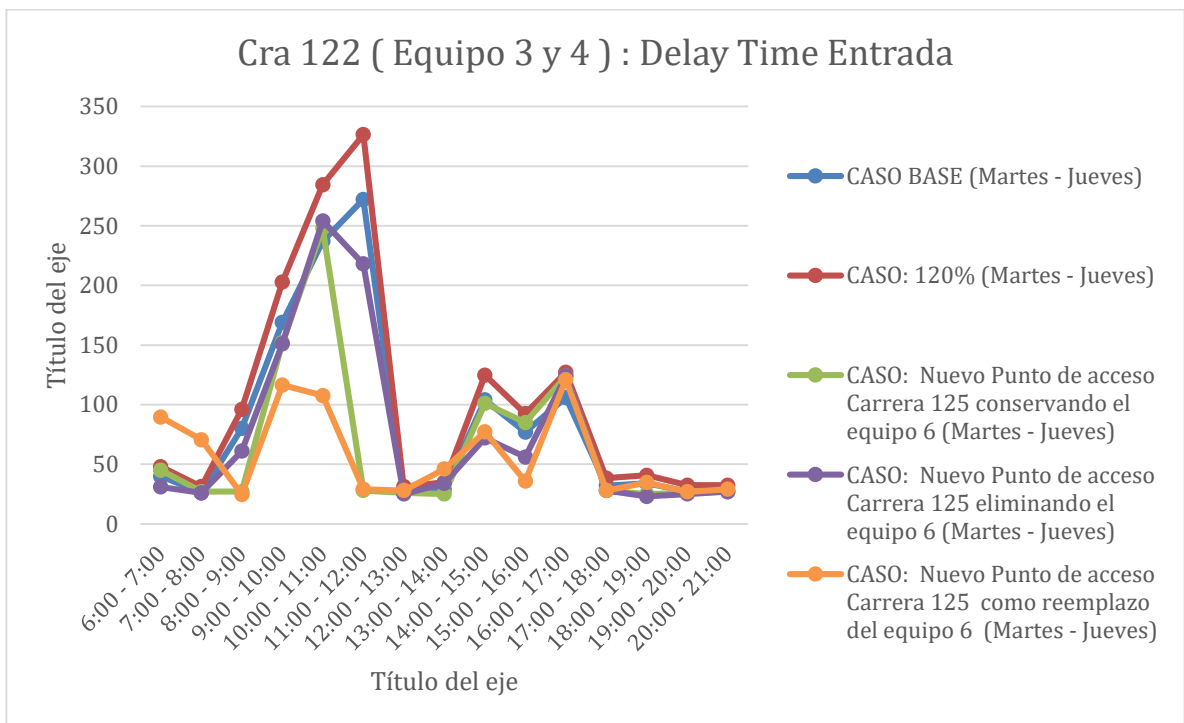
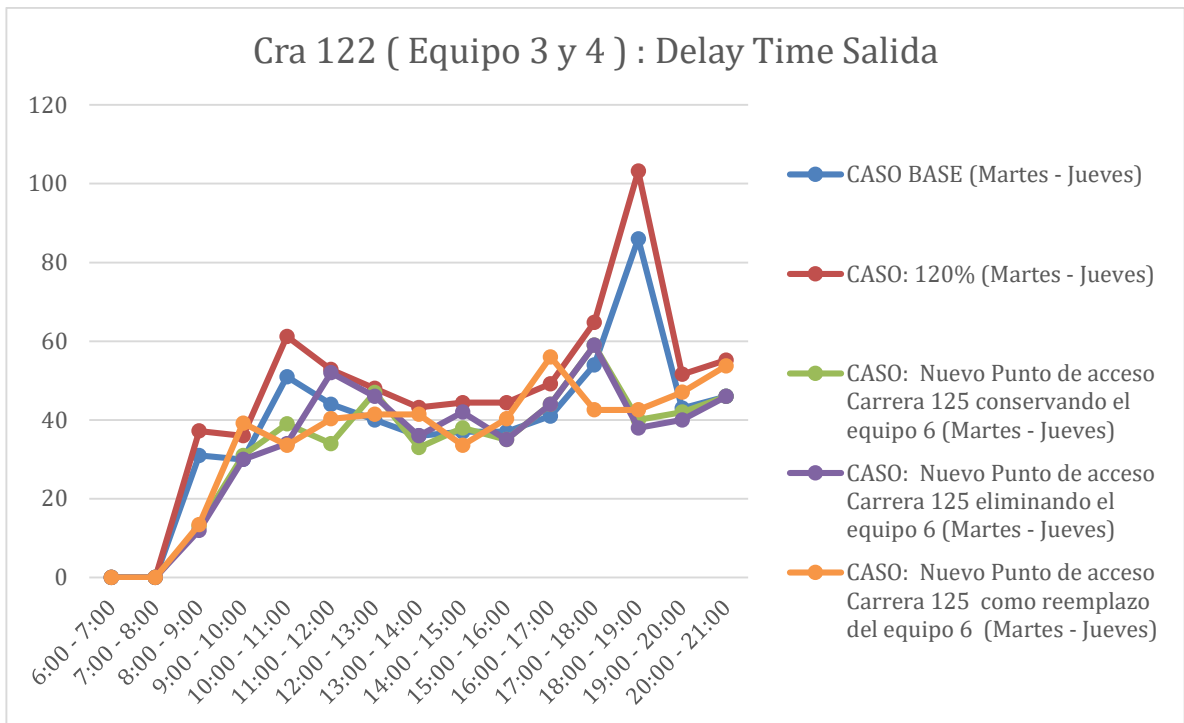


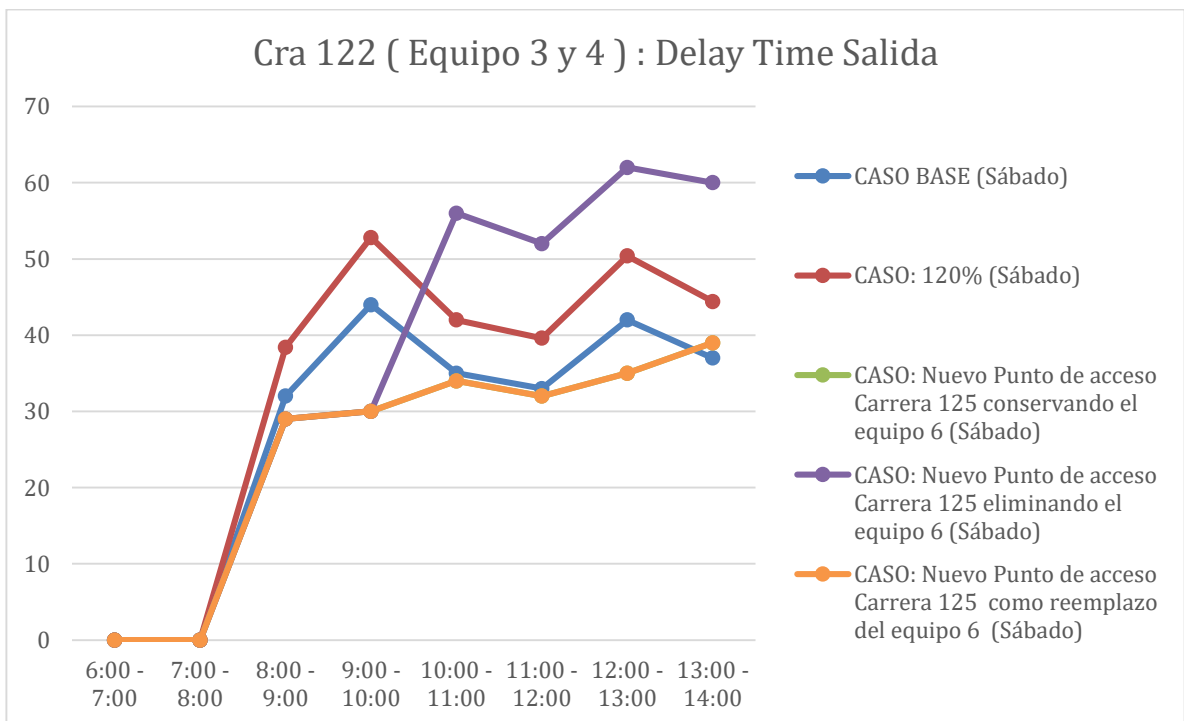
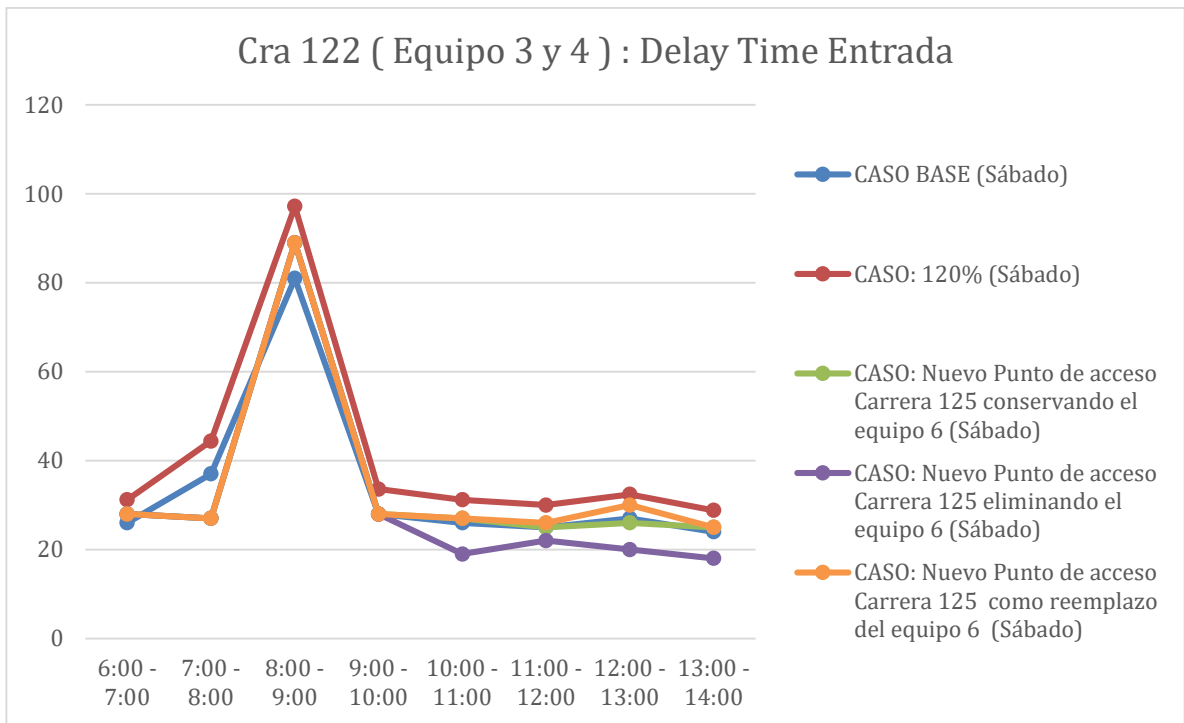




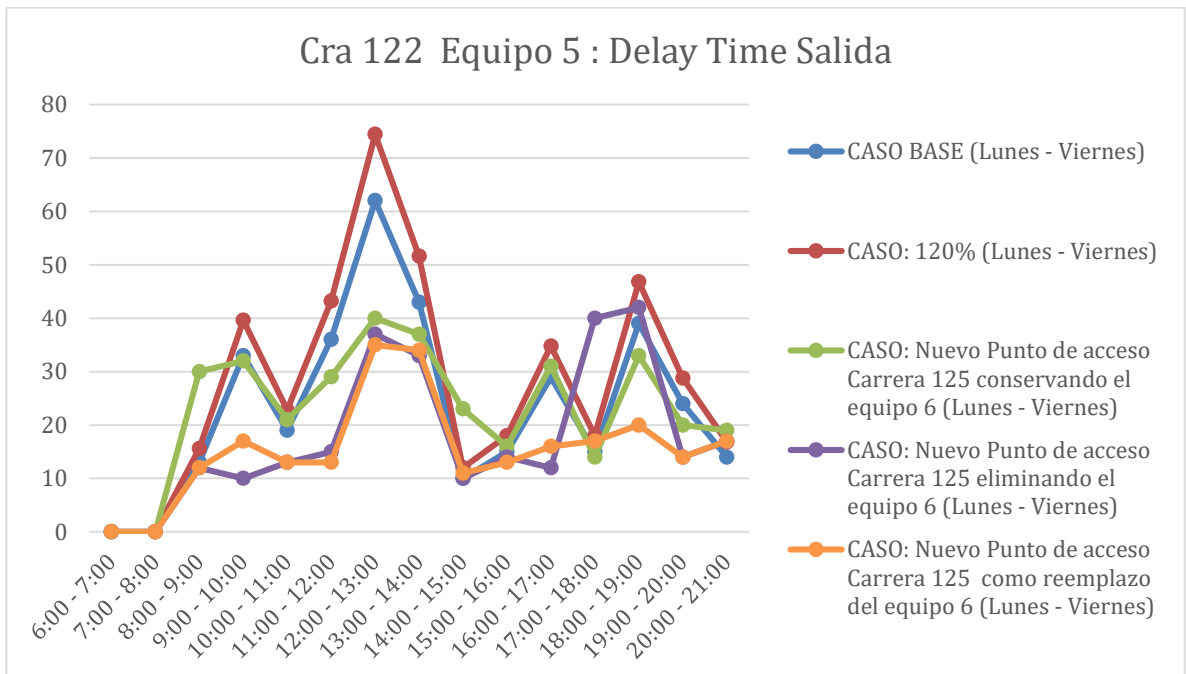
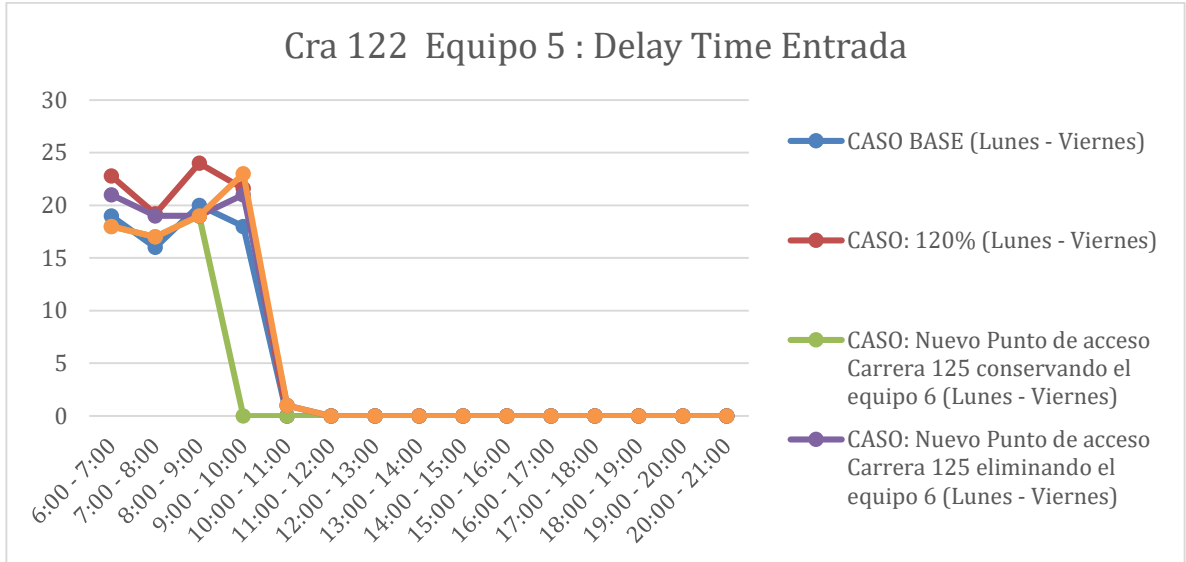
Anexo 9. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para los equipos 3 y 4

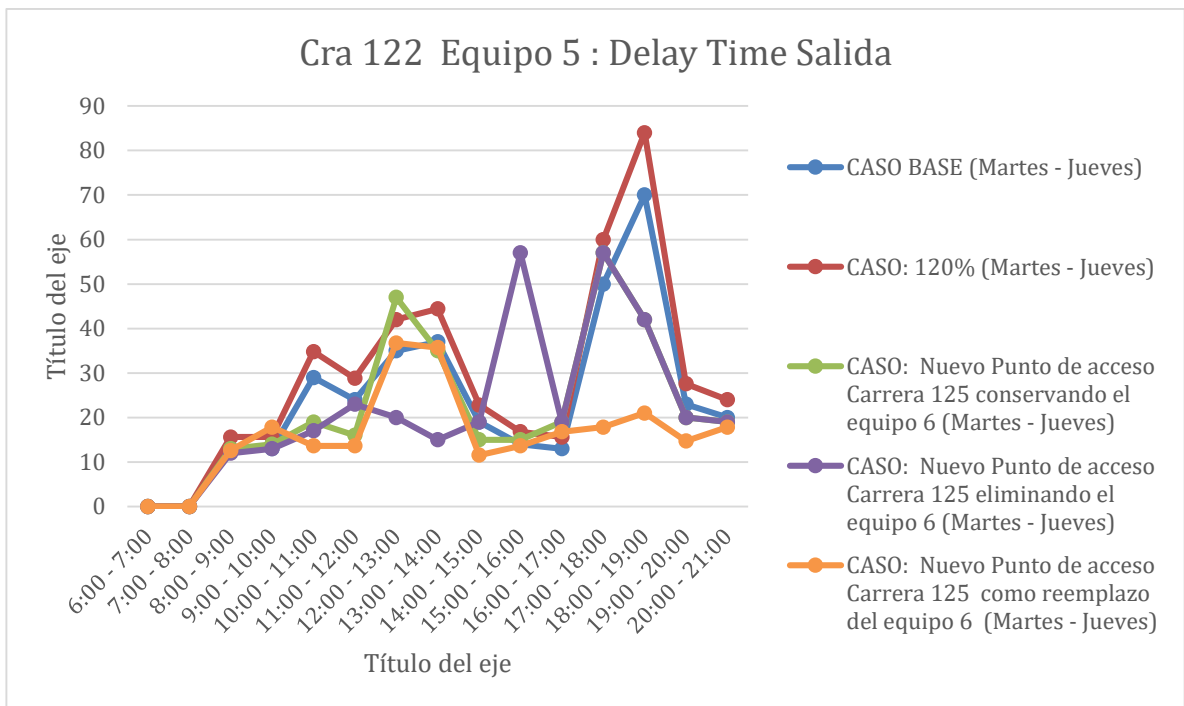
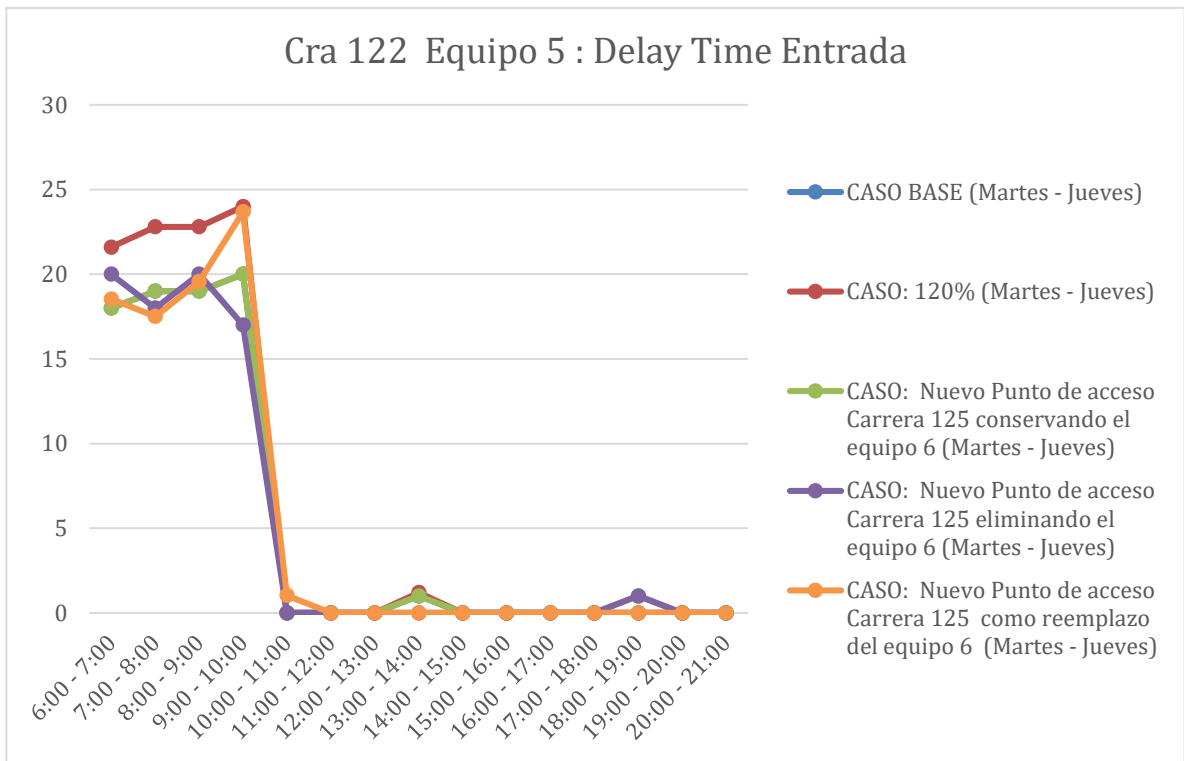


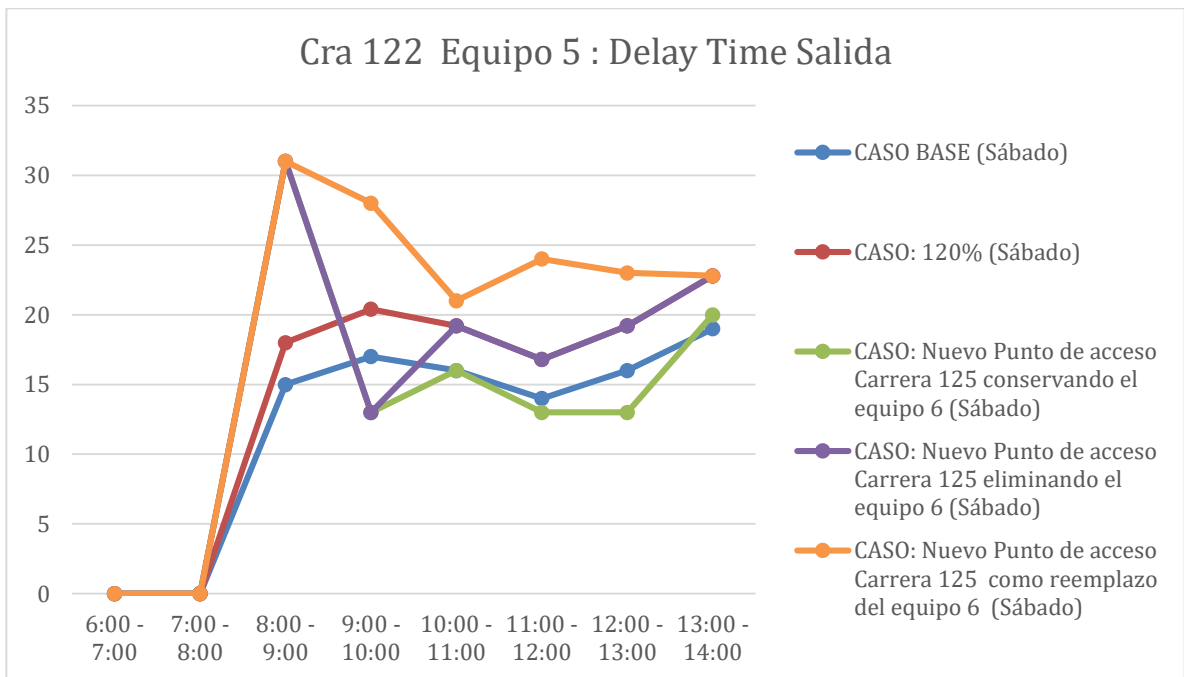
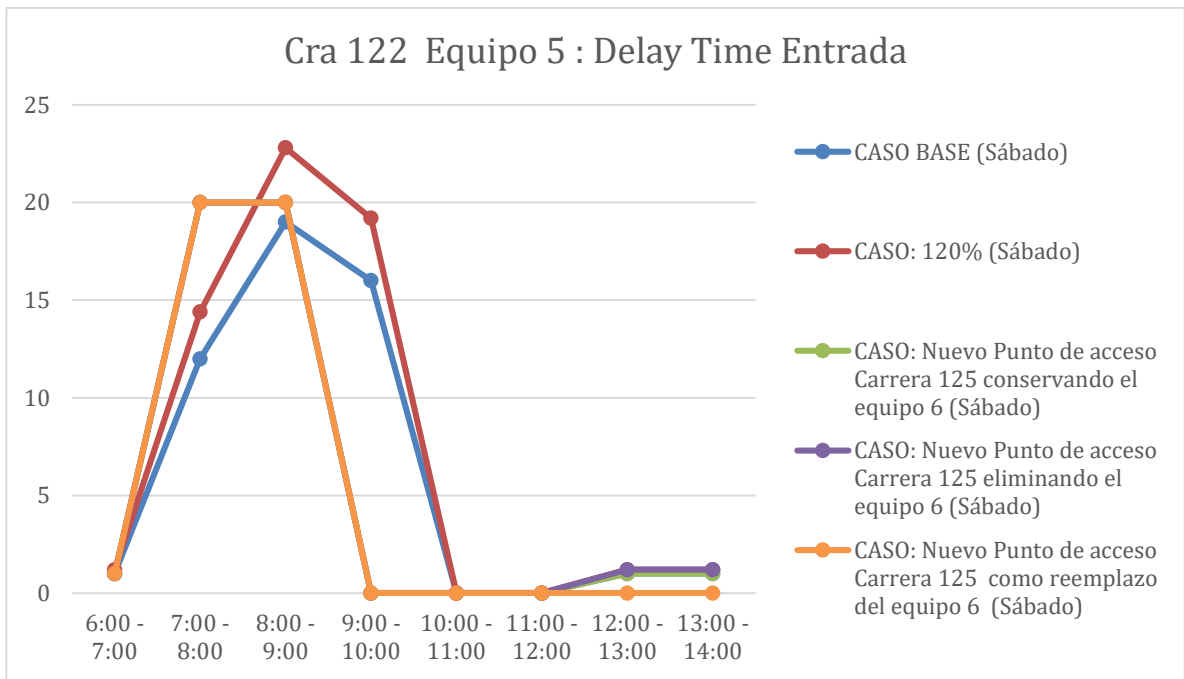




Anexo 10. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para el equipo 5







Anexo 11. Graficas del comportamiento del Tiempo de espera para nuevo punto de acceso sobre la Carrera 125

