

CAPITULO I INTRODUCCIÓN.

1.1. INTRODUCCIÓN.

De acuerdo al movimiento vehicular que circulan por la avenida Víctor Paz Estensoro y Av. Jaime Paz Zamora, se evaluara la capacidad vehicular que pasan por la rotonda, sacando el nivel de servicio de la misma. Será una actividad fundamental para dar los tiempos que regularan la intensidad del tráfico con los semáforos.

La circulación en las rotondas se realiza dejando la isleta central a la mano izquierda del conductor y los vehículos que se encuentran dentro de la calzada circular tienen preferencia sobre los que se incorporan a ella, a pesar de llegar por su derecha.

Para evaluar la capacidad de las rotondas que involucran porcentaje de giros, su número de carriles por ramal de ingreso y salida, obteniendo el nivel de servicio de la misma, vista de la ingeniería de tráfico. Una vez en Funcionamiento suelen presentarse maniobras y conflictos vehiculares producto de cambios de carril, irrespeto a la señales de "ceda el paso" en los accesos, cambios de destino repentinos durante la circulación en el anillo central entre otras situaciones de riesgo.

Cuando una rotonda no funciona bien, ya sea por exceso de intensidad de circulación o por un reparto desequilibrado entre sus entradas, puede aliviarse el problema con semáforos (con funcionamiento continuo o a tiempo parcial) en alguna de sus entradas, o en todas ellas.

Un semáforo asigna un tiempo a los movimientos del tránsito, en la cual se asignan el tiempo de fase significativamente en la viabilidad de la rotonda con la capacidad de la misma y de sus accesos

La avenida Víctor Paz Estensoro y Av. Jaime Paz Zamora, es una triple vía desde el puente San Martín hasta la zona del Aeropuerto que sus intersecciones son las rotondas que están lo largo de la misma. Se realizara la evaluación de la capacidad y semaforización para mejorar la circulación; donde se planteara solución para mejorar el congestionamiento.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

El presente trabajo permitirá conocer la capacidad vehicular y semaforización en la circulación de rotondas de la intersección, que permite conectar los accesos y salidas que conforman el área de influencia directa, brindando un mejoramiento al nivel de servicio, perfeccionando el ciclo de los tiempos de acuerdo al nivel de demanda de flujo vehicular, peatonal y diseño de la interacción de recorrido y espera.

Para iniciar los datos generados durante el desarrollo de la investigación, permitirán conocer cuál es el estado actual del sistema de tránsito de la intersección objeto de estudio. Esto es importante ya que se dan a conocer cuáles son los problemas en base a información real y objetiva, permitiendo además plantear solución que permitan mejorar el tránsito y la calidad de vida de las personas que viven o realizan sus actividades cotidianas en la zona, garantizando transitabilidad del flujo vehicular.

La congestión vehicular en las rotondas y las fases del tiempo del semáforo son las causas del trabajo, que busca dar alternativas de solución ala demoras para los conflictos de los tramos en estudio. El aporte será él informe del estado actual de la rotonda.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

1.3.1. SITUACIÓN PROBLÉMICA

La existencia de usuarios que circulan en distintas direcciones en las rotondas genera conflictos entre ellos que deben ser regulados para mantener niveles aceptables de volumen vehicular y seguridad de tránsito

La capacidad vehicular es otro factor determinante en la evaluación de las rotondas con semáforos. La capacidad de la rotonda corresponde a sus accesos y se representa por el número máximo de vehículos de una cierta corriente vehicular que pueden atravesar una sección de vía por unidad de tiempo, en las condiciones prevalecientes de circulación.

Lo que afecta en la capacidad se debe a las siguientes condiciones de circulación que marcan un nivel de servicio de fasto:

- Tipo de vehículos que circulan por la avenida.
- Maniobras que realizan los vehículos.
- Características geométricas de la vía: pendiente, ancho de pista.
- Proporción de vehículos pesados en la avenida.
- Período del día.

La semaforización de una rotonda vista como la única o más efectiva alternativa para enfrentar problemas de congestión o seguridad de tránsito donde los tiempos de ciclos son efectivos de acuerdo con la capacidad para no generar la aglomeración vehicular, Es importante entonces conocer las desventajas que tienen las rotondas semaforizadas que afectan los tiempos de fase.

- Incremento de colisiones de vehículos en la misma dirección de circulación.
- Incremento de demoras y detenciones de los usuarios de la vía prioritaria, independiente de los niveles de flujo existentes en la vía secundaria o prioritaria.
- Incremento, en la mayoría de los casos, de las demoras totales de conductores, pasajeros y peatones, este incremento es mayor en la medida

en que la programación del semáforo no es la óptima y los niveles de demanda son bajos.

1.3.2 DETERMINACIÓN DEL PROBLEMA

¿A partir del análisis y determinación de las rotondas podremos evaluar el actual sistema de semaforización con sus tiempos ciclo y fases y plantear correcciones para una mejor circulación?

1.4. OBJETIVOS DE PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. OBJETIVO GENERAL.

Realizar la evaluación de la capacidad y semaforización de rotondas en tramo "Puente San Martín hasta Tres Pasos al Frente zona Aeropuerto", considerando el aspecto técnico y operacional de cada rotonda, de manera que se optimicen los tiempos de ciclo y fase que mejoren la capacidad y nivel de servicio.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.

- Se analizará todos los conceptos, fundamentación y metodología sobre la capacidad vehicular, nivel de servicio y semaforización
- Describir las características geométricas y operativas de las rotondas desde puente San Martín hasta tres pasos al frente zona aeropuerto.
- Realizar los aforos de los volúmenes de tráfico en el acceso de las rotondas de estudio.
- Realizar los aforos de las velocidades en el acceso de las rotondas de estudio.
- Determinar la capacidad actual y semaforización de cada una de las rotondas en estudio.
- En función de los datos obtenidos se plantearán las conclusiones y recomendaciones.
- Establecer la propuesta nueva para la semaforización con un nivel de servicio aceptable en las rotondas de estudio

1.5. HIPÓTESIS

Si optimizamos los tiempos de ciclo y fase de los semáforos en el tramo puente San Martín hasta la Zona Aeropuerto, entonces lograremos aumentar la capacidad y el nivel de servicio en las rotondas de estudio?

1.5.1. DEFINICIÓN DE VARIABLES CONCEPTUALES Y OPERACIONALES

VARIABLE DEPENDIENTE

Capacidad y tiempo de fase

VARIABLE INDEPENDIENTE

Flujo de vehicular

- VARIABLE INDEPENDIENTE

CONCEPTUALIZACIÓN

FLUJO VEHICULAR

Es el movimiento de vehículos que circulan por una calle o avenida que varía de acuerdo a la cantidad de muestra para generar un congestionamiento.

OPERACIONALIDAD

variable	dimensión	indicador	valor
Flujo vehicular	Volumen	Vehículo por hora	50-100 veh/hr

- VARIABLE DEPENDIENTE

CONCEPTUALIZACIÓN

CAPACIDAD VEHICULAR

Es el número máximo de vehículos que pasan por un punto dado y en tiempo determinado.

OPERACIONALIDAD

variable	dimensión	indicador	valor
capacidad vehicular	Nivel de servicio	Vehículo	A,B,C,D,E
	Tiempo de fase	Tiempo	Segundos

CONCEPTUALIZACIÓN

SEMAFORIZACION

Es una actividad fundamental para dar paso entre peatón y vehículo dando tiempos que regulan la intensidad del tráfico en una intersección.

OPERACIONALIDAD

variable	dimensión	indicador	valor
Semaforización	Tiempos de fase	Segundos	10-120 segundos

1.6. DISEÑO METODOLÓGICO.

1.6.1. UNIDADES DE ESTUDIO

Las unidades de estudio son las siguientes:

1.6.2. UNIDAD DE ESTUDIO

En este trabajo la unidad de estudio es la capacidad vehicular y semaforización.

1.6.3. POBLACIÓN

La población es la capacidad, nivel de servicio y semaforización.

1.6.4. MUESTRA

La muestra son las rotondas desde el tramo puente San Martín hasta la Zona Aeropuerto.

1.6.5. MUESTREO

Son los accesos de las rotondas del tramo donde se medirá volumen, velocidades, tiempos de ciclo y tiempo de fase.

1.7. MÉTODOS Y TÉCNICAS EMPLEADAS.

Inductivo y deductivo

1.7.1. MÉTODOS

METODOLOGÍA.

Se presenta el esquema de la metodología a utilizar para la elaboración del presente trabajo, constara con los pasos fundamentales, los cuales son:

Paso 1: Recolección de información sobre capacidad vehicular y semaforización con el propósito de generar un marco teórico; ya que será mediante la norma boliviana aastho y el manual de capacidad de Estados Unidos 1998, recolección de información primaria en campo, para ser si las rotondas cuentan con estacionamiento, paradas antes y después de las mismas

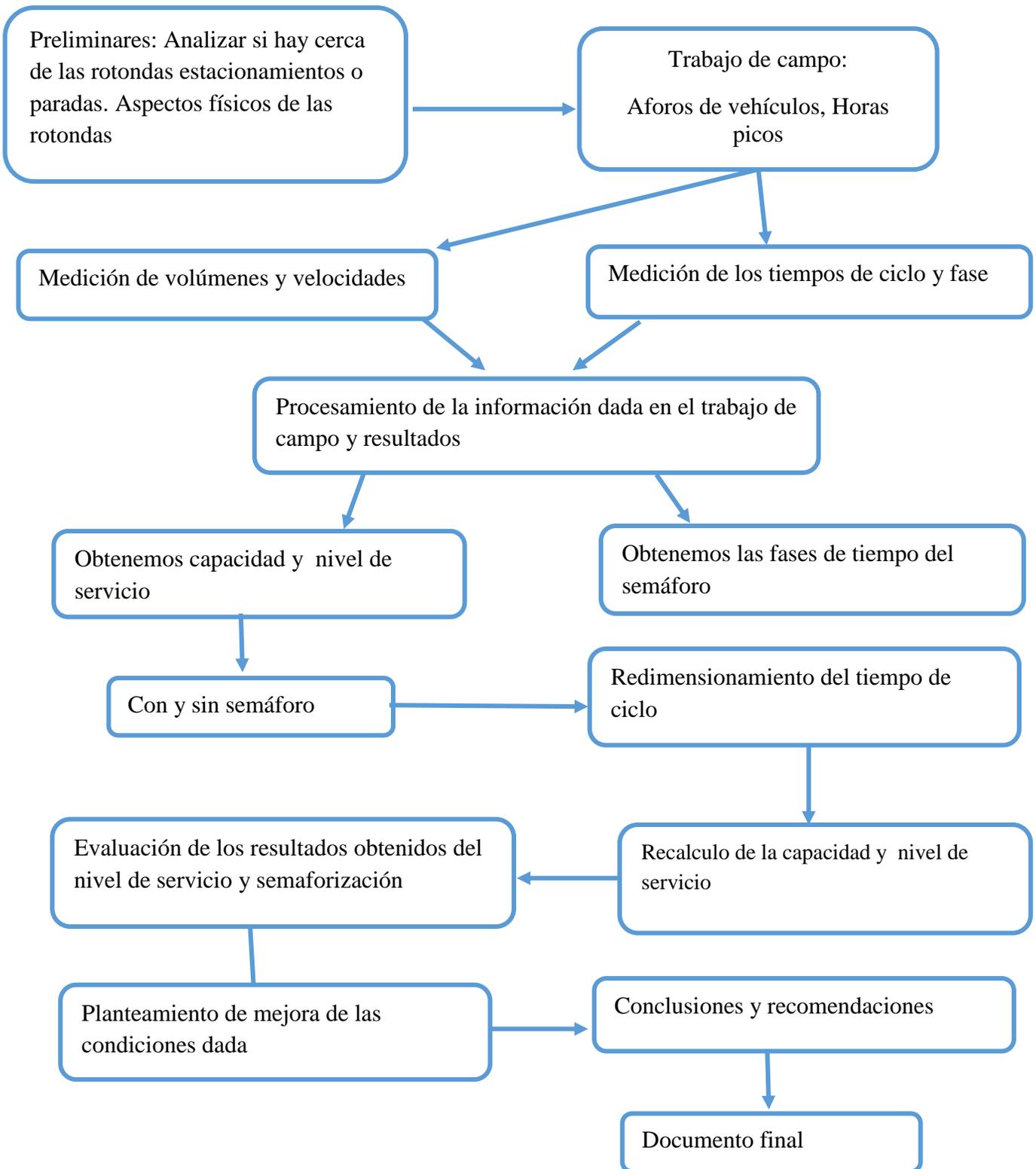
Pasó 2: El trabajo en campo a realizar aforos con los siguientes puntos:

- Sacar las horas pico que se realizará desde las 7 de am hasta 7 pm porque son las 12 horas de mayor circulación.
- Teniendo la hora pico se realizara aforo en las tres horas pico en tres días de la semana dos días hábiles y un día no hábil (fin de semana).
- El aforo se realizara durante un mes.
- Se medirán los tiempos de ciclo y fases en las rotondas de estudio para cada acceso.

Paso 3: Teniendo los datos de campo se procede a realizar el trabajo de gabinete donde sacamos la capacidad nivel de servicio.

Paso 4: Finalmente se realizara la evaluación de los resultados y se planteara soluciones para optimizar la semaforización, capacidad vehicular y nivel de servicio.

ESQUEMA DE LA METODOLOGÍA



1.7.2. TÉCNICAS

Las técnicas usadas son:

- Aforos y mediciones
- Trabajo en gabinete

1.7.3. PROCEDIMIENTO PARA EL ANÁLISIS Y LA INTERPRETACIÓN DE LA INFORMACIÓN.

1.7.3.1. TRATAMIENTO DE LOS DATOS (EMPLEO DE LA ESTADÍSTICA).

Esta investigación tiene un carácter probabilístico, ya que se realizara un mes de aforo, el cual nos proporcionara una serie de datos que tendrán que ser analizados posteriormente, por lo tanto realizaremos un análisis descriptivo ya que tendremos un conjunto de datos que serán analizados.

Contaremos con un conjunto de datos N (datos que representan a la población, que en este caso la capacidad, nivel de servicio y semaforización.), y otro conjunto de datos n (datos que representan la muestra, son las rotondas desde el tramo puente San Martín hasta la zona Aeropuerto), que serán evaluador para tener mejor resultado.

Se realizaran medidas de depuración, las cuales nos indicaran los datos que se dispararon o por algún motivo salieron fuera del rango, a partir de las cuales encontraremos la media y la desviación estándar.

Media
$$x = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación típica

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x)^2}{n}}$$

Utilizaremos las medidas de posición como la media aritmética y así también como la desviación media para hacer la depuración correspondiente.

1.7.3.2. APLICACIÓN DE INSTRUMENTOS Y EQUIPOS.

- Se realizara el aforo manual para la obtención de los datos.
- Se contara con una planilla para el aforo.
- cronometro para sacar el tiempo con la formula $v=d/t$.
- Cinta métrica para medir el ancho del carril.
- Estación total y accesorios.

1.7.4. ALCANCE DEL ESTUDIO DE APLICACIÓN

En este espacio se explicara el alcance que tendrá el proyecto y que pretende conseguir en cada capítulo.

El trabajo está basado en sacar los aforos en las rotondas que estarán basados en porcentaje de giros, porcentaje de vehículo pesado, porcentaje de vehículo liviano, ancho del carril para sacar la capacidad vehicular y plantear el nivel de servicio. Para sacar los tiempos de fase del semáforo se obtendrá la velocidad de punto y el volumen de vehículos.

Con los resultados obtenidos de evaluación y se sacara un alternativa mejor a la empleada que, será de acuerdo a un análisis minucioso. Ya que el objetivo es mejorar la circulación de la avenida.

La investigación “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y SEMAFORIZACIÓN DE ROTONDAS CON EL FLUJO DE TRÁFICO – PUENTE SAN MARTIN HASTA TRES PASOS AL FRENTE ZONA AEROPUERTO” abarca lo siguiente:

- ✚ Obtener toda la información necesaria teórica de acuerdo a las normas sobre la capacidad, nivel de servicio y semaforización.
- ✚ Realizar las aforaciones y mediciones correspondientes.
- ✚ Realizar el análisis de datos para empezar a trabajar en el gabinete.
- ✚ Analizar e interpretar los resultados de la capacidad y nivel de servicio como también de la semaforización.

- ✚ Proporcionar una posible solución a los problemas de las demoras del tiempo de fase del semáforo.

- ✚ Dar a conocer las conclusiones y recomendaciones.

El alcance del presente proyecto de grado “EVALUACIÓN DE LA CAPACIDAD Y SEMAFORIZACIÓN DE ROTONDAS CON EL FLUJO DE TRÁFICO –PUENTE SAN MARTIN HASTA TRES PASOS AL FRENTE ZONA AEROPUERTO” tiene como fin establecer soluciones apropiadas al problema basados en los resultados dados.

Se pretende dar una breve introducción de antecedentes, y se describirá los objetivos que se quiere alcanzar con la realización del tema planteado, se plantea de manera clara el diseño teórico de este proyecto justificando la necesidad de realizar este estudio.

Se reunirá la información necesaria de acuerdo a las normas planteadas para este proyecto.

Se explicara detalladamente los conceptos fundamentales de capacidad vehicular, nivel de servicio y semaforización en rotondas y los factores que componen el de estudio.

También abarcará el tipo de aforación que se presente realizar explicando los procedimientos que se desea seguir y las técnicas a realizar de acuerdo al diseño metodológico planteado.

Se empezara a realizar la aforación, mediciones de los volúmenes y velocidades como también de los tiempo ciclos y fases en las distintas rotondas a lo largo de la avenida para luego realizar la determinación de la capacidad, nivel de servicio con y sin semáforos planteando la optimización de la semaforización para luego sacar realizar un redimensionamiento y un recalcu de la capacidad vehicula y nivel de servicio para sacar un análisis de resultado.

Para esta última parte se darán las conclusiones y recomendaciones necesarias sobre este estudio esperando que este trabajo aporte de manera mostrando la posible alternativa que se planteara

CAPITULO II FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.

2.1. CARACTERÍSTICAS DEL TRÁNSITO

El ingeniero vial debe conocer las características del tránsito, ya que esto le será útil durante el desarrollo de proyectos viales y planes de transporte, en el análisis del comportamiento económico, en el establecimiento de criterios de diseño, en la selección e implantación de medidas de control de tránsito y en la evaluación del desempeño de las instalaciones de transporte.

2.2. ELEMENTOS DEL TRÁNSITO

Existen 3 elementos básicos que componen la Ingeniería de tráfico que son:

- El Usuario.
- El Vehículo.
- La Vía o Vialidad.

2.3. PARÁMETROS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.3.1. VELOCIDAD (v)

Se define la velocidad como el espacio recorrido en un determinado tiempo. Cuando la velocidad es constante queda definida como una función lineal de la distancia y el tiempo, siendo su fórmula:

$$v = d/t$$

Ecuación N°1

Donde:

v = velocidad constante (km/h)

d = distancia recorrida (km)

t = tiempo de recorrido (h)

2.3.1.1. VELOCIDAD DE PUNTO

Se define como velocidad de punto a aquella que se obtiene en una sección de carretera o calle cuyo intervalo de distancia está previamente definido siendo usual la utilización de distancias de 50, 75 y 100 metros. La característica fundamental de este tipo de velocidad es que las distancias definidas toman al

vehículo que va a recorrerla en un flujo libre sin interferencias de demoras. La determinación de velocidades de punto dentro del estudio de Ing. De Tráfico nos permite definir las velocidades medias de circulación en zonas urbanas y las velocidades de circulación en carreteras.

2.3.2. VOLUMEN

Se define como volumen de tráfico a la cantidad de vehículos que circulan en definida de una carretera o calle en un periodo de tiempo determinado, normalmente se toma 1 hora, 1 día dando origen a un nuevo concepto de tránsito diario y tránsito horario respectivamente.

- **TRANSITO PROMEDIO DIARIO (TPD)**

Es la cantidad de vehículos que circulan por una sección en un periodo de tiempo definido de un día, recibe la denominación de promedio cuando se hace un estudio por un tiempo mayor a un mes donde se repiten necesariamente los mismos días y aún más cuando el estudio se va a realizar durante un periodo de un año o más, este valor viene a representar el TPD anual (TPDA).

Si bien el concepto de TPD se estableció para estudios cuyo tiempo iba a ser de un año, en la práctica se han dado que normalmente para proyectos específicos de carreteras, aperturas de calles, ampliación de avenidas, etc. Se realicen estudios de volúmenes en periodos cortos menores a un año que sean igualmente significativos en sus valores.

- **TRANSITO PROMEDIO HORARIO (TPH)**

La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de una hora es el TPH, ese valor es mucho más sensible que el TPD, es decir el TPH nos puede dar valores de variación horaria donde se puede identificar las variaciones de volumen que se producen en cada hora a lo largo del día pudiendo también obtenerse cuales son las horas de mayor volumen u horas pico, cuales las de menor volumen u horas de baja intensidad, etc. El TPH

tendrá un valor máximo que teóricamente tendría que ser utilizado para fines de diseño geométrico, sin embargo dado la posibilidad de que ese valor sea máximo solo se presente en pocas horas durante el día hacen que no sea un valor recomendable para el diseño.

2.3.2.1. VOLUMEN DIRECTRIZ

Es un concepto definido exclusivamente para obtener un valor que represente el 80% o más del tiempo durante un día la cantidad de vehículos que circula por una calle o carretera no exceda el valor máximo. Para ello se ha definido que el volumen directriz numéricamente se obtenga de un ordenamiento descendente del TPH máximo correspondientes a los 365 días de un año denominado el valor “trigésimo”. Para algunos proyectos de menor envergadura también se han utilizado de ese mismo ordenamiento el valor 50 o el valor 80 como volúmenes directrices.

Es muy probable que en algunas carreteras o calles de ciudades no se tengan aforos de volúmenes horarios, por ello se ha establecido una relación entre el volumen diario y el volumen horario en carreteras, calles donde se realizaban ambas mediciones obteniéndose un valor racional esta para el TPH entre el 12 al 15% del TPD.

- **VARIACIÓN DE LOS VOLÚMENES DE TRÁFICO**

Nos referiremos a las variaciones periódicas que sufre el volumen de tráfico en las horas del día, los días de la semana, los meses del año y en el sentido de la circulación.

- **VARIACIONES HORARIAS**

El volumen de tráfico es diferente a lo largo de las horas del día pudiendo existir horas de máximo flujo, horas de flujo medio, etc.

- **VARIACIONES DIARIAS**

A lo largo de los días de la semana el volumen de tráfico es diferente generalmente presentándose estas diferencias entre los días hábiles de trabajo y los días no hábiles y feriados que existen. Esta variación diaria permitirá establecer una metodología más adecuada del control de la circulación en los días de máximo volumen.

- **VARIACIÓN SEMANAL**

A lo largo de las semanas esta generalmente con respecto a las estaciones del año puede existir una leve variación entre los volúmenes de tráfico aunque no con mucha frecuencia.

- **VARIACIÓN MENSUAL**

A lo largo de los meses del año puede existir una variación del volumen de tráfico, generalmente por épocas relacionadas con las estaciones del año y con los periodos vacacionales, es decir los meses de vacaciones de fin de año a los meses de verano, son los que tienen un incremento en los volúmenes.

2.3.2.2. RECUENTO DE VOLÚMENES DE TRÁFICO

El recuento de volúmenes se puede realizar de dos formas:

a) Recuento Automático

b) Recuento Manual

2.3.2.2.1. RECUENTO AUTOMÁTICO

La contadora automática de volúmenes pueden ser registrados en forma horaria, diaria mensual o anual, normalmente el mayor uso de los contadores automáticos son para llevar registros diarios que a través de una lectura inicial y otra final se pueden obtener diariamente lo que no proporciona este tipo de recuento es el tipo de vehículo que han sido registrado, tampoco se registra el número de ejes de

cada uno de los vehículos. En algunos proyectos puede ser indispensable conocer el porcentaje de vehículo pesados o conocer cuál es el porcentaje de vehículos que tienen más de dos ejes, este tipo de datos no es posible conseguirlos con un recuento automático pero si es muy útil el recuento automático para tener valor de TPD.

2.3.2.2.2. RECUESTO MANUAL

Si se quiere tener una información mucho más explícita sobre el tipo de vehículos, el número de ejes, el volumen por cada sentido, el volumen por cada carril, etc. El recuento manual resulta ser más efectivo aunque ello requiera de mucho más personal de operadores o aforadores en definitivo representa un presupuesto.

Los recuentos manuales en la actualidad solo son usados para proyectos específicos de corta duración o en forma periódica en algunos tramos de carreteras importantes.

Dada la importancia de tener valores de volúmenes tanto en carreteras como en calles, cualquiera sea el método automático y manual; es indispensable la información de volúmenes para realizar un análisis del problema de tráfico.

2.3.2.3. PERIODO DE RECUESTO

De acuerdo a las necesidades de cada proyecto o estudio se pueden tener tres tipos de recuento de acuerdo a la periodicidad.

- a) Permanente
- b) Periódicos
- c) De tiempo específico

2.3.2.3.1. RECUESTOS PERMANENTES

Son aquellos que se realizan generalmente con contadores automáticos que han sido instalados en una sección de la carretera que van registrando diariamente

los volúmenes para luego procesarlos, tener las variaciones semanales, mensuales y anuales. Este tipo de recuento solo es factible en aquellas carreteras de mucha importancia; por ejemplo en la actualidad, debido a la tendencia de tener carreteras en concesión, se hace necesario el registro permanente de los volúmenes de tráfico. Esto obviamente obliga a tener un presupuesto destinado al registro de valores de tráfico.

2.3.2.3.2. RECUESTO PERIÓDICO

Cuando no se puede disponer de equipo permanente para toda la red vial que realice el trabajo del recuento de volúmenes se establece que es muy útil realizar recuentos periódicos en ciertas épocas del año que nos den valores confiables y significativos cuya correlación nos permita adoptar como valores promedio del año. Estos recuentos periódicos a lo sumo tienen un tiempo de un mes y por un máximo de tres veces al año.

2.3.2.3.3. RECUESTO DE TIEMPO ESPECÍFICO

La ejecución de estudios de diseño de carreteras, diseño de trazos urbanos, evaluación de carreteras ya existentes, evaluación de trazos urbanos, estudios de variantes y ampliaciones por ser proyectos específicos, involucran a un tramo definido o a un sector del trazo urbano definido; se establece que recuentos en tiempos específicos pueden ser útiles en su información para correlacionar con los ya existentes y coadyuvar a la toma de decisiones para dichos proyectos, se pueden tener 5 días o 30 días de recuento constante es decir las 24 horas del día en ese tiempo específico y procesar esa información proyectándola a volúmenes diarios, mensuales y anuales, de acuerdo a la variabilidad que pueda tener el volumen en diferentes épocas del año se elegirán la época más adecuada más significativa.

2.3.2.4. TIPOS DE AFORO

Definir cuanto tiempo se va realizar los aforos para estudiar su comportamiento; es importante y necesario. En la actualidad existen países que por el avance

tecnológico tienen monitoreo permanente de los volúmenes de tráfico lo que quiere decir registro de todas las horas de todos los días del año. Cuando esto no sucede requerimos a la información tenemos dos alternativas:

- Según ABC se establece como tiempo de aforo mínimo para un proyecto vial 7 días de la semana y las 24 horas del día
- Según la AASTHO, establece un proyecto vial cuyo registro de volúmenes son requeridos, primero se toma un día completo de aforo cuyo resultado establece la tres horas pico del día; en función a ello se realiza el aforo en función a esas horas pico por tres días a la semana, dos días hábiles y un día no hábil durante un periodo del mes.

2.3.3. DENSIDAD VEHICULAR

Se entiende por densidad vehicular a la cantidad de vehículos que circulan por una vía por una unidad de longitud normalmente, este parámetro puede ser determinado o medido en el caso que sea determinado está en base a los dos parámetros anteriores velocidad y volumen teniendo la relación:

$$\text{densidad} = \text{volumen} / \text{velocidad}$$

Ecuación N^o. 2

2.4. DISTRIBUCIÓN Y COMPOSICIÓN DEL VOLUMEN DE TRÁNSITO

La variación de los volúmenes de tránsito por carriles presenta las siguientes características:

- En vías urbanas de 3 o más carriles de operación en un sentido, la mayor velocidad y capacidad se desarrolla en el carril del medio, las paradas de autobuses y los giros a derecha e izquierda hacen que la circulación en los carriles laterales sea más lento.

- En carreteras, el carril cercano a la faja separadora central es utilizado por vehículos más rápidos y para rebases, presenta mayores volúmenes de tráfico en el carril inmediato al acotamiento.

- En autopistas, se presentan mayores volúmenes en el carril cercano a la faja separadora central.

Se presenta variaciones de volumen respecto a la distribución direccional en calles que comunican el centro de una ciudad con la periferia, el flujo de tránsito es máximo hacia el centro en las mañanas y hacia la periferia en las tardes y noches.

En lo que respecta a la composición del tránsito, en un análisis de volúmenes se hace importante conocer la cantidad de automóviles, autobuses, camiones, etc. los mismos que se expresan en forma de porcentaje respecto al volumen total.

2.5. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO

La capacidad se define como el máximo número de vehículos que pueden circular por una vía en un periodo determinado bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control. Refleja la habilidad de la vía para acomodar una corriente de movimiento de vehículos.

El Nivel de Servicio es una medida de la calidad de fluidez.

La Capacidad y Nivel de Servicio estimados son necesarios para la mayoría de las decisiones y acciones en la Ingeniería de Tráfico y Planes de Transportación.

2.5.1. FACTORES QUE AFECTAN A LA CAPACIDAD Y A LOS NIVELES DE SERVICIO

❖ CONDICIONES IDEALES:

Muchos de los procedimientos utilizados proporcionan formulaciones sencillas para un conjunto de condiciones definidas como estándar (ideales), que deben corregirse para tener en cuenta las condiciones prevalecientes que no coincidan con ella. En principio, una condición es ideal cuando su mejora no produce un incremento en la capacidad. En estas condiciones se presume buen clima, pavimento en buen estado, usuarios “racionales” y la inexistencia de incidentes

que obstruyan el flujo. Las siguientes son las condiciones ideales para infraestructuras de flujo ininterrumpido:

- Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos
- Carriles de no menos de 3.65 m
- Una distancia (bermas) de 1.8 m entre el borde de la calzada exterior y los obstáculos u objetos adyacentes a la vía o separador
- Velocidad de proyecto de 100 k/h para vías de 2 carriles y de 110 k/h para vías multicarril y autopista
- Flujo constituido únicamente por vehículos ligeros. Ausencia de vehículos pesados.
- Superficie de rodadura en condiciones óptimas
- Visibilidad adecuada para adelantar
- Señalización horizontal y vertical óptima.

Terreno llano y rasante horizontal. En la mayoría de los análisis las condiciones existentes difieren de las condiciones ideales; por lo cual se deben incluir correcciones que reflejen la inexistencia de las condiciones ideales.

❖ **CONDICIONES DE LA VÍA Ó LA INFRAESTRUCTURA**

Las condiciones que afectan a la vía comprenden las condiciones geométricas y los elementos del proyecto. Estos factores son los siguientes:

- ❖ El tipo de vía y el medio urbanístico en que está inmersa
- ❖ La anchura de carril
- ❖ El ancho de las bermas y los despejes laterales
- ❖ La velocidad de proyecto
- ❖ El alineamiento horizontal y el alineamiento vertical
- ❖ La disponibilidad de espacio para esperar en cola en las intersecciones

❖ **CONDICIONES DEL TRÁNSITO**

Las condiciones del tránsito que influyen la capacidad y los niveles de servicio son el tipo de vehículo y las distribuciones de los vehículos entre carriles. Se definen como vehículos pesados aquellos que tienen más de cuatro ruedas sobre el pavimento. Se agrupan en tres categorías: camiones, vehículos recreacionales y autobuses. Además de la composición vehicular, se tiene en cuenta el reparto por sentidos de circulación, que es especialmente crucial en vías de dos carriles, donde las condiciones ideales se producen cuando la distribución es 50/50 (50% en cada sentido). La distribución entre carriles y entre calzadas en estructuras multicarril y autopistas es importante, ya que en estos casos el análisis se hace en forma independiente para cada sentido de circulación.

❖ **CONDICIONES DE CONTROL**

En vías para circulación continuas el control y normas que afectan significativamente la capacidad y los niveles de servicio, como la justificación de estacionar las restricciones para el rebase, la prohibición de giros, los sentidos de circulación permitidos.

2.5.2. NIVEL DE SERVICIO (NS)

La densidad es el parámetro usado para definir los niveles de servicio en secciones básicas de autopista, ya que la misma se incrementa al igual que el flujo hasta la capacidad. Los rangos de densidad, velocidad y flujo para cada nivel de servicio; muestran la definición de varios niveles de servicio usando sus respectivos valores de densidad

NIVEL DE SERVICIO A

Condiciones de flujo libre con bajos volúmenes y altas velocidades. Hay poca o nula limitación de maniobras por la presencia de otros vehículos y puede conservarse la velocidad deseada con pocos o nulos retardos.

Figura N° 1 Ejemplo de Nivel de Servicio A



NIVEL DE SERVICIO B

Condiciones de flujo estable en las que las velocidades empiezan a ser algo restringidas por las condiciones del tráfico. Los conductores tienen una razonable libertad para seleccionar su velocidad y su carril. El límite menor de velocidad con mayor volumen en este nivel de servicio se relaciona con los volúmenes de servicio usados en el proyecto de carreteras.

Figura N° 2 Ejemplo de Nivel de Servicio B



NIVEL DE SERVICIO C

Corresponde a un flujo estable, pero las velocidades y las maniobras resultan más controladas por los mayores volúmenes. La mayor parte de los conductores ven restringida su libertad de elegir la velocidad, cambiar de carriles o rebasar. Aun se obtiene una relativamente satisfactoria velocidad de operación, con volúmenes de servicio quizás apropiados para el proyecto de arterias urbanas.

Figura N°3 Ejemplo de Nivel de Servicio C



NIVEL DE SERVICIO D

Se acerca al flujo inestable, con velocidades de operación tolerables; pero que pueden ser considerablemente afectadas por los cambios en las condiciones del tráfico. Las fluctuaciones en el volumen y las restricciones temporales en el flujo pueden causar considerables reducciones en la velocidad de operación. Los conductores tienen poca libertad de maniobras, pero las condiciones son tolerables por periodos cortos.

Figura N°4 Ejemplo de Nivel de Servicio D



NIVEL DE SERVICIO E

Representa una operación a menores velocidades que en el nivel de servicio D, con volúmenes que se acercan a la capacidad del tramo. Al llegar a esta, las

velocidades, normalmente pero no siempre, son de cerca de 50 Km./h. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de duración momentánea.

Figura 5 Ejemplo de Nivel de Servicio E



NIVEL DE SERVICIO F

Se refiere a un flujo que opera forzado, a bajas velocidades, donde los volúmenes son menores que los correspondientes a la capacidad. Estas condiciones resultan de las colas de vehículos producidas por alguna obstrucción en la corriente. Las velocidades se reducen considerablemente y pueden ocurrir paradas, cortas o largas, debido al congestionamiento. En casos extremos, la velocidad y el volumen pueden tener valor cero.

Figura N° 6 Ejemplo de Nivel de Servicio F



Los factores externos, siendo físicos, pueden ser medidos a la hora conveniente. En cambio, los factores internos son variables y deben ser medidos durante el periodo de mayor flujo como el *Factor de Hora máxima*. El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en ese lapso. Para tomar eso en cuenta es conveniente determinar la proporción de flujo para un periodo máximo, dentro de la hora de máxima demanda. .

Tratándose de intersecciones controladas a semáforo habrá otro factor que considerar y es el Factor de Carga, que constituye un concepto indispensable al analizar la operación de intersecciones

2.6. SEMAFORIZACIÓN

La semaforización de vías urbanas es una actividad fundamental para que el tráfico urbano funcione con las menores demoras posibles. Cuando la intensidad de tráfico en una intersección es mayor a la admisible con una regulación de preferencia de paso, la regulación con semáforos permite confrontar la situación con un nivel de seguridad bueno, aunque produce alguna demora a los vehículos que acceden a la intersección. La semaforización de una intersección se puede producir por cuatro criterios para la instalación de semáforos como son: la intensidad mínima horaria durante más de 8 horas, la intensidad mínima horaria para demoras, el tráfico de peatones o el número de accidentes.

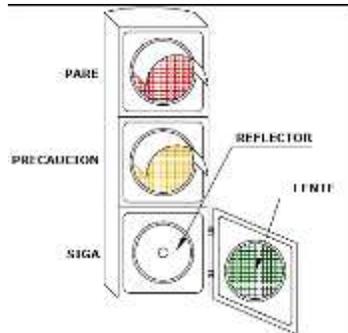
2.6.1. DEFINICION Y FUNCION DE LOS SEMÁFOROS

Se define como semáforo a los dispositivos electromagnéticos y electrónicos, que se usan para facilitar el control de tránsito de vehículos y peatones, mediante indicaciones visuales de luces de colores universalmente aceptados, como lo son el rojo, amarillo y verde.

Su función principal es la de permitir el paso alternadamente a las corrientes de tránsito que cruzan, permitiendo el uso ordenado y seguro del espacio disponible.

2.6.2. COMPONENTES DE UN SEMÁFORO

Figura N^o 7 Componentes de un Semáforo



Ref. Elementos de Ingeniería de Tráfico, Universidad Politécnica de Madrid

La **cara** de un semáforo es el conjunto de unidades ópticas como ser: el lente, reflector, lámpara y porta lámpara. Por seguridad, se recomienda el uso de dos caras para cada acceso a la intersección, ya que uno de ellos podría ser tapado por un vehículo grande o por si se ha fundido alguna de las lámparas.

El **lente** es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada. Se recomienda que la cara de un semáforo tenga por lo menos tres lentes: rojo, amarillo y verde.

El **reflector**, es un aparato de forma cónica que lanza la luz de la lámpara o foco en una determinada dirección.

2.6.3. CONDICIONES DE UN SEMÁFORO DE TIEMPO PREDETERMINADO

Un semáforo de tiempo predeterminado en el cual se va a establecer como base .inauguración del ciclo predeterminado que varía entre 30 seg. y 120 seg., entendiéndose por ciclo el paso de la fase roja a la amarilla, de la fase amarilla a la fase verde de la verde a la amarilla y de la fase amarilla a la fase roja, ese ciclo tiene una duración predeterminado cuyo valor deberá ser proyectado en función a las características físicas de la intersección las características del trazo urbano, es decir separación entre intersecciones y relacionamiento cuadricular además de las condiciones volumétricas del tráfico en los accesos, en lo posible la duración de un ciclo debe permitir la mejor fluidez del tráfico en la intersección y evitar la

pérdida de tiempo por demoras. Por su puesto que eso es difícil de determinar cuando los flujos son variables en cada intersecciones el trazo urbano no es regular y las dimensiones físicas de la intersección son variables. Para este tipo de semáforos de tiempo predeterminado se consideran como ventajas los siguientes.

- a).- Facilitan la programación de un sistema coordinado de semáforo
- b).- El funcionamiento de los semáforos no se ve afectado por anomalías en la detención como puede ser un vehículo detenido sobre la intersección.
- c).- Proporcionan una gran eficiencia en áreas de gran movimiento peatonal
- d).- Su instalación y mantenimiento son más económicos que los activadas por el tránsito.
- e).- Se adopten en aquellas intersecciones en la que el tráfico es relativamente estable donde las variaciones que se registran son mínimos.

2.6.4. ANÁLISIS OPERACIONAL DE UN SEMÁFORO PREDETERMINADO

Los parámetros más importantes que se toman en cuenta para la instalación de un semáforo de tiempo predeterminado son:

- a).- El número de vehículos que entran en la intersección por hora desde cada vía de acceso debiendo obtenerse este valor de los estadísticos de volúmenes de las 16 horas de mayor tránsito en el día.
- b).- Volúmenes de vehículos por cada movimiento de trafico clasificado de acuerdo al tipo de vehículo, pesados, livianos, de transporte público y automóviles particulares durante periodos de 15 minutos de 2 horas en la mañana y 2 horas en la tarde donde el tráfico es mayor.
- c).- Percentil 85 de la velocidad media vehicular

d).- Relevamiento plan altimétrico de las características físicas de la intersección

e).- Diagrama de accidentes detallando tipo, ubicación y dirección del movimiento de por lo menos un periodo anual.

2.6.5. CONDICIONES DE INSTALACIÓN

Para ser instalados semáforos independientes o redes de semáforos de tiempo predeterminado se deben cumplir ciertas condiciones normalizadas por el manual de capacidad y asumidos por la mayoría de los países de América latina estas condiciones son.

1era condición volumen mínimo

Es deseable la instalación de semáforos cuando se excede durante un periodo de 8 horas los volúmenes de un día promedio dado por la sgte tabla:

Tabla N° 1 Volumen mínimo de Vehículos

No Carriles en cada acceso		Volumen Horario	
Calle Principal	Calle Secundaria	Calle Principal	Calle Secundaria
1	1	500	150
2 o mas	1	600	150
2 o mas	2 o mas	600	200
1	2 o mas	500	200

Ref., Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas

Cuando el número de habitantes de la ciudad es menor a 10000 la condición de volumen mínimo para los volúmenes de la calles principal son elevados, es lógico esperar que el tráfico de la vía secundaria sufra retardos excesivos.

2da condición de demoras en el tráfico

Si el tráfico de la arteria secundaria no alcanza los valores de la tabla de volúmenes mínimos para los volúmenes de la calle principal son elevados, es lógico esperar que el tráfico de la vía secundaria sufra retardos excesivos.

Esta condición recomienda la instalación de semáforos si se exceden los valores durante 8 horas consecutivas de un día promedio de la sgte.

Tabla N ° 2 Volúmenes Mínimos por Demoras en Calle Secundaria

No Carriles en cada acceso		Volumen Horario	
Calle Principal	Calle Secundaria	Calle Principal	Calle Secundaria
1	1	750	75
2 o más	1	900	75
2 o más	2 o más	900	100
1	2 o más	750	100

Ref., Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas

3era Condición Volumen mínimo de peatones

Se recomienda la instalación de semáforos de tiempo predeterminado cuando los volúmenes de peatones sean los siguientes valores de la tabla:

Tabla N°3 Volumen Mínimo de Vehículos y Peatones

Tipo de Intersecciones	veh/hora		Total peatones/hr	Periodo de mantenimiento
	Calzada no dividida	Calzada con cantero central		
Fuera del área escolar	600	1000	150	8
En área escolar	800		2500	2

Ref., Ingeniería de Transito Fundamentos y Aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas

En ciudades donde la población es menor a 10000 se recomienda tomar el 70% de los valores de la tabla.

4ta Condición del sistema coordinado de semáforos

La condición de movimiento coordinado exige que:

- En un sistema lineal de calle de sentido único deben semaforizarse intersecciones adicionales cuando entre dos intersecciones semaforizadas consecutivas haya una distancia excesiva que no ofrezca la eficiencia requerida en el control vehicular y peatonal.
- Si en una calle de doble sentido los semáforos instalados de acuerdo a las condiciones anteriores no proporcionan el grado deseado, deben adicionarse semáforos intermedios a fin de lograr un funcionamiento eficiente del sistema.

5ta Condición de prevención de accidentes

Para cumplir con esta condición es necesario que se verifique los sgte eventos:

- a).- Que se presenten en el término de un año no menos de 5 accidentes de regular importancia que puedan ser evitados
- b).- Que no existan ninguna medida preventiva adecuada
- c).- Que los valores de demanda de las 3 primeras condiciones sean superiores a un 80% a los expresados en las tablas correspondientes.

6ta Condición Combinación de condiciones

Puede justificarse la instalación de semáforos cuando ninguna condición aislada es satisfecha; pero cuando dos o más de ellas exceden el 80% de los valores establecidos para cada una.

Es conveniente que una instalación semaforizadas cumpla por lo menos dos de las condiciones para asegurar que el proyecto de semaforización tendrá resultados.

2.6.6. CICLOS Y FASES

Un semáforo deberá tener un análisis sobre la duración total del ciclo y la distribución de tiempos entre las fases. La opción del tiempo de ciclo es delicado y muy difícil de determinar en forma óptima, solo la experiencia del proyectista y la experiencia en otros trazos urbanos ya semaforizados podrá dar una pauta para la adopción del tiempo de ciclo.

La asignación de tiempos en semáforos comprende la determinación del tiempo del ciclo, entendiéndose a este como la sumatoria del tiempo de fase verde o más el tiempo de fase roja, más el tiempo de fase amarilla de ida y vuelta, y los tiempos de las fases correspondientes.

La elección del tiempo que dure el ciclo es un apriori, ya que es difícil de determinar en un pre diseño un tiempo de ciclo óptimo; sin embargo de acuerdo a estudios que se han realizado en varios sistemas de semaforización se ha establecido que el rango de duración de un ciclo varía entre 30 - 120 seg.

Pueden proveer dos o tres distribuciones de tiempo que dará cabida a diferentes volúmenes de demanda en distintos periodos del día. En la determinación de los tiempos debe prestarse mucha atención a las siguientes variables:

- a.- Volumen de demanda vehicular.
- b.- Composición del tráfico.
- c.- Volumen de demanda peatonal.
- d.- Movimientos de giro.

2.6.6.1. DURACIÓN TOTAL DEL CICLO

Es difícil determinar en forma óptima el tiempo de ciclo; sin embargo para fines de diseño con las experiencias recogidas se establece el rango en el cual puede adoptarse el tiempo de ciclo de 30 y 120 segundos.

2.6.6.2. TIEMPO DE FASE AMARILLA

La fase amarilla, cuyo objetivo es de prevención al conductor a que aparezca la fase roja o verde en la cual debe detener y arrancar el vehículo respectivamente, debe tener suficiente tiempo para que el conductor perciba el aviso y reaccione produciendo la acción. El punto crítico al aparecer la luz amarilla es cuando el conductor está a una distancia de la intersección igual a la de frenado, en ese momento el conductor puede optar por frenar o por continuar su marcha, si decide seguir debe tener un tiempo de luz amarilla que le permita recorrer dicha distancia y al ancho de la intersección.

VALORES DE TIEMPO DE FASE AMARILLA

Como se puede ver los valores para la fase amarilla están entre 3 y 5 segundos; sin embargo esta tabla sólo considera a un vehículo en posición crítica, pero en la práctica puede darse hasta 2 ó 3 vehículos en posición crítica, lo que permite establecer que el rango para la fase amarilla pueda llegar hasta 8 segundos.

2.6.6.3. DISTRIBUCIÓN DE FASE VERDE Y FASE ROJA

Los tiempos de fase verde y fase roja deben ser determinados en proporción a los volúmenes de circulación en el sentido de la fase roja como en el sentido de la fase verde. El caso más sencillo se presenta en una intersección aislada donde se tiene definido un tiempo de ciclo adoptando el tiempo de fase amarilla que puede ser igual o diferente, los tiempos de fase verde y roja estarán determinados por la proporcionalidad de sus volúmenes como se indica en las relaciones anteriores y las fórmulas siguiente:

$$\frac{VA}{tVA} = \frac{VB}{tVB}$$

$$\text{Ciclo} = tVA + tVB + ta + ta'$$

Ecuación Nª 3

$$\frac{VA * ta}{tVA} = \frac{VB * ta'}{tVB}$$

Donde:

VA = Volumen del acceso A

VB = Volumen del acceso B

tVA = Tiempo fase verde del acceso A

tVB = Tiempo fase verde del acceso B

ta = Tiempo fase amarillo acceso A

ta' = Tiempo fase amarilla acceso B

Cuando existe un conjunto de semáforos ubicados en varias intersecciones que están relacionadas entre sí por el comportamiento de la circulación del tráfico resulta más complejo debido a que es muy posible que cada intersección del conjunto tenga que disponer de diferentes fases o de tiempo de fase en los semáforos, ello obligara al proyectista en función a un análisis no solo del sistema de semáforos sino, relacionándolo con el resto de los factores para determinar en última instancia tiempos de fase únicos, tiempo de fase sectorial izados o tiempos de fase múltiples. Cuanto mayor la variación en fases más complejo será el sistema que haya que adoptar en el sistema de semáforos.

2.6.6.4. COORDINACIÓN DE LOS SEMÁFOROS

Debido a la variabilidad que se tiene en los volúmenes de circulación de vehículos, en la composición de los volúmenes; en las características físicas de los trazos urbanos, en el sentido que tienen las direcciones de flujo; se debe realizar una coordinación del sistema de semáforos. Esta coordinación estará orientada a ver si el sistema va a ser simultáneo, alterno o progresivo.

Sistema Simultáneo

El sistema simultáneo es aquel que generalmente se utiliza cuando la separación de las intersecciones es uniforme y los tiempos de verde son iguales. Las velocidades y volúmenes de tráfico son similares para ambos sentidos.

El sistema consiste en colocar simultáneamente las fases verdes en todas las intersecciones.

El inconveniente principal de este método es que los conductores tienen la posibilidad de intentar circular a elevadas velocidades con el propósito de recorrer la mayor cantidad de fases verdes sin demora.

Sistema Alterno

Este sistema consiste en colocar semáforos en forma alternada entre fases rojas y verdes. Este sistema logra una buena eficiencia siempre y cuando la velocidad esté cerca a la obtenida por la siguiente relación:

$$V = 7.2 D / C$$

Ecuación Nª 4

Dónde: D = Distancia entre intersecciones. (m)

V = Velocidad de circulación (Km/hr)

C = Tiempo de ciclo. (Seg)

Este sistema pierde su eficiencia si la distancia entre intersecciones es reducida; por lo tanto se requerirá mayor velocidad que la de circulación y en definitiva podrá dar lugar a bastante pérdida de tiempo en espera de las fases verdes.

Sistema Progresivo

Este sistema intenta ser correlativo y proporcional a las distancias entre intersecciones, es decir, a mayor distancia entre intersecciones mayor tiempo de fase verde, este sistema es eficiente siempre y cuando el volumen de circulación sea más o menos constante

2.7. INTERSECCIONES CON SEMÁFORO BAJO CONDICIONES DE CIRCULACIÓN DISCONTINUA

El procedimiento presentado a continuación se basa en la metodología del manual

Norteamericano Highway Capacity Manual (HCM-95).

Para este tipo de intersecciones el análisis de Capacidad y el análisis del Nivel de Servicio no están totalmente correlacionados, por tanto, ambos conceptos deberán estudiarse por separado.

2.7.1. ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD DE INTERSECCIONES CON SEMÁFORO

La capacidad en una intersección con semáforo se define para cada acceso, como la tasa de flujo máxima que puede pasar a través de la intersección bajo condiciones prevalecientes del tránsito, de la calle y del semáforo. Esta medida en vehículos por hora (veh/h) para intervalos pico.

Condiciones prevalecientes del tránsito.- Se refieren a:

- Volúmenes por tipo de movimiento a la izquierda, derecha o directo.
- Composición vehicular: Automóviles, autobuses o camiones.
- Maniobras de estacionamiento.
- Conflictos peatonales.
- Paradas de autobuses.

Condiciones prevalecientes de la calle.- Se refieren a las características geométricas de los accesos:

- Número y ancho de carriles.
- Pendientes.
- Uso de carriles.

Condiciones prevalecientes del semáforo.- Se refieren a:

- Secuencia de fases.
- Asignación de tiempos.
- Tipo de operación o control.

Para el análisis de la capacidad se debe calcular:

- La relación volumen a capacidad (v/c) para movimientos críticos para carriles simples o grupos de carriles en todo el acceso. Esta relación se determina para un intervalo pico , donde “v” es el flujo actual del acceso o grupo de carriles y “c” es la capacidad.
- El flujo de saturación (s) en unidades de vehículos por hora de luz verde (veh/hr), esto quiere decir para un 100% del tiempo verde efectivo en un acceso o grupo de carriles dado.
- La relación de flujo para un acceso o grupo de carriles “i”, (v/s)_i

Un **grupo de carriles** es definido como uno o más carriles de un acceso que carga un conjunto de flujos vehiculares, formado en base a las características geométricas del acceso y a las características de los flujos vehiculares.

La capacidad de un acceso o grupo de carriles se define como:

$$c_i = s_i \left(\frac{g_i}{C} \right)$$

Ecuación N° 5

Donde:

c_i = Capacidad del acceso o grupo de carriles “i”, (veh/h).

s_i = Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles “i”, (veh/hr - vehículos por hora de luz verde)

g_i = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

C = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

g_i/C = Relación de verde para el acceso o grupo de carriles i.

El relación volumen a capacidad para un acceso o grupo de carriles $(v/c)_i$, se llama **grado de saturación** X_i en el análisis de la intersección, para enfatizar la fuerte relación de la capacidad con las condiciones de señalización y por consistencia con la literatura, se expresa como:

$$X_i = (v/c)_i = v_i / (s_i g_i / C) = (v/s)_i / (g_i / C)$$

Ecuación N°6

Donde:

$X_i = (v/c)_i$ = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles i:

v_i = Flujo actual para un acceso o grupo de carriles i, (veh/h).

s_i = Flujo de saturación del acceso o grupo de carriles “i”, (veh/hv - vehículos por hora de luz verde)

g_i = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

C = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

$(v/s)_i$ = Relación de flujo para un acceso o grupo de carriles “i”.

Otro concepto de capacidad para evaluar globalmente la intersección señalizada en el análisis operacional, es el *Grado de saturación crítico de la intersección* (X_c), por ejemplo, en una intersección con un plan de dos fases, grupos de carriles opuestos se mueven durante el mismo tiempo verde, generalmente uno de estos dos grupos de carriles requerirá más tiempo verde que el otro por lo que tendrá una mayor relación de flujo. Por tanto, este podría ser el grupo de carriles “crítico” para dicha intersección de dos fases. Por tanto, se define que:

$$X_c = \frac{C}{C - L} \left\{ \sum_i \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \right\}$$

$$X_c = \frac{C}{C - L} \left\{ \sum_i \left(\frac{v}{s} \right)_{ci} \right\}$$

Ecuación N° 7

Donde:

X_c = Grado de saturación crítico.

$\sum_i (v / s)$ = Suma de las relaciones de flujo de todos los accesos o grupos de carriles críticos “i”.

C = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

L = Tiempo total perdido por ciclo, en segundos.

2.7.1.1. ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO DE INTERSECCIONES CON SEMÁFORO

El nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debido a las detenciones para un periodo de análisis.

Parámetros que afectan al nivel de servicio:

- Promedio de demora de parada por vehículo para varios movimientos dentro la intersección en un periodo de análisis. La demora es una medida de calidad del servicio de la vía al usuario.
- La calidad de la progresión.
- Longitud de las fases verdes
- Longitudes de ciclo, etc.

Variables que afectan al retraso:

- La calidad de la progresión.
- La longitud de ciclo.
- La relación del verde
- La relación volumen a capacidad (v/c) para el grupo de carriles en cuestión.

El método plantea 6 niveles de servicio para las intersecciones con semáforo que se detallaran a continuación:

Nivel de Servicio “A”

Describe operaciones con demoras muy bajas, menores a 5 segundos por vehículo. La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Presentan longitudes de ciclo cortas que pueden contribuir a demoras mínimas.

Nivel de Servicio “B”

Describe operaciones con demoras mayores a 5 segundos hasta 15 segundos por vehículo.

Algunos vehículos comienzan a detenerse causando retrasos.

Nivel de Servicio “C”

Describe operaciones con demoras mayores a 15 segundos hasta 25 segundos por vehículo.

Estos retrasos elevados pueden dar como resultado una progresión de tránsito regular. Las longitudes de ciclo son largas. Algunos ciclos empiezan a malograrse. El número de vehículos parados es significativo.

Nivel de Servicio “D”

Describe operaciones con demoras mayores a 25 segundos hasta 40 segundos por vehículo.

En un nivel D la influencia de congestión se vuelve más apreciable. Las demoras son resultado de una progresión de tránsito mala o llegada en la fase roja. Las longitudes de ciclo son amplias y las relaciones de v/c son altas. Muchos vehículos se detienen, los ciclos malogrados se hacen más notorios.

Nivel de Servicio “E”

Describe operaciones con demoras mayores a 40 hasta 60 segundos por vehículo. Este nivel es considerado por muchas agencias de ser el límite de un retraso aceptable. Estos valores altos de retraso generalmente indican una pobre progresión, longitudes de ciclo muy largos y relaciones de v/c altas.

Nivel de Servicio “F”

Describe operaciones con demoras mayores a 60 segundos por vehículo. Este nivel, considerado inaceptable para la mayoría de los conductores, a menudo ocurre una sobresaturación, que es, cuando los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, presentan muchos ciclos malogrados, una pobre progresión y largas longitudes de ciclo.

Tabla N° 4 Criterios de Nivel de Servicio para intersecciones reguladas por semáforos

Nivel de Servicio	Demora por parada por vehículo (seg.)
A	≤ 5.0
B	>5.0 y ≤ 15.0
C	>15.0 y ≤ 25.0
D	>25.0 y ≤ 40.0
E	>40.0 y ≤ 60.0
F	>60

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota 1: El nivel de servicio “C” es considerado como un objetivo de diseño deseable.

Nota 2: Es posible tener demoras en el Nivel de Servicio “F” (inaceptable) mientras la relación v/c sea menor a 1 ($v/c < 1$), posiblemente tan bajo como 0.75 o 0.85, por tanto, los retrasos altos pueden ocurrir para esas relaciones de v/c si existiesen alguna de las condiciones siguientes: (a) la longitud de ciclo es larga (b) el grupo de carriles en cuestión tiene un tiempo rojo largo y (c) la progresión de tráfico pobre.

Nota 3: Un grupo saturado de carriles (relación v/c cercano a 1.0) puede tener demoras bajas si: (a) la longitud de ciclo es corto o (b) la progresión de tráfico es favorable para el grupo de carriles en cuestión o ambas.

Nota 4: Cuando la precisión de la demora es requerida para relaciones v/c mayores que

1.0, se tendrá que realizar estudios más detallados de volúmenes de tráfico, índices de flujo de saturación y otras características operacionales que deben ser realizadas.

2.7.1.2 METODOLOGÍA DEL ANÁLISIS OPERACIONAL DE INTERSECCIONES CON SEMÁFORO

El análisis operacional determina la capacidad y el nivel de servicio para cada grupo de carriles o acceso y finalmente el nivel de servicio global de la intersección.

Debido a que el análisis operacional de las intersecciones con semáforo es compleja, está dividido en cinco módulos distintos, como sigue:

I. Módulo de entrada: Se refiere a toda la información requerida para los cálculos subsecuentes. El modulo incluye todos los datos necesarios sobre la geometría de la intersección, volúmenes de tráfico y condiciones de la señalización.

II. Módulo de ajuste del volumen: Las demandas de volumen son generalmente basados en términos de vehículos por hora para una hora pico. El módulo de ajuste de volumen convierte esto a relación de flujo para un periodo de análisis. Y se toma en cuenta para los efectos de la distribución de carriles. La definición del grupo de carriles para análisis además toma lugar en este módulo.

III. Módulo de flujo de saturación: El flujo de saturación es calculado para cada grupo de carriles establecidos para el análisis. Se tomara en cuenta un flujo de saturación “ideal” para reflejar una variedad de condiciones prevalecientes.

IV. Módulo de análisis de capacidad: Las relaciones de flujo de volúmenes y saturación son manipulados para calcular la capacidad y las relaciones v/c para cada grupo de carriles y la relación v/c crítica para la intersección.

V. Modulo del Nivel de Servicio: Las demoras se estiman para cada grupo de carriles y se determina el nivel de servicio.

- **Módulo de entrada**

Muestra la información necesaria para el análisis operacional. Esta información tiene 4 categorías principales: condiciones geométricas, condiciones de tránsito, condiciones de los semáforos y valores sustitutivos por omisión.

Condiciones geométricas

Se refiere a la configuración física de la intersección como ser:

- Número y ancho de carriles.
- Movimientos por carril.
- Ubicación de estacionamientos.
- Pendientes de los accesos.

Condiciones de tránsito

Se consideran los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y la composición de automóviles, autobuses y camiones.

Se considera también el número de autobuses urbanos. Autobuses urbanos son aquellos que hacen paradas para recoger o descargar pasajeros antes y después de la intersección. Los buses que no hagan tales paradas son considerados como vehículos pesados.

Los flujos peatonales se consideran si entran en conflicto con los vehículos, debido a que este interferirá en los giros a la derecha permitidos.

El tipo de llegada para cada grupo de carriles describe la calidad de progresión.

A continuación se presenta 6 tipos de llegadas con sus características:

Tipo de llegada 1:

- Grupo de vehículos densos.
- Volumen del grupo de vehículos en %: más del 80% del volumen del grupo de carriles.
- Llegada de vehículos al inicio de la fase roja.

Tipo de llegada 2:

- Grupo de vehículos moderadamente densos.

- Volumen del grupo de vehículos en %: del 40 al 80% del volumen del grupo de carriles.

- Llegada de vehículos en la mitad de la fase roja o grupo de vehículos dispersos.

Tipo de llegada 3:

- Grupo de vehículos altamente dispersados.

- Volumen del grupo de vehículos en %: menos del 40% del volumen del grupo de carriles.

- Llegada de vehículos aleatoria.

Tipo de llegada 4:

- Grupo de vehículos moderadamente densos

- Volumen del grupo de vehículos en %: del 40 al 80% del volumen del grupo de carriles.

- Llegada de vehículos en el medio de la fase verde o grupo de vehículos dispersos

Tipo de llegada 5:

- Grupo de vehículos densos a moderadamente densos.

- Volumen del grupo de vehículos en %: más del 80% del volumen del grupo de carriles.

- Llegada de vehículos al inicio de la fase verde.

Tipo de llegada 6

- Tipo de llegada para una calidad de progresión excepcional.

- Grupo de vehículos progresivamente densos.

Tabla N°5 Relación entre el tipo de llegada y la relación de columna (Rc)

Tipo de Llegada	Intervalo de la relación de columna (R_c)	Valores sustitutos por omisión (R_c)	Calidad de la progresión
1	≤0.50	0.333	Muy mala
2	>0.50 y ≤0.85	0.667	Desfavorable
3	>0.85 y ≤1.15	1.000	Llegadas de forma aleatoria
4	>1.15 y ≤1.50	1.333	Favorable
5	>1.50 y ≤2.00	1.667	Altamente favorable
6	>2.00		Excepcional

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Condiciones de los semáforos

Se deberá especificar el diagrama de fases, el tiempo verde, el tiempo amarillo y las longitudes de ciclo para cada uno de los accesos.

Valores sustitativos por omisión

Tabla N°6 Valores sustitativos por omisión para los análisis de la circulación y de planeamiento

Característica	Valor sustitutivo por omisión
Circulación	
Intensidad de saturación ideal	1900 veh/hv/c
Volumen peatonal en conflicto (considere nulo salvo que los datos de campo indiquen lo contrario)	Ninguno: 0 pt/h Bajo: 50 pt/h Moderado: 200 pt/h Alto: 400 pt/h
Porcentaje de vehículos pesados	2
Inclinación (porcentual)	0
Número de autobuses con parada	0/h
Condiciones de estacionamiento	Sin estacionamiento
Maniobras de estacionamiento	20/h
Tipo de llegada	
Grupos de carriles con movimientos de paso, de frente o recto	3 si es aislado 4 si es coordinado*
Grupo de carriles sin movimientos de paso, de frente o recto	3
Factor de hora punta	0.9
Factor de utilización de carril	Véase la Tabla N° 5.46
Instalación y Semaforización	
Tipo de semaforización	De tiempos fijos
Duración del ciclo	60 - 120 seg.
Tiempo perdido	3.0 seg./fase
Amarillo más todo rojo	4.0 seg./fase
Tipo de área	Fuera del centro urbano
Ancho de carril	3.60 m.
* Generalmente pueden lograrse mejores tipos de llegada con un diseño de progresión favorable.	

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Ocasionalmente, algunos de los datos de campo podrían no estar disponibles cuando variables críticas no son conocidas, podría ser necesario conducir un análisis de planeación, sin embargo, valores sustitativos por omisión podrían ser usados para algunas de las variables sin comprometer seriamente los cálculos. La precaución debe ser usada cuando se aplican tales valores y deberá ser reconocido

ya que los resultados se vuelven más aproximados mientras más valores sustitutivos por omisión se utilicen.

La tabla N°6 resume los valores sustitutivos por omisión para usar cuando los datos de campo no están disponibles. El uso de muchos de esos valores genera un no ajuste a la base, condiciones ideales, pero esto no es cierto para cada valor sustitutivo por omisión, como en el caso del porcentaje de vehículos pesados y factores de hora pico.

- **Módulo de ajuste de volúmenes**

Tres pasos analíticos mayores son desarrollados en el módulo de ajuste de volumen:

- Convertir los volúmenes horarios a flujos a través del factor de hora de máxima demanda*

$$V_p = \frac{V}{FHMD}$$

Ecuación N°8

Donde:

v_p = Tasa de flujo durante el periodo pico, (veh/h).

V = Volumen horario, (veh/h).

$FHMD$ = Factor de hora pico de máxima demanda.

- Determinación del grupo de carriles para el análisis*

- Serán grupos de carriles separados cuando tenga bahías exclusivas de vuelta a la izquierda y a la derecha, los demás carriles directos se consideran en un grupo simple de carriles.

- Será carril exclusivo de vuelta a la izquierda, cuando se tenga carriles de vuelta a la izquierda compartidos, para la cual, se deberá verificar los altos volúmenes de vuelta a la izquierda del carril compartido. Lo mismo se aplica en carriles exclusivos de giro a la derecha.

- Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es menor que el flujo promedio en los demás carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple.

- Cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es mayor que el flujo promedio en los demás carriles, el carril izquierdo se debe designar como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separado.

$$V_I < \frac{V_a - V_I}{N - 1}$$

Ecuación N°9

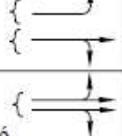
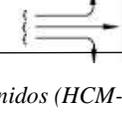
$$V_I \geq \frac{V_a - V_I}{N - 1}$$

Ecuación N°10

Nota 1: Si cumple la desigualdad (9), el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso.

Nota 2: Si cumple la desigualdad (10), el carril extremo izquierdo es un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y deberá establecerse como un grupo separado de carriles.

Figura N° 8 Grupos de carriles habituales para su análisis

Número de Carriles	Movimientos por carril	Posibilidades de los grupos de carriles
1	MI + MF + MD 	①  Acceso de un solo carril
2	MI EXC  MF + MD 	② 
2	MI + MF  MF + MD 	①  ó ② 
3	MI EXC  MF  MF + MD 	②  ó ③ 

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

iii) *Asignación de volúmenes a grupos de carriles*

La distribución de volúmenes no es equitativa entre carriles de un mismo movimiento, por tanto, el flujo ajustado para cualquier grupo de carriles será:

$$v_i = v_{gi} U_i$$

Ecuación N°11

Donde:

v_i = Flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles "i", (veh/h).

v_{gi} = Flujo de demanda no ajustado en el grupo de carriles "i", (veh/h).

U_i = Factor de utilización de carril para el grupo de carriles "i" (tiene valores de 1,00; 1,05 y 1,10 para uno, dos, tres o más carriles en el grupo)

Tabla N° 7 Factores sustitutos por omisión de utilización de carril

Movimientos del grupo de carriles	Número de carriles en el grupo de carriles	Porcentaje de tráfico que soporta el carril más transitado	Factor de utilización de carril (U)
De frente o compartido	1	100.0	1.00
	2	52.5	1.05
	3 ^a	36.7	1.10
Giro a la izquierda exclusivo	1	100.0	1.00
	2 ^a	51.5	1.03
Giro a la derecha exclusivo	1	100.0	1.00
	2 ^a	56.5	1.13

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Si el grupo de carriles cuenta con más carriles de los que figuran en esta tabla se recomienda realizar un estudio de campo o adoptar, para el grupo de carriles en cuestión, el mayor valor del factor U dado.

Módulo del flujo de saturación

El flujo de saturación se calcula mediante estudios de campo o con la siguiente expresión:

$$s = s_0(N)(f_A)(f_{VP})(f_p)(f_E)(f_B)(f_L)(f_{MD})(f_{MI})$$

Ecuación N° 12

Donde:

s = Flujo de saturación de carriles, expresado como el total para todos los carriles del grupo, bajo condiciones prevalecientes (veh/hv).

s₀ = Flujo de saturación en condiciones ideales, tomando usualmente como 1900 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril, (vl/hv/c).

N = Número de carriles del grupo.

f_A = Factor de ajuste por efecto de ancho de carril (Tabla N° 8).

fVP = Factor de ajuste por vehículos pesados (Tabla N° 9).

fP = Factor de ajuste por pendiente del acceso (Tabla N° 10).

fE = Factor de ajuste por la existencia de carriles de estacionamiento adyacentes al grupo de carriles, y la actividad de estacionamiento en ese carril. (Tabla N° 11).

fB = Factor de ajuste por paradas de autobuses. (Tabla N° 12).

fL = Factor de ajuste por localización de la intersección. (Tabla N° 13).

fMD = Factor de ajuste por vueltas a la derecha en el grupo de carriles. (Tabla N° 14).

fMI = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda en el grupo de carriles. (Tabla N° 15).

Tabla N° 8 Factor de ajuste por ancho de carril (f_A)

Ancho medio de carril, A (m.)	Factor de ancho de carril, f _A
2.4	0.867
2.7	0.900
3.0	0.933
3.3	0.967
3.6	1.000
3.9	1.033
4.2	1.067
4.5	1.100
4.8	1.133

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: $f_A = 1 + \frac{A - 3.6}{9}$; $A \geq 2.40$ m. (Si $A > 4.80$ m. puede considerarse analizarlo como dos carriles).

Tabla N° 9 Factor de ajuste por vehículos pesados (fVP)

Porcentaje de vehículos pesados, % VP	Factor de vehículos pesados, f _{VP}
0	1.000
2	0.980
4	0.962
3	0.943
8	0.926
10	0.909
15	0.870
20	0.833
25	0.800
30	0.769
35	0.741
40	0.714
45	0.69
50	0.667
75	0.571
100	0.500

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: $F_{vp} = 100 / (100 + \%VP (E_c - 1))$; $0 \leq \%VP \leq 100$, donde $E_c = 2$ vehículos ligeros por vehículo pesado

Tabla N° 10 Factor de ajuste por pendiente de acceso (fp)

Inclinación, %i		Factor de inclinación
Tipo	Porcentaje	
Bajada	-6 ó inferior	1.030
	-4	1.020
	-2	1.010
A nivel	0	1.000
Subida	+2	0.990
	+4	0.980
	+6	0.970
	+8	0.960
	+10 ó superior	0.950

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: $f_p = 1 - (\%i / 200)$; $-6 \leq \%i \leq +10$

Tabla N° 11 Factores de ajustes por estacionamiento (f_E)

Número de carriles en el grupo de carriles N	Sin estacionamiento	Número de maniobras de estacionamiento por hora, N_m				
		0	10	20	30	40 ^a
1	1.000	0.900	0.850	0.800	0.750	0.700
2	1.000	0.950	0.925	0.900	0.875	0.850
3 ^a	1.000	0.967	0.950	0.933	0.917	0.900

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: $f_E = \frac{N-0.1-18N_m/3600}{N}$; $0 \leq N_m \leq 180$, $f_E \geq 0.05$ utilice la formula cuando haya más de tres carriles o más de 40 maniobras por hora

Tabla N° 12 Factores de ajustes por paradas de autobuses (f_B)

Número de carriles en el grupo de carriles N	Número de autobuses que paran por hora, N_B				
	0	10	20	30	40 ^a
1	1.000	0.960	0.920	0.880	0.840
2	1.000	0.980	0.960	0.940	0.920
3 ^a	1.000	0.987	0.973	0.960	0.947

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: $f_B = \frac{N-14.4N_B/3600}{N}$; $0 \leq N_B \leq 250$, $f_B \geq 0.05$ utilice la formula cuando haya más de tres carriles o paren más de 40 maniobras por hora

Tabla N° 13 Factores de ajustes por localización de la intersección (f_L)

Tipo de área	Factor de tipo de área
Centro urbano (CBD)	0.90
Otras zonas	1.00

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Tabla N° 14 Factores de ajustes por giros ala derecha (f_{MD})

Casos 1-6: Carriles Exclusivos/Compartidos y Fases Protegidas/Permitidas				
$f_{MD} = 1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)(1 - P_{MDA})]$				
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD en el grupo de carriles = 1.00 para carriles excl. de MD (Casos 1-3); < 1.00 para carriles compartidos (Casos 4-6)			
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD que utilizan la fase protegida = 1.00 protección completa sin presencia de peatones; < 1.00 para permitidas con peatones en conflicto			
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Volumen de peatones (pt/h) en conflicto con MD (si $PT > 1700$, utilícese 1700)			
Caso 7: Acceso de un Solo Carril (toda la circulación del acceso utiliza un solo carril, como se define en la figura N° 5.58)				
$f_{MD} = 0.90 - P_{MD} [0.135 + (PT/2100)]$				
$0.0 \leq P_{MD} \leq 1.0$	Proporción de MD en el grupo de carriles			
$0.0 \leq PT \leq 1700$	Volumen de peatones (pt/h) en conflicto con MD (utilice 0 si MD está completamente protegido)			
$f_{MD} = 1.00$ si $P_{MD} = 0.0$				
$f_{MD} \geq 0.05$				
Caso	<u>Rango de variación de las variables</u>			Fórmula Simplificada
	P_{MD}	P_{MDA}	PT	
1 Carril excl. MD: fase MD prot.	1.0	1.0	0.0	0.85
2 Carril excl. MD: fase MD perm.	1.0	0.0	0.0 - 1700	$0.85 - (PT/2100)$
3 Carril excl. MD: fase MD prot.+perm.	1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1700	$0.85 - (PT/2100)(1 - P_{MDA})$
4 Carril compartido MD: fase MD prot.	0.0 - 1.0	1.0	0.0	$1.0 - P_{MD} [0.15]$
5 Carril compartido MD: fase MD perm.	0.0 - 1.0	0.0	0.0 - 1700	$1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)]$
6 Carril compartido MD: fase MD prot.+perm.	0.0 - 1.0	0.0 - 1.0	0.0 - 1700	$1.0 - P_{MD} [0.15 + (PT/2100)(1 - P_{MDA})]$

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Tabla N° 15 Factores de ajustes por giros ala izquierda (f_{MI})

Caso	Tipo de grupo de carriles	Factor de giro a la izquierda, f_{MI}						
1	Carril exclusivo MI; Fases Protegidas	0.95						
2	Carril exclusivo MI; Fases Permitidas	Procedimiento especial; véase formulario de la figura 9-17 o 9-18 (HCM -85)						
3	Carril exclusivo MI; Fases Protegidas y Permitidas	Aplicuese el caso 1 a la fase protegida Aplicuese el caso 2 a la fase permitida						
4	Carril compartido MI; Fase Protegida	$f_{MI} = 1.0 / (1.0 + 0.05 P_{MI})$						
		Proporción de giros a la izquierda, P_{MI}						
		Factor	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
5	Carril compartido MI; Fase Permitida	Procedimiento especial; véase formulario de la figura 9-17 o 9-18 (HCM -85)						
6	Carril compartido MI; Fases Protegidas y Permitidas	$f_{MI} = (1400 - Q_o) / [(1400 - Q_o) + (235 + 0.435 Q_o) P_{MI}]$, $Q_o \leq 1220 \text{ veh/h}$						
		$f_{MI} = 1 / [1 + 4525 P_{MI}]$, $Q_o \geq 1220 \text{ veh/h}$						
		Volumen en sentido opuesto, Q_o	Proporción de giros a la izquierda, P_{MI}					
			0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		0	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
		200	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78
		400	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
		600	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61
800	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49		
1000	1.00	0.74	0.58	0.48	0.41	0.36		
1200	1.00	0.55	0.38	0.29	0.24	0.20		
≥ 1200	1.00	0.52	0.36	0.27	0.22	0.18		

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Módulo de análisis de capacidad

- La capacidad para cada acceso o grupo de carriles se calcula a partir de la

$$c_i = s_i (g_i/C)$$

ecuación

La relación volumen a capacidad v/c para cada acceso o grupo de carriles se

Determina con la ecuación

$$X_i = (v/c)_i = v_i/(s_i g_i/C) = (v/s)_i/(g_i/C)$$

El grado de saturación crítico de la intersección se calcula a partir de la ecuación

$$X_c = \frac{C}{C-L} \left[\sum_i (v/s)_i \right]$$

Módulo del nivel de servicio

Se determina el nivel de servicio para cada grupo de carriles, para cada acceso y para toda la intersección mediante la demora media por detenciones por vehículo.

Se plantea el siguiente procedimiento:

- La *demora uniforme* (d_{1i}), es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos sin existir saturación durante ningún ciclo. Se expresa como:

$$d_{1i} = 0.38C \frac{[1 - (g_i/C)]^2}{[1 - (g_i/C)X_i]}$$

Ecuación N°13

Donde:

d_{1i} = Demora uniforme para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

C = Longitud de ciclo del semáforo, en segundos.

$X_i = (v/c)_i$ = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles i:

g_i = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles i, en segundos.

- La *demora incremental* (d_{2i}), considera las llegadas aleatorias, logrando que algunos ciclos se saturen. Se expresa como:

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[(X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + \left(\frac{16X_i}{c_i}\right)} \right]$$

Ecuación N°14

Donde:

d_{2i} = Demora incremental para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

$X_i = (v/c)_i$ = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles i:

c_i = Capacidad del acceso o grupo de carriles “i”, (veh/h).

- La *demora total* (d_i), para el grupo de carriles “i” se expresa como:

$$d_1 = d_{1i} + d_{2i}$$

Ecuación N°15

Donde:

d_i = Demora total para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

d_{1i} = Demora uniforme para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

d_{2i} = Demora incremental para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

- Es necesario *ajustar la demora total* (d_{ia}), ya que en la mayoría de los casos las llegadas de vehículos no son del todo aleatorias, sino que lo hacen en forma agrupada debido a la progresión en los semáforos y otros factores: Por lo tanto

$$d_1 = d_i * FP$$

Ecuación N°16

Donde:

d_{ia} = Demora ajustada para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

d_i = Demora total para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

FP = Factor de ajuste por efecto de la progresión de los semáforos. (Tabla N°16)

Tabla N° 16 Factor de ajuste (FD) por demora uniforme

Factor de ajuste por tipo de regulación (FR)						
Tipo de Control	Intersecciones no coordinadas		Intersecciones coordinadas			
Prefijada (ningún grupo de carriles es accionado por el tráfico)	1		FP según se calcula a continuación			
Semiaccionada:			1.0			
Grupo de carriles accionados por el tráfico	0.85					
Grupo de carriles no accionados	0.85		FP según se calcula a continuación			
Totalmente accionada (todos los grupos de carriles son accionados por el tráfico)			Trátase como semiaccionado			
Factor de ajuste por progresión (FP)						
$FP = (1-P) f_c / (1-g /C)$						
Relación de verde (g/C)	Tipo de llegada					
	T LI-1	T LI-2	T LI-3	T LI-4	T LI-5	T LI-6
0.20	1.167	1.007	1.000	1.000	0.833	0.750
0.30	1.286	1.063	1.000	0.986	0.714	0.571
0.40	1.445	1.136	1.000	0.895	0.555	0.333
0.50	1.667	1.240	1.000	0.767	0.000	0.000
0.60	2.001	1.395	1.000	0.576	0.000	0.000
0.70	2.556	1.653	1.000	0.256	0.000	0.000
Sustitutivo por omisión, f_c	1.00	0.93	1.00	1.15	1.00	1.00
Sustitutivo por omisión, R_c	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2.000
Término de calibración de la demora incremental, m	8	12	16	12	8	4

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Nota: 1.- La tabulación se basa en valores sustitutos por omisión de f_c y R_c

2.- $P = R_c g/C$ (no puede exceder de 1.0)

3.- FP puede no exceder de 1.0 en los T LI-3 a T LI-6.

- La demora en cualquier acceso (dA), se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso, a través de la siguiente ecuación:

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} v_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} v_i}$$

Ecuación N°17

Donde:

d_A = Demora en cualquier acceso. (s/veh).

n_A = Número de grupos de carriles en el acceso A.

d_{ia} = Demora ajustada para el grupo de carriles “i”, (s/veh).

v_i = Flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles “i”, (veh/h).

La *demora en la intersección* (d_I), se determina como un promedio ponderado de las demoras de todos los accesos de la intersección, según:

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^T (d_A v_A)}{\sum_{A=1}^T v_A}$$

Ecuación N°18

Donde:

d_I = Demora en la intersección. (s/veh).

d_A = Demora en cualquier acceso. (s/veh).

v_A = Flujo ajustado del acceso A. (veh/h)

T = Número de accesos en la intersección

2.7.2. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN INTERSECCIONES SIN SEMÁFORO

Análisis de intersecciones controladas por señales de parada.

El modelo para las intersecciones de doble vía controladas por señales de parada se basa en la teoría del espacio aceptado y una vista basada relativamente de la prioridad o rankî de varios movimientos vehiculares y peatonales en la intersección.

La prioridad de movimientos es muy importante, así como los espacios en el flujo de tráfico de la calle principal son buscados para un número de movimientos diferentes.

Muchos de los espacios entre un vehículo y otro vale decir entre la parte trasera del primer vehículo y la parte delantera del segundo vehículo, deben ser usados por un solo vehículo. Así, si más de un vehículo está esperando por un espacio, la primera llegada a dicho espacio es usado por los vehículos en los movimientos que se tienen mayor prioridad.

2.7.2.1. DETERMINACIÓN DE NIVELES DE CONFLICTO

En la figura podemos observar el flujo de tráfico en dos intersecciones controladas por señales de parada, cada uno de los movimientos estudiados se enfrenta a un conjunto de conflictos directamente relacionados con dichos movimientos, estos conflictos se representan en la figura N° 9 y N° 10 donde se ilustra el parámetro de cálculo Q que es el volumen de conflicto en el movimiento x es decir el volumen total que entra en conflicto con el movimiento x expresado en vehículos por hora.

Figura N° 9 Definición y cálculo de los volúmenes de tráfico de dos accesos secundarios

Movimiento	Tráfico Conflictivo, $Q_{c,i}$	Ilustración
1. GIRO A LA DERECHA desde la calle secundaria ($Q_{c,9}$)	$1/2 (Q_1)^{\text{D}} + Q_2^{\text{D}}$	
2. GIRO A LA IZQUIERDA desde la calle principal ($Q_{c,8}$)	$Q_1 + Q_3^{\text{D}}$	
3. MOVIMIENTO DE PASO (DE FRENTE) desde la calle secundaria ($Q_{c,6}$)	$1/2 (Q_3)^{\text{D}} + Q_2 + Q_1 + Q_6 + Q_5 + Q_4$	
4. GIRO A LA IZQUIERDA desde la calle secundaria ($Q_{c,7}$)	$1/2 (Q_3)^{\text{D}} + Q_2 + Q_1 + 1/2 (Q_6)^{\text{D}} + Q_5 + Q_4 + 1/2 (Q_{11} + Q_{12})^{\text{D}}$	

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Figura N° 10 Definición y cálculo de los volúmenes de tráfico de dos accesos secundarios

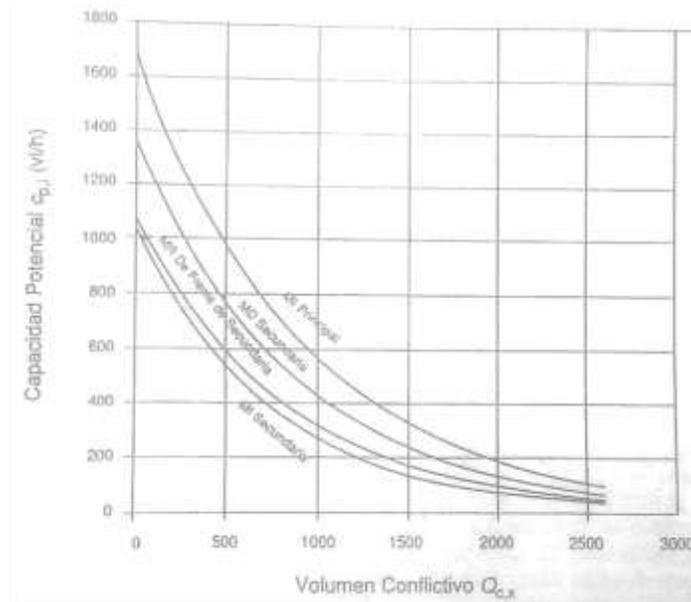
Movimiento	Tráfico Conflictivo, $Q_{c,i}$	Ilustración
1. GIRO A LA DERECHA desde la calle secundaria ($Q_{c,1}$)	$1/2 (Q_2)^{\oplus} + Q_3^{\oplus}$	
2. GIRO A LA IZQUIERDA desde la calle principal ($Q_{c,1}$)	$Q_2 + Q_3^{\oplus}$	
3. MOVIMIENTO DE PASO (DE FRENTE) desde la calle secundaria ($Q_{c,1}$)	$1/2 (Q_2)^{\oplus} + Q_3 + Q_2 + Q_2 + Q_3$	
4. GIRO A LA IZQUIERDA desde la calle secundaria ($Q_{c,1}$)	$1/2 (Q_2)^{\oplus} + Q_3 + Q_2 + 1/2 (Q_2)^{\oplus} + Q_2 + Q_3 + 1/2 (Q_2 + Q_3)^{\oplus}$	

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

2.7.2.2. CAPACIDAD DE MOVIMIENTO

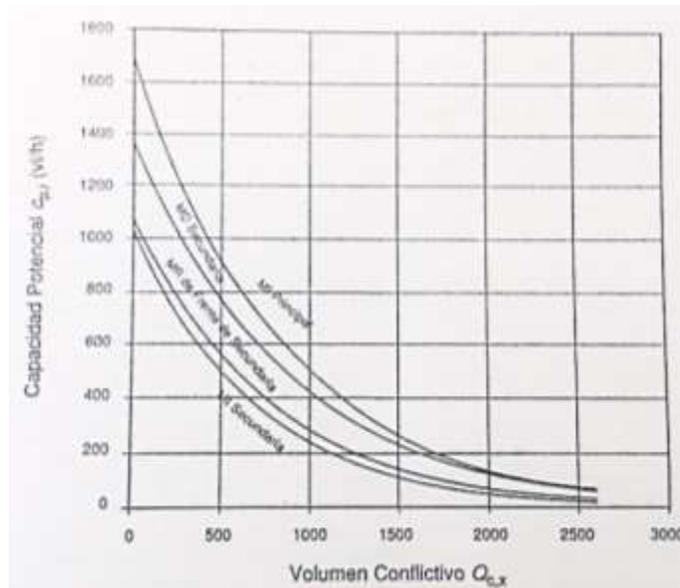
La capacidad de movimiento de los movimientos de la calle secundaria se observa mejor en las Figura N° 11. La capacidad potencial de los tráficos individuales viene dado de la figura para una carretera de dos carriles y para la figura para una carretera de 4 carriles

Figura N°11 capacidad potencial en base del volumen de conflicto y ala tipo de movimiento (vía de dos carriles)



Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

Figura N° 12 capacidad potencial en base del volumen de conflicto y ala tipo de movimiento (vía de dos carriles)



Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

2.7.2.3. CAPACIDAD DE CARRILES COMPARTIDOS

Si muchos movimientos comparten el mismo carril y no pueden detenerse a un lado de la línea de parada, es necesario juntar algunos movimientos y reajustar a las nuevas condiciones. Para calcular esta capacidad reajustada de carriles compartidos, se usa la siguiente ecuación:

$$Cc = \frac{v_i}{Cm} + \frac{v_r}{Cm} + \frac{v_d}{Cm}$$

Ecuación N°20

Donde

Cc= capacidad de carril compartido v/h

Vi=volumen del movimiento de giro izquierda v/h

Vr= volumen del movimiento de recto v/h

Vd= volumen del movimiento de giro derecha v/h

Cmi=capacidad potencial en movimiento giro izquierdo v/h

Cmr=capacidad potencial en movimiento recto v/h

Cmd=capacidad potencial en movimiento giro derecho v/h

2.7.2.4. DEMORAS

La demora total es la diferencia entre el tiempo de viaje actual experimentado y el tiempo de viaje referencial. Una porción de la demora total se atribuye al control de medidas, de cualquier señal o señales de pare, que es posible cuantificar. Esta demora es denominada demora controlada. La ecuación muestra la demora, pero sólo en condiciones que la demanda sea menor que la capacidad para un período de análisis

$$d = \frac{3600}{Cmx} + 900T \left(\frac{Vx}{Cmx} - 1 + \sqrt{\left(\frac{Vx}{Cmx} \right)^2 + \frac{3600}{450T} \frac{Vx}{Cmx}} \right)$$

Ecuación N°21

Donde

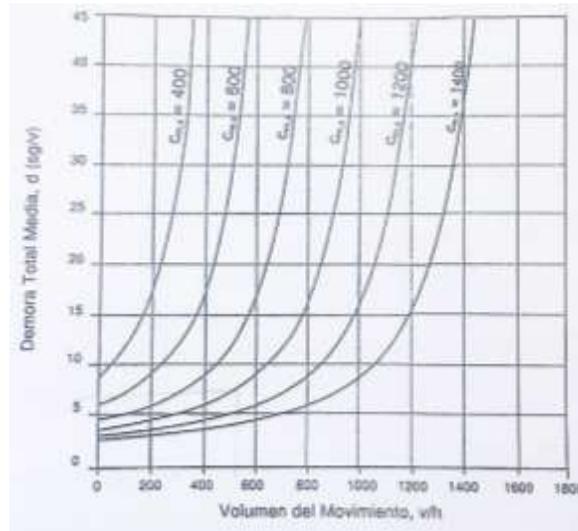
D = demora total media seg/veh

V_x =volumen de movimiento

C_{mx} = capacidad de movimiento

T = periodo de análisis

Figura N°13 demora total media en base al conflicto en la capacidad de movimiento



Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

2.7.2.5. NIVELES DE SERVICIO

El criterio para los niveles de servicio se determina por el retraso de control calculado y se define para cada movimiento menor y no está definido para la intersección como un todo en la tabla se presentan criterios:

Tabla N° 17 criterios para el nivel de servicio

Nivel de servicio	Demora total media seg/veh
A	≤ 5
B	>5 y ≤ 10
C	>10 y ≤ 20
D	>20 y ≤ 30
E	>30 y ≤ 45
F	>45

Ref. Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1995)

$$d = \frac{\sum dx * Vx}{Vx}$$

Ecuación N°22

Donde

D= demora total media seg/veh

V_x=volumen de movimiento

2.8. ROTONDA



Figura N° 14 imágenes de rotondas



Figura N° 15 imágenes de rotondas

En la intersección a nivel rotatoria o rotonda se transforman las maniobras de cruces en entrecruzamiento haciendo que los vehículos den vuelta parcial al redor de una isla central, es una solución a base de bajas velocidades relativas y circulan continuamente sobre las corrientes vehiculares.

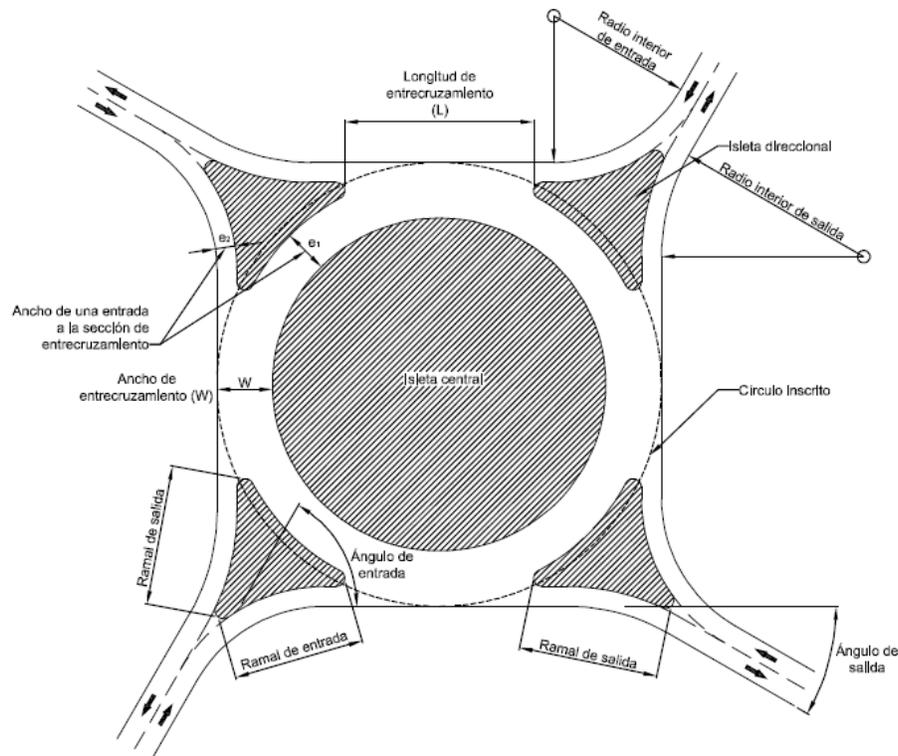


Figura 16. Esquema básico de una intersección tipo rotonda

Ref. Manual de Diseño Geométrico de Carreteras - INVIAS (2008).

Las rotondas pueden ser más convenientes que las intersecciones a nivel directo en ciertos lugares. En general parece que funcionan mejor cuando el volumen de tránsito en todas las ramas de la intersección es aproximadamente igual y su total no excede de los 3.000veh/hr. Sin embargo su eficiencia depende de la cantidad de maniobras de entrecruzamiento que se realiza por lo tanto, se adoptan las mejores intersecciones donde los vehículos que giran son más que los que siguen de frente.

2.8.1. VENTAJAS

- Cuando están bien proyectadas y se aplican a los caso donde estén indicadas, hacen que el transito circule en forma ordenada y continúe con pocas demoras y gran seguridad.
- Como se constituye en los cruces por entrecruzamiento los conflictos no son tan agudos y los accidentes que pueden ocurrir no resultan tan severos.
- Los giros a la izquierda se hacen fácilmente mediante maniobras de confluencia y separación, aunque las distancias a recorrer sean mayores.
- Se adaptan bien a la intersección con 5 o más ramas.
- Cuestan menos que las intersecciones con paso a desnivel que realizan funciones equivalentes.

2.8.2. DESVENTAJAS

- No tiene mayor capacidad que las intersecciones a nivel directo bien proyectadas y bien reguladas.
- No son tan apropiadas cuando el volumen del peatón es apreciable; pues el tránsito en ellas tiene que circular sin interrupción lo que no es posible si hay peatones cruzando la calzada.
- Se requiere islas centrales demasiado grandes o velocidades de operación sumamente bajas cuando el volumen de transito pasa 1500veh/hr.
- No se puede ampliar con facilidad y por lo tanto no se hace planes de construcción por etapas.

2.8.3. TIPOS DE INTERSECCIONES ROTATORIAS.-

Se pueden encontrar intersecciones rotatorias de tres, cuatro o más ramas, simétricas y asimétricas, circulares o alongadas. Las anteriores condiciones físicas dependen del número y posición de las calles convergentes. Cuando, por

necesidades del tráfico, una rotonda ha sido cortada, deja de tener movimiento continuo, como ya se dijo, y debe ser considerada como intersección canalizada.

Figura N° 17 Intersección rotatoria de tres ramas

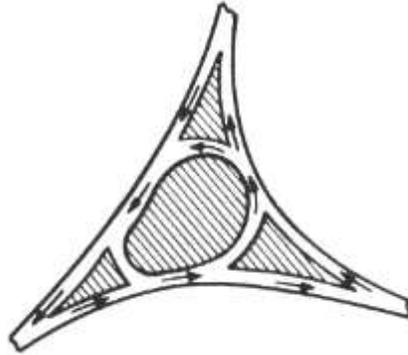


Figura N° 18 Intersección rotatoria de cuatro ramas

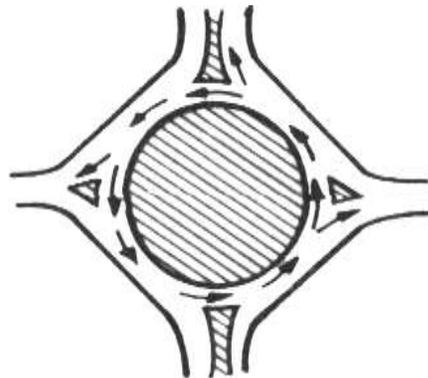


Figura N° 19 Intersección rotatoria de cinco ramas

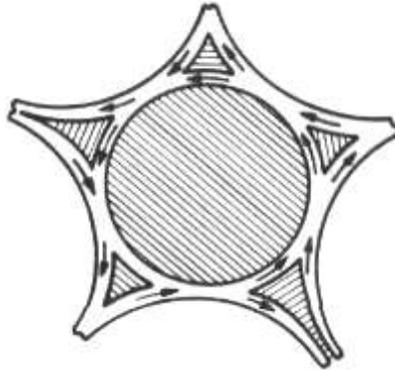


Figura N° 20 Intersección rotatoria simétrica de planta circular



2.8.4. CARACTERÍSTICAS DE LAS ROTONDAS

Isla central

Puede ser de forma circular, ovalada o completamente irregular su diseño depende de cuatro factores principales

- Número y situación de las ramas de la intersección

- Longitud requerida en los tramos de entrecruzamiento para acomodar los volúmenes directrices a la velocidad directriz
- La longitud requerida a sus tramos para que se puedan efectuar apropiadamente las maniobras de entre cruzamiento a la velocidad directriz
- Curvatura de la calzada rotatoria de acuerdo con la velocidad directriz se recomienda calcular los peraltes para esta calzada siguiendo las normas que se aplican para los ramales

Acceso y salidas e isletas direccionales

Los accesos a una rotonda deben proyectarse para la misma velocidad directriz que la calzada rotatoria y las salidas para una velocidad mayor. La razón de ello es la maniobra de entrecruzamiento que debe realizarse a bajas velocidades relativas de las corrientes vehiculares pero una vez efectuadas los conductores acostumbran a acelerar un poco cuando salen de la rotonda.

Las características geométricas de estos elementos deben calcularse siguiendo las mismas normas que se aplican a los ramales de enlace las islas direccionales deben producir pequeños ángulos de confluencia y separación y su esquina orientada hacia el tránsito que llega a la rotonda debe quedar un poco (30 cm o 50 cm) a la izquierda del eje de la rama correspondientes (si su calzada no está dividida) para en cruzar mejor la circulación

Peralte y bombeos

Los peraltes en la calzada rotatoria y curvas de los accesos y salidas, determinan siguiendo las normas aplicables a las curvas en intersecciones sin embargo son tantos los acuerdos que se deben hacer en una intersección de esta naturaleza, que casi nunca se puede lograr los peraltes apetecidos, no obstante, se debe tratar de aproximarse esos valores en todo lo posible o en ningún caso emplear peraltes inversos y negativos. Con la curvatura de la isla central es contraria la curva de

los accesos y salidas, debe darse cierto bombeo a la calzada rotatoria y la diferencia entre sus pendientes transversales no debe pasar de los límites recomendados en la tabla para que los vehículos puedan atravesar lateralmente la calzada rotatoria sin causar molestia a sus ocupantes. Los tramos de calzada rotatoria que quedan frente a las islas direccionales solo tienen peralte en un sentido.

Rampas, pendientes y distancias visibles

Las rampas y pendientes en las rotondas no deben pasar del 3%. Las distancias visibles deben exceder los valores mínimos recomendados para parar en las vías que converjan en la intersección. Arbustos sembrados en la isla central contribuyen a advertir la presencia de esta a los conductores que llegan a la rotonda y también puede amortiguar los efectos deslumbrantes de los faros de vehículos

CAPITULO III APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS ROTONDAS EN EL TRAMO

3.1. ENFOQUE DE LA APLICACIÓN

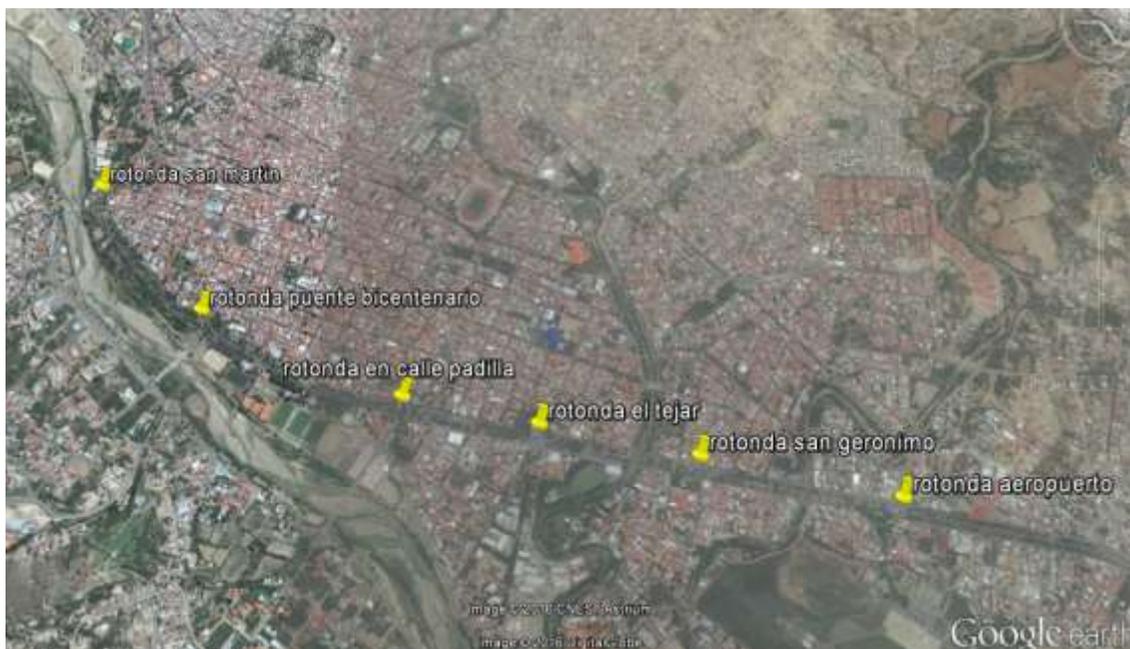
Evaluación de la capacidad y semaforización de rotondas con flujo de tráfico – puente san Martín hasta tres pasos al frente “zona Aeropuerto” .El tramo de estudio cuenta con 6 rotondas donde se realizó la evaluación de cada una de ellas, cada rotonda se encuentra ya semaforizadas, cada una tiene diferentes tiempos de ciclo. El método de evaluación se basa en el manual de capacidad de carreteras del capítulo de intersecciones reguladas por semáforos, mostrando los cálculos necesarios para realizar la capacidad y nivel de servicio de acuerdo a los tiempos de ciclo

3.2. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE APLICACIÓN

Se encuentra en el departamento de Tarija provincia (cercado);el tramo de estudio está en la avenida Víctor paz Estensoro (av. las américas) y Jaime paz Zamora a lo largo de la avenida existen 6 rotondas ,las coordenadas de cada una son:

San Martín $21^{\circ}31'56.11''S, 64^{\circ}44'26.26''O$ Puente Bicentenario $21^{\circ}32'12.07'' S, 64^{\circ}44'06.97''O$ Puente Bolívar $21^{\circ}32'25.86'' S, 64^{\circ}44'37.76''O$ Moto Méndez $21^{\circ}32'29.76'' S, 64^{\circ}43'18.12'' O$ San Gerónimo $21^{\circ}32'32.7'' S, 64^{\circ}43'56.89''O$ Aeropuerto $31^{\circ}32'39.49'' S, 64^{\circ}42'2.22''O$

Figura N°21 Ubicación de los Puntos de Estudio



3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y OPERACIONALES EN EL TRAMO DE ESTUDIO

El tramo de estudio son las seis rotondas, desde el puente san Martín hasta la rotonda tres Pasos al frente zona aeropuerto que comprenden tres vías cada rotonda cuenta con su semaforización correspondiente y es diferente en cada una de ellas con su tiempo ciclo de fases y se dará a continuación sus características físicas y operacionales.

- ROTONDA SAN MARTÍN(av. Víctor paz Estensoro y calle 15 de abril)

Es una intersección rotatoria con una isla centra ovalada con dimensiones (74*34) metros , con tres isletas direccionales, con cuatro ramales de ingreso (1, 2,3,4), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 4.2metros, con pendientes de bajada y subida entre 1.94% y – 3.98%.

Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento pero si con parada vehículo liviano y el poco flujo peatonal por

cada acceso, tiene un porcentaje de vehículos pesados entre 3.4% y 1% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Tiene tres accesos con semáforo, con un ciclo de 44 seg. , un tiempo verde de 20 seg, un tiempo rojo de 20 seg y tiempo amarillo de 2 seg, un acceso (3) no está con semáforo

- ROTONDA PUENTE BICENTENARIO (av. Víctor paz Estensoro y calle sucre)

Es una intersección rotatoria con una isla centra ovalada de dimensiones de (35*63) metros y con cuatro isletas direccionales con cinco ramales de ingreso (1, 2, 3, 4,5), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 5.2metros, con pendientes de bajada y subida entre 0.86% y – 2.7%.

Cuatro ingresos tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, un ingreso tiene solo giro derecha no cuenta con estacionamiento y poco flujo peatonal por cada acceso, un porcentaje de vehículos pesados entre 3.4% y 1% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Todos sus accesos están con semáforo con un tiempo ciclo de 45 seg.

- ROTONDA PUENTE BOLÍVAR (av. Jaime paz Zamora y calle padilla)

Es una intersección rotatoria con una isla central partida de ida y vuelta con dos isletas direccionales con seis ramales de ingreso (1, 2, 3, 4,5,6), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 5.2metros, con pendientes de bajada y subida entre 0.37% y – 2.25%.

Cinco ingreso tiene su giro izquierdo de frente, un ingreso tiene solo giro derecho , no cuenta con estacionamiento, con parada de vehículo liviano y poco flujo peatonal por cada acceso, un porcentaje de vehículos pesados entre 0.7% y - 3.4% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Todos sus accesos están con semáforo con un ciclo de 53 seg.

- ROTONDA MOTO MÉNDEZ (El tejar ,av. Jaime paz Zamora y calle España)

Es una intersección rotatoria con una isla central circular de diámetro de 22 metros con isletas direccionales ,con seis ramales de ingreso (1, 2, 3, 4,5,6), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 4.8metros, con pendientes de bajada y subida entre 0.47% y – 1.66%.

Cuatro ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, un ingreso tienen solo giro derecho, giro de frente, y un ingreso tiene solo giro derecho, cuenta con parada de vehículos livianos y el flujo peatonal alto por cada acceso, con un porcentaje de vehículos pesados entre 0.4% y 2% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Cinco de sus accesos están con semáforo con un ciclo de 50 seg. Y un acceso (5) no cuenta con semáforo.

- ROTONDA SAN GERÓNIMO (av. Jaime paz Zamora y av. alto de la alianza)

Es una intersección rotatoria con una isla ovalada con dimensiones de (25*50 metros) con isletas direccionales ,con cinco ramales de ingreso (1, 2, 3, 4,5), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 4.8metros, con pendientes de bajada y subida entre 1.3.% y – 6.7%.

Tres de sus ingresos tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, un ingreso tiene solo giro izquierdo, giro de frente, y un ingreso tiene solo giro derecho con parada de vehículo liviano y el flujo peatonal regular por cada acceso, con un porcentaje de vehículos pesados entre 0.5% y 2.7% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Cuatro de sus accesos están con semáforo con un ciclo de 38 seg. Y un acceso (5) no cuenta con semáforo.

- **ROTONDA TRES PASOS AL FRENTE (zona Aeropuerto)**

Es una intersección rotatoria con una isla central circular de diámetro de 25 metros ,con seis ramales de ingreso (1, 2, 3, 4,5,6), cada una con diferentes anchos de carril de 3.6 hasta 4.8metros, con pendientes de bajada y subida entre 2.36% y – 0.82%.

Cinco ingresos tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, un ingreso tiene solo giro derecho cuenta con estacionamiento solo en el punto (1), con parada de vehículo liviano y el flujo peatonal bajo por cada acceso, un porcentaje de vehículos pesados entre 0.5 % y 4.4% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda.

Cinco de sus accesos están con semáforo con un ciclo de 65 seg. Y un acceso (5) no cuenta con semáforo.

3.4. MEDICIÓN DE VOLÚMENES Y VELOCIDADES EN ACCESO EN LA ROTONDAS DE ESTUDIO

Con el propósito de conocer la demanda actual, se realizaron volúmenes de tráfico y velocidades en cada una de las rotondas desde el puente San Martín hasta la zona el aeropuerto, los volúmenes como las velocidades se realizaron en las horas picos, tres horas por días, dos días hábiles y un día no hábil durante cuatro semanas (un mes). Lo que nos permite conocer el movimiento vehicular en cada rotonda con sus accesos con el tipo de (vehículo pesado, mediano, liviano), y su movimiento (giro derecha, recto, giro izquierdo) según corresponde.

3.4.1. PROCEDIMIENTO

El primer paso para sacar volúmenes y velocidades fue obtener la horas más congestionada, en las horas pico donde se realizó un aforo durante un día desde las 6:00 am hasta las 9:00 pm en la rotonda más crítica (la rotonda de Moto Méndez) de toda la avenida de Rotonda San Martin hasta Rotonda de tres pasos al Frente la Zona del Aeropuerto.

Para el procedimiento de volúmenes:

Con las horas pico ya definidas se procedió a realizar el aforo de volúmenes en las 3 horas correspondientes de cada día, dos días hábiles y un día no hábil (7:00-8:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00), ubicándose en cada acceso de la rotonda anotando la clasificación correspondiente

Para el procedimiento de velocidades:

Para sacar la velocidad de punta se analizó los dos puntos más críticos de los accesos de cada rotonda: donde se midió una distancia de antes de llegar al acceso, aproximadamente se marcó unos 25 metros donde se empezó cronometrar los tiempo que tardan en pasar cada 5 vehículos el flujo vehicular en dicha distancia marcada, durante las mismas horas picos y días ya mencionadas.

3.4.2. AFOROS

La aforacion se hizo manual, tanto como para volúmenes como velocidades con personal adecuado y bien capacitado de una información completa, ya que el conteo manual sería complicado y moroso

El proceso de aforacion manual lo hizo con un observador que anota los vehículos que pasan por la vía designada en los puntos de observación más clara en el ingreso de los accesos a las rotondas se empleó, en una planilla de aforo en función de la clasificación (pesado, mediano, liviano- giro derecho, giro izquierdo y recto) según corresponde.

También se hizo un aforo peatonal para ver la circulación del peatón de cada rotonda correspondiente a un día hábil

3.4.3. RESULTADOS

Tabla N° 18 Resultado de las horas picos en la rotonda más crítica (moto Méndez) tejar

HORAS	ACCESO 1	ACCESO 2	ACCESO 3	ACCESO 4	ACCESO 5	ACCESO 6
7:00-8:00	1052	1083	321	1341	173	374
12:00-13:00	964	1121	356	1219	113	220
18:00-19:00	1008	934	286	1376	104	268

Fuente: elaboración propia

Nota: Con estas horas picos se trabajó todas las rotondas

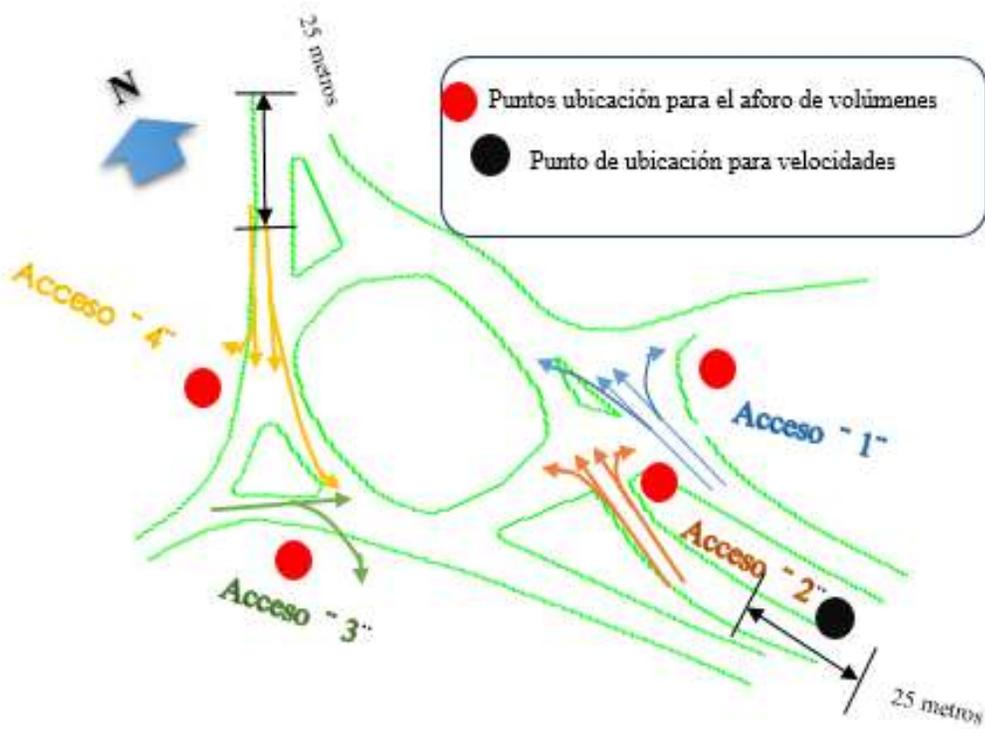
Para sacar los resultados de las velocidades y volumen, se procedió a hacer la depuración correspondiente del mes de aforo, sacando la media y depurando media más desviación y media menos desviación

Tabla N° 19 Resultados de la velocidad de punta en Km/ hr

En Km/Hr	ACCESO N° 4	ACCESO N° 2
Rotonda Puente San Martín	22,96	35,51
Rotonda Puente Bicentenario	34,95	33,87
Rotonda Puente Bolívar	34,40	29,44
Rotonda Moto Méndez	26,98	35,66
Rotonda San Gerónimo	34,73	34,53
Rotonda Tres Pasos al Frente Zona Aeropuerto	26,82	35,51

Fuente: elaboración propia

Figura N°22 Aforos para la ROTONDA del puente SAN MARTÍN (calle 15 de abril) fueron los días lunes, miércoles y sábado



Fuente: elaboración propia

Tabla N°20 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA puente SAN MARTÍN (av. Víctor paz Estensoro y calle 15 de abril)

ACCESO 1				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	68	517	29	614
total en %	11,1	84,2	4,7	100
ACCESO 2				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	139	346	18	503
total en %	27,6	68,8	3,6	100
ACCESO 3				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)		544	86	630
total en %		86,3	13,7	100
ACCESO 4				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	32	549	474	1055
total en %	3,0	52,0	44,9	100

Fuente: elaboración propia

**Figura N° 23 Aforos para la ROTONDA del puente BICENTENARIO
(CALLE SUCRE) fueron los días lunes, miércoles y sábado**



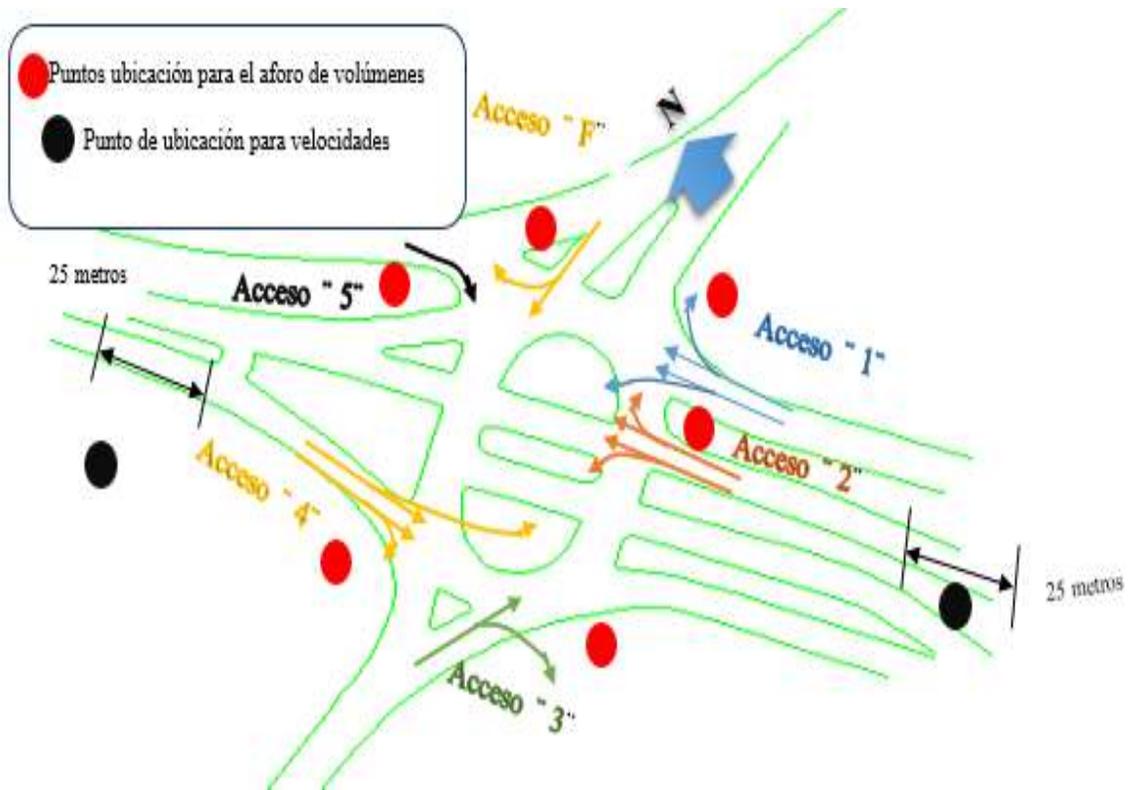
Fuente: elaboración propia

**Tabla N°21 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA puente
BICENTENARIO (av. Víctor paz Estensoro y calle sucre)**

ACCESO 1				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	70	426	90	586
total en %	11,9	72,7	15,4	100
ACCESO 2				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	193	465	186	844
total en %	22,9	55,1	22,0	100
ACCESO 3				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	156	428	201	785
total en %	19,9	54,5	25,6	100
ACCESO 4				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	148	534	195	877
total en %	16,9	60,9	22,2	100
ACCESO 5				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)			376	376
total en %			100,0	100

Fuente: elaboración propia

Figura N° 24 Aforos para la ROTONDA del puente BOLÍVAR (calle padilla) fueron los días lunes, miércoles y sábado



Fuente: elaboración propia

**Tabla N°22 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA puente
BOLÍVAR (av. Jaime paz Zamora y calle padilla)**

ACCESO 1				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	148	465	66	679
total en %	21,8	68,5	9,7	100
ACCESO 2				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	209	679	151	1039
total en %	20,1	65,4	14,5	100
ACCESO 3				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)		445	304	749
total en %		59,4	40,6	100
ACCESO 4				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	143	836	110	1089
total en %	13,1	76,8	10,1	100
ACCESO 5				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)			275	275
total en %			100,0	100
ACCESO 6				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)		352	35	387
total en %		91,0	9,0	100

Fuente: elaboración propia

**Figura N° 25 Aforos para la ROTONDA de MOTO MÉNDEZ
(TEJAR) fueron los días martes, jueves y domingo**



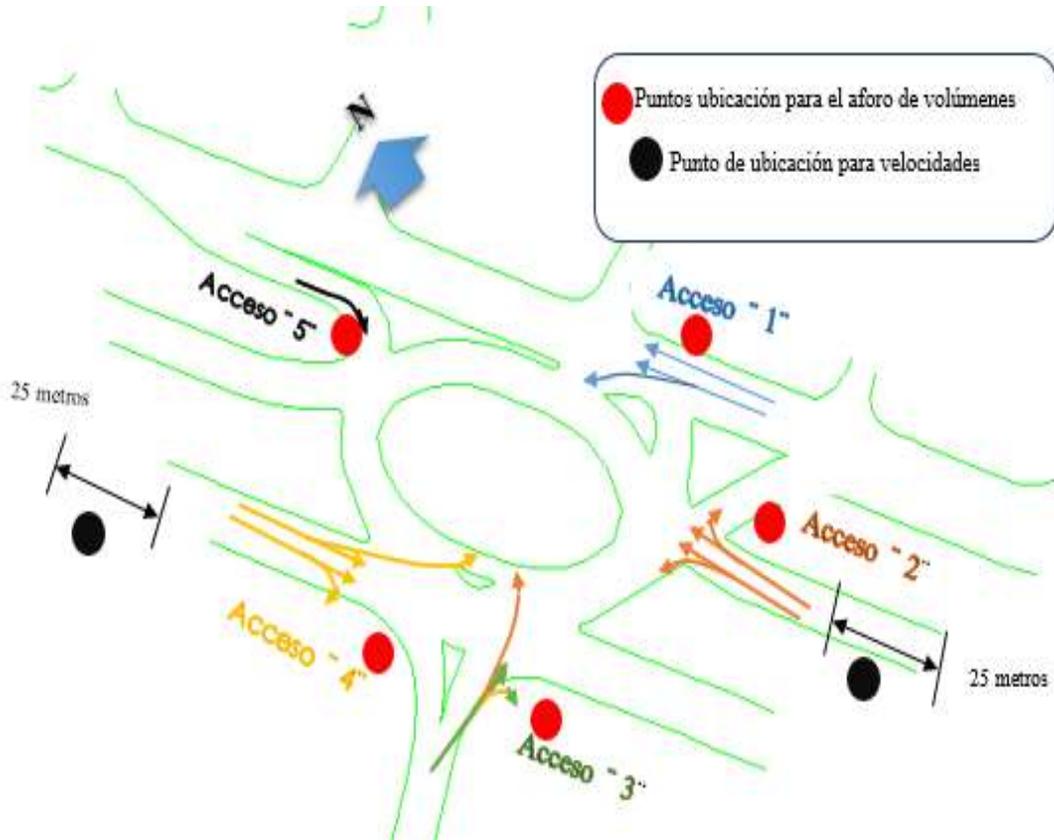
Fuente: elaboración propia

**Tabla N°23 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA MOTO
MÉNDEZ (El tejár, av. Jaime paz Zamora y calle España)**

ACCESO 1				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)	109	724	66	899
total en %	12,1	80,5	7,3	100
ACCESO 2				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)	99	982	57	1138
total en %	8,7	86,3	5,0	100
ACCESO 3				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)	39	136	199	374
total en %	10,4	36,4	53,2	100
ACCESO 4				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)	199	1003	55	1257
total en %	15,8	79,8	4,4	100
ACCESO 5				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)			131	131
total en %			100,0	100
ACCESO 6				
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	total (veh/hr)
total *mov (veh/hr)		186	51	237
total en %		78,5	21,5	100

Fuente: elaboración propia

**Figura N° 26 Aforos para la ROTONDA de SAN GERÓNIMO
fueron los días martes, jueves y domingo**



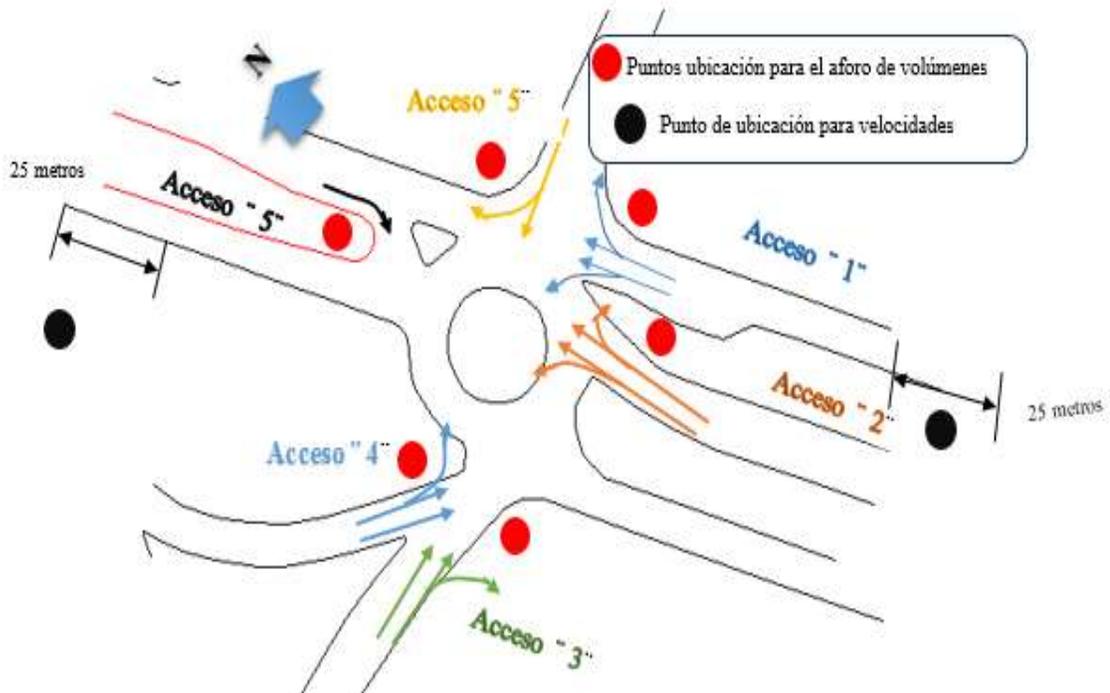
Fuente: elaboración propia

Tabla N°24 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA SAN GERÓNIMO (av. Jaime paz Zamora y av. alto de la alianza)

ACCESO 1				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	156	444		600
total en %	26,0	74,0		100
ACCESO 2				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	203	578	7	788
total en %	25,8	73,4	0,9	100
ACCESO 3				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	226	142	64	432
total en %	52,3	32,9	14,8	100
ACCESO 4				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	251	721	200	1172
total en %	21,4	61,5	17,1	100
ACCESO 5				total (veh/hr)
	G. Izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)			218	218
total en %			100,0	100

Fuente: elaboración propia

**Figura N° 27 Aforos para la ROTONDA de TRES PASOS AL FRENTE
ZONA AEROPUERTO fueron los días martes, jueves y domingo**



Fuente: elaboración propia

Tabla N°25 Resultado de los volúmenes veh/hr ROTONDA TRES PASOS

AL FRENTE (zona aeropuerto)

ACCESO 1				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	63	430	56	549
total en %	11,5	78,3	10,2	100
ACCESO 2				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	47	507	36	590
total en %	8,0	85,9	6,1	100
ACCESO 3				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	9	87	106	202
total en %	4,5	43,1	52,5	100
ACCESO 4				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)	91	616		707
total en %	12,9	87,1		100
ACCESO 5				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)			173	173
total en %			100,0	100
ACCESO 6				total (veh/hr)
	G. izq. (veh/hr)	frente (veh/hr)	G. Der (veh/hr)	
total *mov (veh/hr)		381	99	480
total en %		79,4	20,6	100

Fuente: elaboración propia

3.5. MEDICIÓN DE LOS TIEMPOS DE CICLO Y FASES EN SEMÁFOROS

Todas las rotondas en estudio ya cuentan con un sistema de semaforización.

3.5.1. PROCEDIMIENTO

Al analizar cada rotonda se procedió a notar los tiempos de ciclo y de fase de cada una de ellas, ya que algunas tienen temporizador y las otras se les hizo con cronometro.

Cabe recalcar que en cuatro rotondas hay un acceso que no está semaforizado.

3.5.2. RESULTADOS

Tabla N° 26 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda San Martín

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	20	20	44
2	2	2	20	20	44
3					
4	2	2	20	20	44

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 27 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda Puente bicentenario (calle sucre)

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	21	20	45
2	2	2	21	20	45
3	2	2	24	17	45
4	2	2	21	20	45
5	2	2	24	17	45

Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 28 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda Puente Bolívar
(calle padilla)**

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	24	25	53
2	2	2	24	25	53
3	2	2	29	20	53
4	2	2	24	25	53
5	2	2	24	25	53
6	2	2	29	20	53

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 29 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda Moto Méndez (El tejero)

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	21	25	50
2	2	2	21	25	50
3	2	2	29	17	50
4	2	2	21	25	50
5					
6	2	2	30	16	50

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 30 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda San Gerónimo

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	16	18	38
2	2	2	16	18	38
3	2	2	20	14	38
4	2	2	16	18	38
5					

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 31 Tiempos de ciclo y tiempo de fase Rotonda Tres Pasos Frente Zona Aeropuerto

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	44	17	65
2	2	2	41	20	65
3	2	2	44	17	65
4	2	2	41	20	65
5					
6	2	2	41	20	65

Fuente: elaboración propia

Nota: En las tablas de algunas rotondas hay cuadros blancos, porque esos accesos no tienen semáforo.

3.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Cada rotonda cuenta con un sistema de semaforización pero hay cuatro con un acceso sin semáforo

3.6.1. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO CON SEMÁFORO

Para realizar la capacidad se procedió a realizar los siguientes pasos:

Análisis de la rotonda MOTO MÉNDEZ (tejar) Acceso B

Módulo de entrada

Paso 1: Registramos los volúmenes vehiculares, colocando el sentido (derecho, recto, izquierdo) en este caso tiene los tres sentidos (acceso B) como se muestra en la figura.

Pasó 2: En la tabla colocamos las condiciones geométricas de la rotonda, mostrando las características más importantes, como la pendiente el porcentaje, de vehículos pesados, estacionamiento, parada de autobuses, factor de hora pico, ancho de carril, peatones y tipo de llegada.

El ciclo del semáforo cuenta con dos fases, en total el ciclo es igual 50 seg

Módulo de ajuste de volúmenes

Paso 1: Con los movimientos definidos, procedemos a encontrar el flujo de demanda no ajustada dividiendo el volumen entre el factor de hora con la ecuación N°8

$$V_P = \frac{99}{0.9} = 110veh/hr$$

Paso 2: Seleccionamos el factor utilización del carril (U) de la figura N° 7 como es de dos carriles U=1.05 y se calcula el flujo de demanda ajustada multiplicando el flujo de demanda no ajustada por factor de utilización del carril

$$V_I = 1264 * 1.05 = 1328veh/hr$$

Paso 3: Calculamos las proporciones de vueltas a la izquierda y derecha mostrado en la tabla de resultado

$$pro. de MI = \frac{110}{1264} = 0.09$$

Módulo de flujo de saturación

Paso 1: Se asume un flujo de saturación de 1900 veh/hr

Paso 2: Se pone el número de carriles y empezamos a calcular los factores de ajuste

Factor de ajuste por efecto de ancho de carril de la (Tabla N° 8) en este caso el carril mide 3.6 metros entonces $f_A = 1$

Factor de ajuste por vehículos pesados de la por este acceso de la (Tabla N° 9).
Pasan 1.8 % vehículos pesados por ese acceso entonces $f_{VP} = 0.982$

Factor de ajuste por pendiente del acceso de la (Tabla N° 10). La pendiente es 1.7% del acceso es entonces $f_P = 0.992$

Factor de ajuste de estacionamiento en ese carril de la (Tabla N° 11). En este acceso no hay estacionamientos $f_E = 1$

Factor de ajuste por paradas de autobuses. De la (Tabla N° 12). En este caso no hay para de autobuses $f_B = 1$

Factor de ajuste por localización de la intersección. De la (Tabla N° 13). En este caso es centro urbano, entonces el factor $f_L = 0.90$

Factor de ajuste por vueltas a la derecha en el grupo de carriles de la (Tabla N° 14) dependiendo de la proporción de vehículos que giran ala derecha 0.05 y el número de peatones 280

$$f_{MD} = 0.992$$

Factor de ajuste por vueltas a la izquierda en el grupo de carriles. De la (Tabla N° 15). Dependiendo de proporción de vehículos que giran ala izquierda 0.09y el volumen opuesto de vehículos 415 $f_{MI} = 0.965$

Paso 3: Sacamos el flujo de saturación S, se obtiene multiplicando el flujo de saturación ideal por el número de carriles y por los factores de ajuste

$$S = 1900 * 2 * 1 * 0.982 * 0.992 * 1 * 1 * 0.9 * 0.992 * 0.965 = 3188veh/hr$$

Módulo de análisis de capacidad

Paso 1: Como se muestra en la tabla se colocan el flujo de demanda ajustada V y el flujo de saturación S

Paso 2: Con los datos colocados en la tabla sacamos la relación de flujo V/S

Donde $v=1328 \text{ veh/hr}$ $s= 3188\text{veh/hr}$

$$\frac{v}{s} = 0.42$$

Paso 3: Como siguiente paso sacamos la relación de verde de cada fase con respecto al longitud del ciclo $g=25 \text{ seg}$ $C= 50$

$$\frac{g}{c} = 0.5$$

Pasó 4: Se calcula la capacidad de acuerdo a la ecuación N° multiplicando el flujo de saturación s por la relación de verde g/c

$$c = 3188 * \frac{25}{50} = 1594 \text{ veh/hr}$$

Paso 5: Se calcula la relación v/c flujo de demanda entre la capacidad $v=1328\text{veh/hr}$ $c= 1594$

$$\frac{v}{c} = 0.83$$

Se calcula la relación crítica

$$Xc = \sum v/s \frac{C}{C - L}$$

La sumatoria será de la v/c mayores a 1 o más próximos

$$Xc = (0.54 + 0.52) \frac{50}{50 - 3} = 1.13$$

Módulo de nivel de servicio

Paso 1: Como se muestra en la tabla se coloca la relación V/C, relación verde g/c y la longitud del ciclo y la capacidad vehicular calculado anterior mente

Paso2: Procedemos a calcular la demora uniforme con la ecuación

$$d1 = 0.38 * 0.50 \left(1 - \left(\frac{25}{50} \right) \right)^2 / \left(1 - \left(\frac{25}{50} \right) * 0.83 \right) = 8.14 \text{ seg}$$

Paso 3: Procedemos a calcular la demora de incremento con la ecuación

$$d2 = 173 * 0.83^2 * ((0.83 - 1) + \left((0.83 - 1)^2 + \left(\frac{12 * 0.83}{1594} \right) \right)^{0.5}) = 2.14 \text{ seg}$$

por carril Con la ecuación N°15

Multiplicando por el factor de ajuste

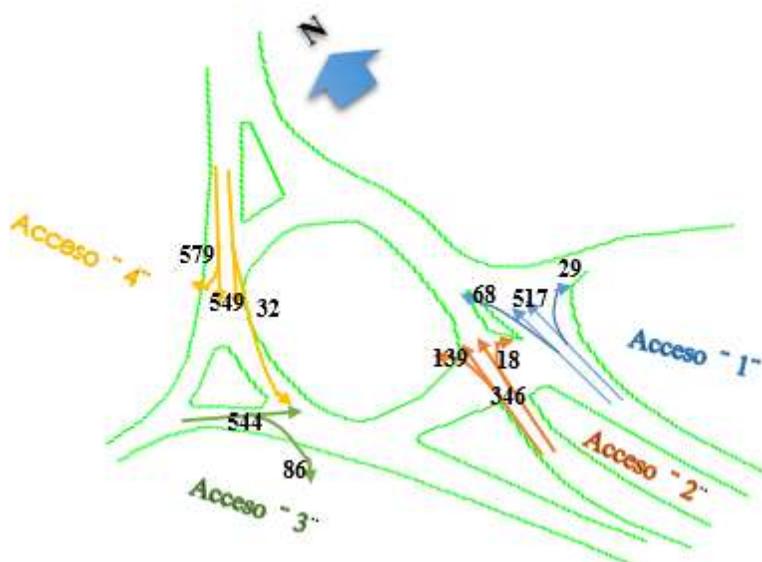
$$d_1 = (8.14 + 2.14) * 1.24 = 12.75$$

Entrando a la tabla N°4 se saca que es un nivel de servicio B Como no hay carril exclusivo de giros serio en mismo nivel de servicio de todo el acceso

3.6.1. RESULTADOS

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA SAN MARTÍN (av. Víctor paz Estensoro y calle 15 de abril)

Figura N° 28 Volúmenes y giros de la Rotonda San Martín



Fuente: elaboración propia

Tabla N°32 Modulo de entrada volumen y geometría Rotonda San Martín

ESTADO DE CIRCULACION DE LA VIA									
Acceso	Inclin. %	Veh. Pes. %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHP	Peatones (peat/h)	Ancho de carril	tipo de TL
			si	No Nm					
1	0,83	1,0	N	0	0	0,9	103	3,9	3
2	1,07	3,4	N	0	0	0,9	67	3,9	3
3	-3,98	1,4	N	0	0	0,9	69	3,6	3
4	1,94	3,4	N	0	0	0,9	85	4,2	2

Fuente: elaboración propia

Tabla N°33 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda Puente San Martín

FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volum en (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles vgi (v/h)	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	68	0,9	76		682	1	1	682	0,11	MI
	MR	517	0,9	574							
	MD	29	0,9	32						0,05	MD
2	MI	139	0,9	154		559	2	1,05	587	0,28	MI
	MR	346	0,9	384							
	MD	18	0,9	20						0,04	MD
3	MI			0		700	1	1	700	0,00	MI
	MR	544	0,9	604							
	MD	86	0,9	96						0,14	MD
4	MI	32	0,9	36		1172	2	1,05	1231	0,03	MI
	MR	549	0,9	610							
	MD	474	0,9	527						0,45	MD

Tabla N° 34 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda Puente San Martín

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N° 12	tipo de zona (fa) tabla N° 13	giros a la derecha (FMD) tabla N° 14	giros a la izquierda (FMI) tabla N° 15	flujo de saturación ajust S(v/h)
1	MI	1900	1	1,033	0,99	0,996	1,0	1,0	0,90	0,993	0,933	1613
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,033	0,967	0,995	1,0	1,0	0,90	0,995	0,843	2849
	MR											
	MD											
3	MI											
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,067	0,967	0,990	1,0	1,0	0,90	0,933	0,991	3230
	MR											
	MD											

Nota: no se hizo el cálculo del acceso 3 por que no cuenta con semáforo

Tabla N°35 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda Puente San Martín

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	682	1613	0,42	0,45	733	0,93	
	MR							
	MD							
2	MI	587	2849	0,21	0,45	1295	0,45	
	MR							
	MD							
3	MI							
	MR							
	MD							
4	MI	1231	3230	0,38	0,45	1468	0,84	
	MR							
	MD							

Nota: no se hace el cálculo de Xc por no hay X mayores e igual a 1

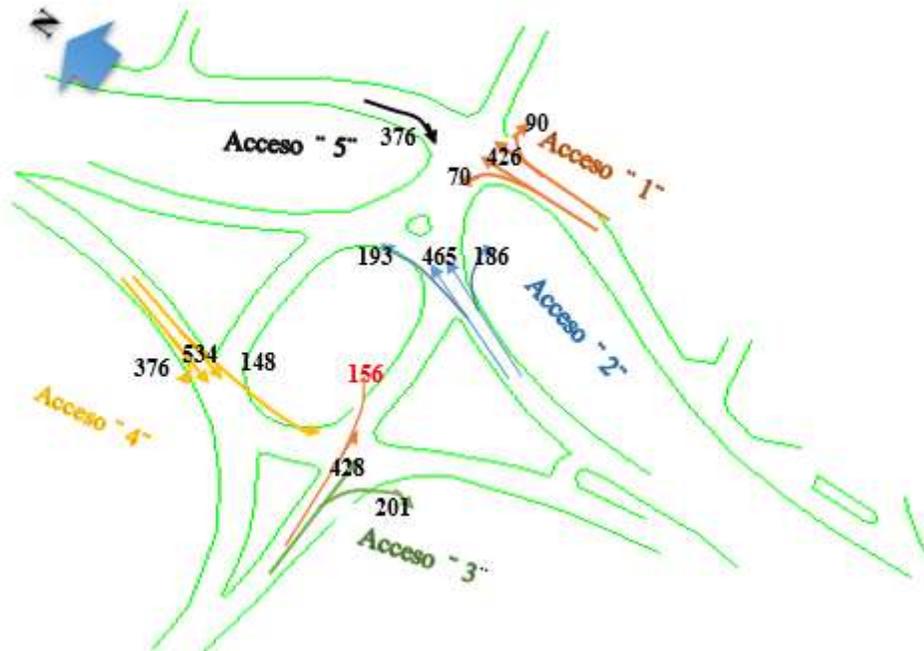
Tabla N° 36 Formulario de modelo de análisis de Nivel de Servicio Rotonda Puente San Martín

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,93	0,45	44	8,62	733	13,33	1	21,95	C	21,95	C
	MR											
	MD											
2	MI	0,45	0,45	44	6,26	1295	0,18	1	6,45	B	6,45	B
	MR											
	MD											
3	MI											
	MR											
	MD											
4	MI	0,84	0,45	44	8,04	1468	2,43	1,24	12,98	B	12,98	B
	MR											
	MD											

Fuente: elaboración propia

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA PUENTE BICENTENARIO (av. Víctor paz Estensoro y calle sucre)

Figura N° 29 Volúmenes y giros de la Rotonda Puente Bicentenario



Fuente: elaboración propia

Tabla N°37 Modulo y entrada volumen y geometría Rotonda Puente Bicentenario

ESTADO DE CIRCULACION DE LA VIA									
Acceso	Inclin. %	Veh. Pes. %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHP	Peatones (peat/h)	Ancho de carril	tipo de TL
			si	No					
1	1,32	1,4	N	0	0	0,9	57	3,9	3
2	0,86	1,8	N	0	0	0,9	56	3,6	2
3	-2,7	1,4	N	0	0	0,9	28	5,2	3
4	-1,8	1,8	N	0	0	0,9	40	3,9	2
5	-0,73	0,8	N	0	0	0,9	40	3,6	3

Fuente: elaboración propia

Tabla N°38 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda Puente Bicentenario

FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volumen (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles vgi (v/h)	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	70	0,9	78		651	1	1	651	0,12	MI
	MR	426	0,9	473							
	MD	90	0,9	100						0,15	MD
2	MI	193	0,9	214		938	2	1,05	985	0,23	MI
	MR	465	0,9	517							
	MD	186	0,9	207						0,22	MD
3	MI	156	0,9	173		872	1	1	872	0,20	MI
	MR	428	0,9	476							
	MD	201	0,9	223						0,26	MD
4	MI	148	0,9	164		972	2	1,05	1021	0,17	MI
	MR	534	0,9	593							
	MD	193	0,9	214						0,22	MD
5	MI					418	1	1	418	0,00	MI
	MR										
	MD	376	0,9	418						1,00	MD

Tabla N° 39 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda Puente Bicentenario

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N° 12	tipo de zona (fa) tabla N° 13	giros ala derecha (FMD) tabla N° 14	giros ala izquierda (FMI) tabla N° 15	flujo de saturación ajust S(v/h)
1	MI	1900	1	1,033	0,994	0,993	1,0	1,0	0,90	0,977	0,919	1566
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,000	0,982	0,996	1,0	1,0	0,90	0,967	0,797	2576
	MR											
	MD											
3	MI	1900	2	0,889	0,984	1,014	1,0	1,0	0,90	0,962	1	2915
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,033	0,98	1,009	1,0	1,0	0,90	0,967	0,899	3038
	MR											
	MD											
5	MI	1900	1	1,000	0,992	1,000	1,0	1,0	0,90	0,850	1,000	1442
	MR											
	MD											

Nota: para el cálculo del flujo de saturación en el acceso 3 tiene un ancho de carril 5.2 y por eso se trabajó como dos carriles de 2.6 metros para realizar el cálculo.

Tabla N° 40 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda Puente Bicentenario

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	651	1566	0,42	0,44	696	0,94	
	MR							
	MD							
2	MI	985	2576	0,38	0,44	1145	0,86	
	MR							
	MD							
3	MI	872	2915	0,30	0,38	1101	0,79	
	MR							
	MD							
4	MI	1021	3038	0,34	0,44	1350	0,76	
	MR							
	MD							
5	MI	418	1442	0,29	0,38	545	0,77	
	MR							
	MD							

Nota: no se hace el cálculo de Xc por no hay X mayores e igual a 1

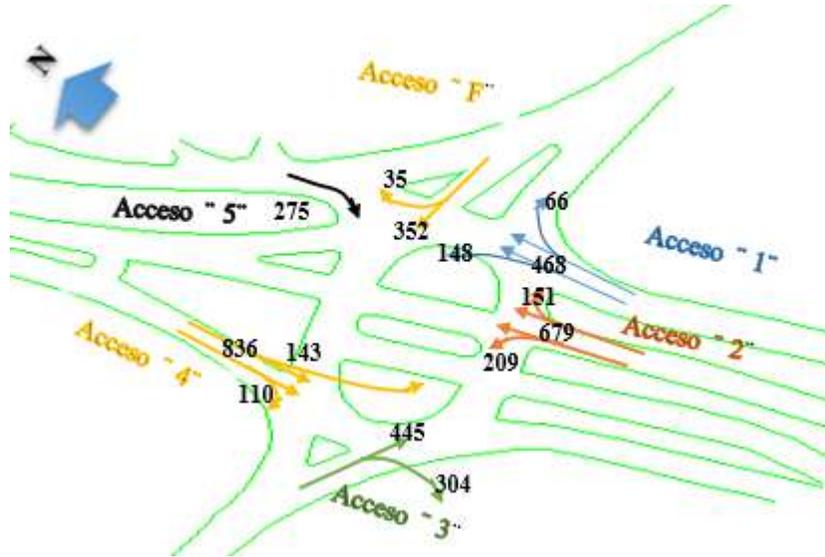
Tabla N° 41 Formulario de modelo de análisis de Nivel de Servicio Rotonda Puente Bicentenario

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,94	0,44	45	9,03	696	14,51	1	23,54	C	23,54	C
	MR											
	MD											
2	MI	0,86	0,44	45	8,54	1145	3,73	1,24	15,23	C	15,23	C
	MR											
	MD											
3	MI	0,79	0,38	45	9,45	1101	2,82	1	12,27	B	12,27	B
	MR											
	MD											
4	MI	0,76	0,44	45	7,95	1350	1,33	1,24	11,50	B	11,50	B
	MR											
	MD											
5	MI	0,77	0,38	45	9,32	545	4,49	1	13,81	B	13,81	B
	MR											
	MD											

Fuente: elaboración propia

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA PUENTE BOLÍVAR (av. Jaime paz Zamora y calle padilla)

Figura N° 30 Volúmenes y giros de la Rotonda Puente Bolívar



Fuente: elaboración propia

Tabla N°42 Modulo y Entrada volumen y geometría Rotonda Puente Bolívar

ESTADO DE CIRCULACION DE LA VIA									
Acceso	Inclin. %	Veh. Pes. %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHP	Peatones (peat/h)	Ancho de carril	tipo de TL
			si	No					
1	0,37	1,5	N		0	0,9	32	5	3
2	0,33	3,4	N		0	0,9	32	3,6	2
3	-1	2,0	N		0	0,9	76	5,2	3
4	-0,16	2,1	N		0	0,9	28	3,9	2
5	-0,2	0,7	N		0	0,9	0	3,6	3
6	-2,25	1,0	N		0	0,9	59	3,6	3

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 43 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda Puente Bolívar

FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volumen (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	148	0,9	164		758	1	1,05	796	0,22	MI
	MR	468	0,9	520							
	MD	66	0,9	73						0,10	MD
2	MI	209	0,9	232		1154	2	1,05	1212	0,20	MI
	MR	679	0,9	754							
	MD	151	0,9	168						0,15	MD
3	MI					832	1	1,05	874	0,00	MI
	MR	445	0,9	494							
	MD	304	0,9	338						0,41	MD
4	MI	143	0,9	159		1210	2	1,05	1271	0,13	MI
	MR	836	0,9	929							
	MD	110	0,9	122						0,10	MD
5	MI					306	1	1	306	0,00	MI
	MR										
	MD	275	0,9	306						1,00	MD
6	MI					430	2	1,05	452	0,00	MI
	MR	352	0,9	391							
	MD	35	0,9	39						0,09	MD

Tabla N° 44 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda Puente Bolívar

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N° 12	tipo de zona (fa) tabla N° 13	giros ala derecha (FMD) tabla N° 14	giros ala izquierda (FMI) tabla N° 15	flujo de saturación ajust S(v/h)
1	MI	1900	2	0,878	0,985	0,998	1,0	1,0	0,90	0,985	0,867	2521
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,000	0,967	0,998	1,0	1,0	0,90	0,978	0,877	2834
	MR											
	MD											
3	MI	1900	2	0,889	0,98	1,005	1,0	1,0	0,90	0,939	1	2812
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,033	0,979	1,001	1,0	1,0	0,90	0,985	0,778	2652
	MR											
	MD											
5	MI	1900	1	1,000	0,998	1,000	1,0	1,0	0,90	0,850	1	1451
	MR											
	MD											
6	MI	1900	2	1,000	0,99	1,011	1,0	1,0	0,90	0,986	1	3377
	MR											
	MD											

Nota: para el cálculo del flujo de saturación en el acceso (1, 3) tiene un ancho de carril (5, 5.2) y por eso se trabajó como dos carriles de 2.5 y 2.6 metros para realizar el cálculo según especificado en el manual de carreteras.

Tabla N° 45 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda Puente Bolívar

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	796	2521	0,32	0,472	1189	0,67	
	MR							
	MD							
2	MI	1212	2834	0,43	0,472	1337	0,91	
	MR							
	MD							
3	MI	874	2812	0,31	0,377	1061	0,82	
	MR							
	MD							
4	MI	1271	2652	0,48	0,472	1251	1,02	*
	MR							
	MD							
5	MI	306	1451	0,21	0,472	684	0,45	
	MR							
	MD							
6	MI	452	3377	0,13	0,377	1275	0,35	
	MR							
	MD							

Nota: hay un acceso que están en una relación crítica para ello se sacó la sumatoria de relación $v/s = 0.91$ con el tiempo ciclo =53seg y un tiempo perdido de 3 seg donde $Xc=1.02$

Tabla N° 46 Formulario de modelo de análisis de Nivel de Servicio Rotonda PUENTE BOLÍVAR (calle padilla)

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,67	0,47	53	8,21	1189	1,03	1	9,25	B	9,25	B
	MR											
	MD											
2	MI	0,91	0,47	53	9,82	1337	5,20	1,24	18,63	C	18,63	C
	MR											
	MD											
3	MI	0,82	0,38	53	11,33	1061	3,78	1	15,11	C	15,11	C
	MR											
	MD											
4	MI	1,02	0,47	53	10,79	1251	20,65	1,24	38,99	D	38,99	D
	MR											
	MD											
5	MI	0,45	0,47	53	7,12	684	0,32	1	7,44	B	7,44	B
	MR											
	MD											
6	MI	0,35	0,38	53	9,01	1275	0,07	1	9,09	B	9,09	B
	MR											
	MD											

Fuente: elaboración propia

Nota: El acceso 4 tiene un nivel de servicio alto

Tabla N°48 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda Moto Méndez

FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volumen (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles vgi (v/h)	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	109	0,9	121		999	1	1	999	0,12	MI
	MR	724	0,9	804							
	MD	66	0,9	73						0,07	MD
2	MI	99	0,9	110		1264	2	1,05	1328	0,09	MI
	MR	982	0,9	1091							
	MD	57	0,9	63						0,05	MD
3	MI	39	0,9	43		416	1	1	416	0,10	MI
	MR	136	0,9	151							
	MD	199	0,9	221						0,53	MD
4	MI	199	0,9	221		1397	2	1,05	1467	0,16	MI
	MR	1003	0,9	1114							
	MD	55	0,9	61						0,04	MD
5	MI					146				0,00	MI
	MR										
	MD	131	0,9	146						1,00	MD
6	MI					263	1	1	263	0,00	MI
	MR	186	0,9	207							
	MD	51	0,9	57						0,22	MD

Tabla N°49 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda Moto Méndez

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N° 12	tipo de zona (fa) tabla N° 13	giros ala derecha (FMD) tabla N° 14	giros ala izquierda (FMI) tabla N° 15	flujo de saturación ajust S(v/h)
1	MI	1900	1	1,133	0,994	0,998	1,0	1,0	0,90	0,989	0,968	1839
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,000	0,982	0,992	1,0	1,0	0,90	0,992	0,965	3188
	MR											
	MD											
3	MI	1900	1	1,067	0,984	0,997	1,0	1,0	0,90	0,920	1	1647
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,100	0,98	0,993	0,9	1,0	0,90	0,993	0,913	2958
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											
6	MI	1900	1	1,100	0,994	1,008	1,0	1,0	0,90	0,968	1	1824
	MR											
	MD											

Tabla N°50 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda Moto Méndez

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	999	1839	0,54	0,5	919	1,09	*
	MR							
	MD							
2	MI	1328	3188	0,42	0,5	1594	0,83	
	MR							
	MD							
3	MI	416	1647	0,25	0,34	560	0,74	
	MR							
	MD							
4	MI	1467	2958	0,50	0,5	1479	0,99	*
	MR							
	MD							
5	MI							
	MR							
	MD							
6	MI	263	1824	0,14	0,32	584	0,45	
	MR							
	MD							

Nota: hay dos acceso que están en una relación crítica para ello se sacó la sumatoria de relación $v/s = 1.04$ con el tiempo ciclo $= 50$ seg y un tiempo perdido de 3 seg donde $Xc = 1.18$

Tabla N°51 Formulario de modelo de análisis de nivel de servicio Rotonda Moto Méndez

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	1,09	0,5	50	10,40	919	50,77	1	61,17	F	61,17	F
	MR											
	MD											
2	MI	0,83	0,5	50	8,14	1594	2,14	1,24	12,75	B	12,75	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,74	0,34	50	11,07	560	3,65	1	14,72	C	14,72	C
	MR											
	MD											
4	MI	0,99	0,5	50	9,42	1479	13,92	1,24	28,94	D	28,94	D
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											
6	MI	0,45	0,32	50	10,27	584	0,39	1	10,66	B	10,66	B
	MR											
	MD											

Fuente: elaboración propia

Nota: salen dos accesos congestionadas con un nivel de servicio D y F

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA SAN GERÓNIMO (av. Jaime paz Zamora y av. alto de la alianza)

Figura N° 32 Volúmenes y giros de la Rotonda San Gerónimo



Fuente: elaboración propia

Tabla N°52 Modulo y entrada volumen y geometría Rotonda San Gerónimo

ESTADO DE CIRCULACION DE LA VIA									
Acceso	Inclin. %	Veh. Pes. %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHP	Peatones (peat/h)	Ancho de carril	tipo de TL
			si	No					
1	-6,4	2,7	N	0	0	0,9	68	4,8	3
2	-1	2,9	N	0	0	0,9	105	3,6	2
3	0	2,8	N	0	0	0,9	57	3,95	3
4	1,3	4,0	N	0	0	0,9	120	4,2	2
5	2	0,5	N	0	0	0,9	57	3,6	3

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 53 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda San Gerónimo

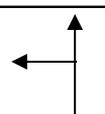
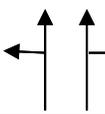
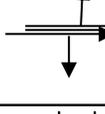
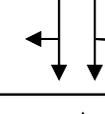
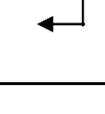
FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volumen (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles vgi (v/h)	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	156	0,9	173		667	1	1	667	0,26	MI
	MR	444	0,9	493							
	MD									0,00	MD
2	MI	203	0,9	226		876	2	1,05	919	0,26	MI
	MR	578	0,9	642							
	MD	7	0,9	8						0,01	MD
3	MI	226	0,9	251		480	1	1	480	0,52	MI
	MR	142	0,9	158							
	MD	64	0,9	71						0,15	MD
4	MI	251	0,9	279		1302	2	1,05	1367	0,21	MI
	MR	721	0,9	801							
	MD	200	0,9	222						0,17	MD
5	MI					242				0,00	MI
	MR										
	MD	218	0,9	242						1,00	MD

Tabla N° 54 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda San Gerónimo

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N° 12	tipo de zona (fa) tabla N° 13	giros ala derecha (FMD) tabla N° 14	giros ala izquierda (FMI) tabla N° 15	flujo de saturación ajust S(v/h)
1	MI	1900	1	1,133	0,974	1,032	1,0	1,0	0,90	1,000	0,939	1830
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,000	0,972	1,005	1,0	1,0	0,90	0,999	0,838	2796
	MR											
	MD											
3	MI	1900	1	1,039	0,973	1,000	1,0	1,0	0,90	0,978	1	1690
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,067	0,962	0,994	1,0	1,0	0,90	0,974	0,863	2933
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											

Tabla N° 55 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda San Gerónimo

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	667	1830	0,36	0,47	867	0,77	
	MR							
	MD							
2	MI	919	2796	0,33	0,47	1324	0,69	
	MR							
	MD							
3	MI	480	1690	0,28	0,37	623	0,77	
	MR							
	MD							
4	MI	1367	2933	0,47	0,47	1389	0,98	
	MR							
	MD							
5	MI							
	MR							
	MD							

Tabla N°56 Formulario de modelo de análisis de Nivel de Servicio Rotonda San Gerónimo

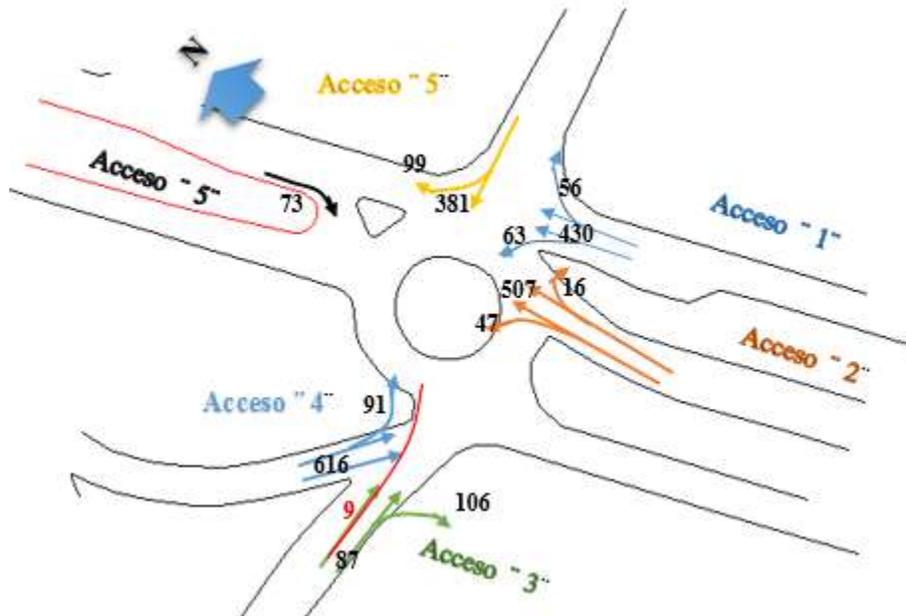
FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP Tabla N°16	demora ajustada para el grupo de carriles d sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,77	0,47	38	6,29	867	2,96	1	9,26	B	9,26	B
	MR											
	MD											
2	MI	0,69	0,47	38	5,96	1324	0,84	1,24	8,44	B	8,44	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,77	0,37	38	8,04	623	4,09	1	12,13	B	12,13	B
	MR											
	MD											
4	MI	0,98	0,47	38	7,49	1389	13,01	1,24	25,43	D	25,43	D
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											

Fuente: elaboración propia

Nota: salen un acceso congestionadas con un nivel de servicio D

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA TRES PASOS AL FRENTE (zona aeropuerto)

Figura N° 33 Volúmenes y giros de la Rotonda Tres Pasos al Frente Zona Aeropuerto



Fuente: elaboración propia

Tabla N°57 Módulo de entrada volumen y geometría Rotonda Tres Pasos al Frente (zona Aeropuerto)

ESTADO DE CIRCULACION DE LA VIA									
Acceso	Inclin. %	Veh. Pes. %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHP	Peatones (peat/h)	Ancho de carril	tipo de TL
			si	No Nm					
1	-0,66	1,6	S	16	0	0,9	53	4	3
2	0	4,4	N	0	0	0,9	48	3,6	3
3	2,36	0,5	N	0	0	0,9	45	4,2	3
4	2,1	4,0	N	0	0	0,9	146	4,5	2
5	1,12	0,6	N	0	0	0,9	129	4	3
6	-0,82	3,8	N	0	0	0,9	30	4,8	3

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 58 Formulario de modelo de ajustes de volumen Rotonda Tres Pasos al Frente (zona Aeropuerto)

FORMULARIO DEL MODULO DE AJUSTE DE VOLUMENES											
Acceso	Movimiento	volumen (v/h)	factor de punta FHP	tasa de flujo vp (v/h)	Grupo de carriles (N)	flujo de demanda no ajustada por grupo carriles vgi (v/h)	Numero de carriles (N)	Factor de utilizacion de carril U tabla N°7	flujo de demanda Ajustada vi(v/h)	prop. De MI o MD PMI o PMD	
1	MI	63	0,9	70		610	2	1,05	641	0,11	MI
	MR	430	0,9	478							
	MD	56	0,9	62						0,10	MD
2	MI	47	0,9	52		656	2	1,05	688	0,08	MI
	MR	507	0,9	563							
	MD	36	0,9	40						0,06	MD
3	MI	9	0,9	10		224	2	1,05	236	0,04	MI
	MR	87	0,9	97							
	MD	106	0,9	118						0,52	MD
4	MI	91	0,9	101		786	2	1,05	825	0,13	MI
	MR	616	0,9	684							
	MD									0,00	MD
5	MI					192				0,00	MI
	MR										
	MD	173	0,9	192						1,00	MD
6	MI					533	1	1	533	0,00	MI
	MR	381	0,9	423							
	MD	99	0,9	110						0,21	MD

Tabla N°59 Formulario de modelo de flujo de saturación Rotonda Tres Pasos al Frente (zona Aeropuerto)

FORMULARIO DE AJUSTE DE FLUJO DE SATURACION												
Acceso	Mvts. Grupo de carriles	flujo de saturación ideal So	Número de carriles (N)	Anchura de carriles (FA) tabla N°8	vehículo pesados (Fvp) tabla N°9	inclinación (FP) tabla N°10	estacionamiento (fE) tabla N°11	bloqueo por el autobús (fb) tabla N°12	tipo de zona (fa) tabla N°13	giros a la derecha (FMD) tabla N°14	giros a la izquierda (FMI) tabla N°15	flujo de saturación ajustado S(v/h)
1	MI	1900	2	1,044	0,986	1,003	0,91	1,0	0,90	0,985	0,973	3082
	MR											
	MD											
2	MI	1900	2	1,000	0,958	1,000	1,0	1,0	0,90	0,991	0,979	3177
	MR											
	MD											
3	MI	1900	2	1,067	0,995	0,988	1,0	1,0	0,90	0,921	1	3305
	MR											
	MD											
4	MI	1900	2	1,100	0,962	0,990	1,0	1,0	0,90	1,000	0,903	3232
	MR											
	MD											
5	MI		0									
	MR											
	MD											
6	MI	1900	1	1,133	0,964	1,004	1,0	1,0	0,90	0,969	1	1818
	MR											
	MD											

Tabla N° 60 Formulario de modelo de análisis de la capacidad Rotonda Tres Pasos al Frente (zona Aeropuerto)

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	641	3082	0,21	0,262	806	0,79	
	MR							
	MD							
2	MI	688	3177	0,22	0,308	978	0,70	
	MR							
	MD							
3	MI	236	3305	0,07	0,262	864	0,27	
	MR							
	MD							
4	MI	825	3232	0,26	0,308	995	0,83	
	MR							
	MD							
5	MI	0						
	MR							
	MD							
6	MI	533	1818	0,29	0,308	559	0,95	
	MR							
	MD							

Tabla N° 61 Formulario de modelo de análisis de Nivel de Servicio Rotonda Tres Pasos al Frente (zona Aeropuerto)

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,79	0,262	65	17,00	806	3,86	1	20,86	C	20,86	C
	MR											
	MD											
2	MI	0,70	0,308	65	15,11	978	1,62	1	16,73	C	16,73	C
	MR											
	MD											
3	MI	0,27	0,262	65	14,50	864	0,04	1	14,55	B	14,55	B
	MR											
	MD											
4	MI	0,83	0,308	65	15,89	995	3,23	1,24	23,72	C	23,72	C
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											
6	MI	0,95	0,308	65	16,75	559	19,67	1	36,43	D	36,43	D
	MR											
	MD											

Nota: sale un acceso congestionadas con un nivel de servicio D

3.6.2. CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO SIN SEMÁFORO

Para realizar la capacidad y nivel de servicio se procedió con los siguientes pasos

Paso 1: Los volúmenes de tráfico deben ser ajustados al factor de hora pico (para el análisis PHF = 0.9 esto debido a que los datos se registran cada hora). Se determina el flujo conflictivo Q_i y Q_j de la rotonda, el volumen de acceso también se ajusta

$$V_i = \frac{131}{0.9} = 146 \text{ veh/hr}$$

$Q_c = 1/2 Q_i + Q_j$ como Q_j son volumen que circulan al par no ocasionan conflicto se lo pone cero entonces el volumen de conflicto será $Q_c = 1/2 * 1091 = 546 \text{ veh/hora}$

Paso 2: Se calculó la capacidad potencial en movimiento utilizando la figura N°11 entrando con el volumen de conflicto

Da una capacidad igual a 557 veh/ hr

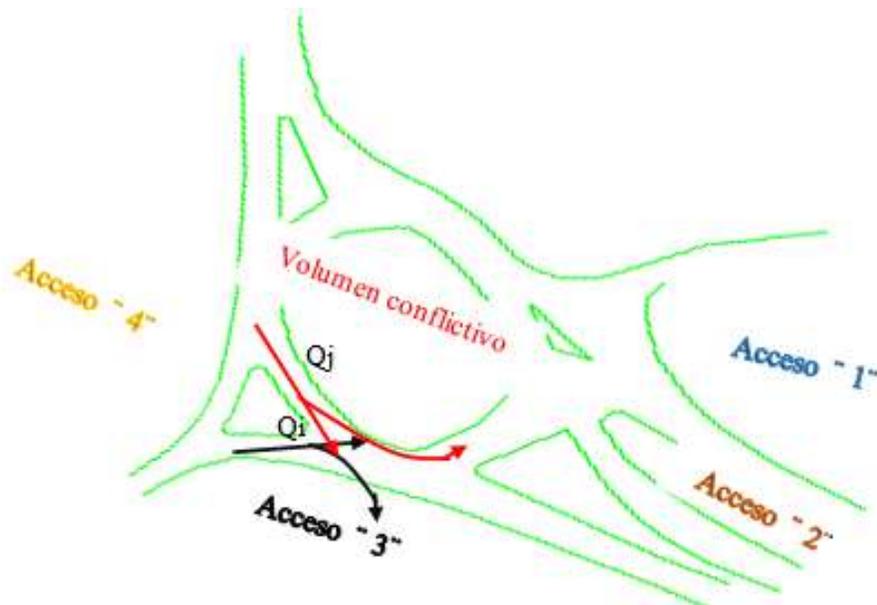
Paso 3: Determine el tiempo de demora de acceso con la ecuación muestra valores aceptables de demora, Éstos son ser comparados con los niveles de

$$d = \frac{3600}{557} + 900T \left(\frac{146}{577} - 1 + \sqrt{\left(\frac{146}{577} \right)^2 + \frac{3600}{450 * 1} * \frac{146}{577}} \right) = 8.76$$

Con este valor entrando a la tabla N° 17 da un nivel de servicio B del acceso sin semáforo.

- Resultados de la capacidad y nivel de servicio Rotonda San Martín acceso sin semáforo

Figura N°34 Volúmenes empleados del Puente San Martín acceso sin semáforo



Fuente: elaboración propia

Tabla N° 62 Ajustes de volúmenes Puente San Martín

movimiento del acceso	MI	MR	MD
volumen horario conflictivo $Q(Q_i+Q_j)$		610	646
Volumen V sin ajustar		544	86
FHP		0,9	0,9
volumen V_x (acceso sin semáforo) Ajustado		604	96

**Tabla N°63 Cálculo de la capacidad en movimiento Puente San Martín
acceso sin semáforo**

flujo conflictivo movimiento GD	$Q_c=1/2Q_i+Q_j$		
	$Q_c=$	323	v/h
capacidad potencial de un movimiento (Cp.) figura N° 11	$C_p=$	930	v/h

flujo conflictivo movimiento MR	$Q_c=1/2Q_x+Q_y$		
	$Q_c=$	305	v/h
capacidad potencial de un movimiento (Cp.) figura N° 11	$C_p=$	955	v/h

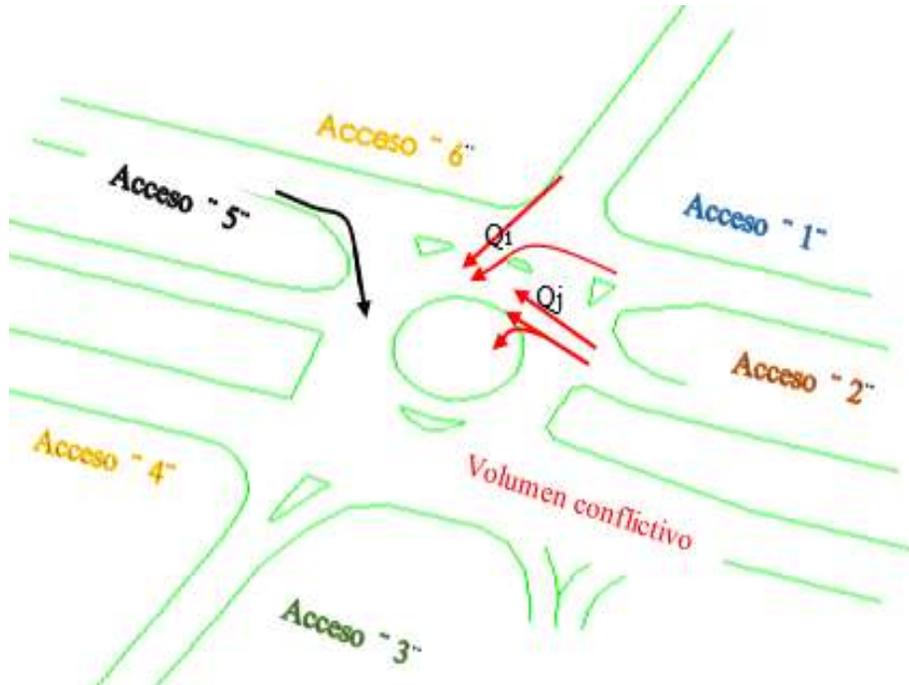
Fuente: elaboración propia

**Tabla N° 64 cálculo del nivel de servicio Puente San Martín acceso sin
semáforo**

capacidad del carril compartido						
$C_c=V_i/(V_i/C_m)$						
movimiento	$V_x(v/h)$	$C_p.(v/h)$	$C_c(v/h)$	relación v/c (X)	demora total media	NS
MR	604	930	933	0,75	11	B
MD	96	955				

- Resultados de la capacidad y nivel de servicio Rotonda Moto Méndez acceso sin semáforo

Figura N° 35 Volúmenes empleados Rotonda Moto Méndez acceso sin semáforo



Fuente: elaboración propia

Tabla N°65 Ajustes de volúmenes Rotonda Moto Méndez acceso sin semáforo

movimiento del acceso	MI	MR	MD
volumen horario conflictivo $Q(Q_i+Q_j)$ ya ajustados			1091
Volumen V sin ajustar			131
FHP			0,9
volumen V_x (acceso sin semáforo) Ajustado			146

Tabla N° 66 Cálculo de la capacidad en movimiento Rotonda Moto Méndez acceso sin semáforo

flujo conflictivo movimiento GD	Qc=1/2Qi+Qj		
	Qc=	546	v/h
capacidad potencial de un movimiento (Cp.) figura N° 11	Cp.=	680	v/h

Nota; Qi se pone en cero por q no ocasiona conflicto

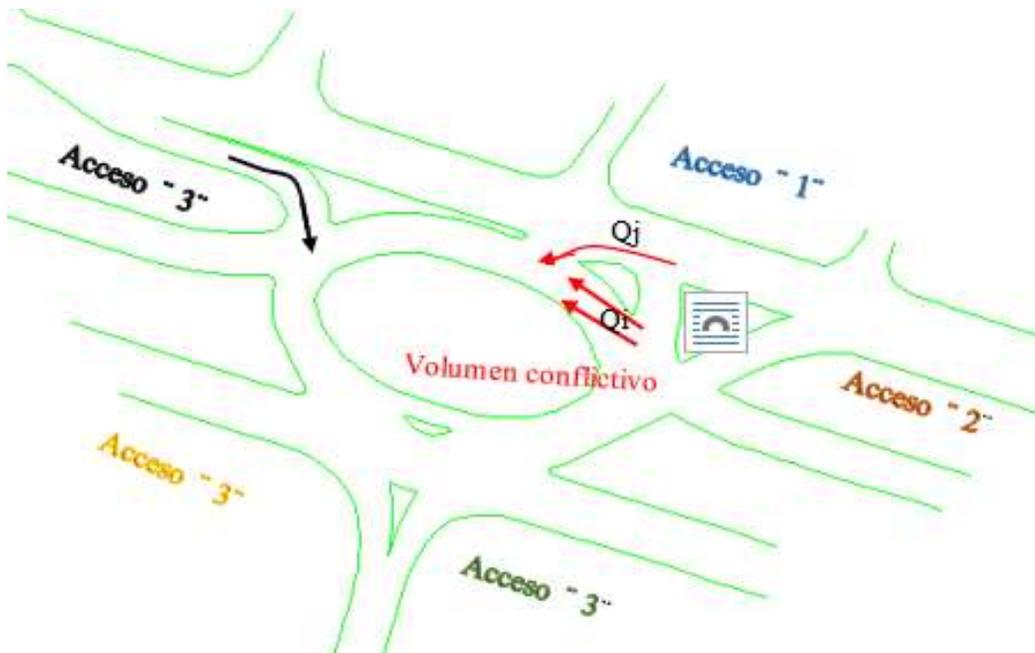
Tabla N° 67 Cálculo del nivel de servicio Rotonda Moto Méndez acceso sin semáforo

capacidad del carril compartido						
Cc=Vi/(Vi/Cm)						
movimiento	Vx(v/h)	Cm(v/h)	Cc(v/h)	relación v/c (X)	demora total media	NS
MD	146	680		0,21	6,74	B

Fuente: elaboración propia

- Resultados de la capacidad y nivel de servicio Rotonda San Gerónimo acceso sin semáforo

**Figura N°36 Volúmenes empleados Rotonda San Gerónimo
acceso sin semáforo**



Fuente: elaboración propia

**Tabla N°68 Ajustes de volúmenes Rotonda San Gerónimo acceso sin
semáforo**

movimiento del acceso	MI	MR	MD
volumen horario conflictivo $Q(Q_i+Q_j)$			642
Volumen V sin ajustar			218
FHP			0,9
volumen V_x (acceso sin semáforo) Ajustado			242

Tabla N° 69 Cálculo de la capacidad en movimiento Rotonda San Gerónimo acceso sin semáforo

flujo conflictivo movimiento GD	Qc=1/2Qi+Qj		
	Vc=	321	v/h
capacidad potencial de un movimiento (Cp.) figura N° 11	Cp.=	933	v/h

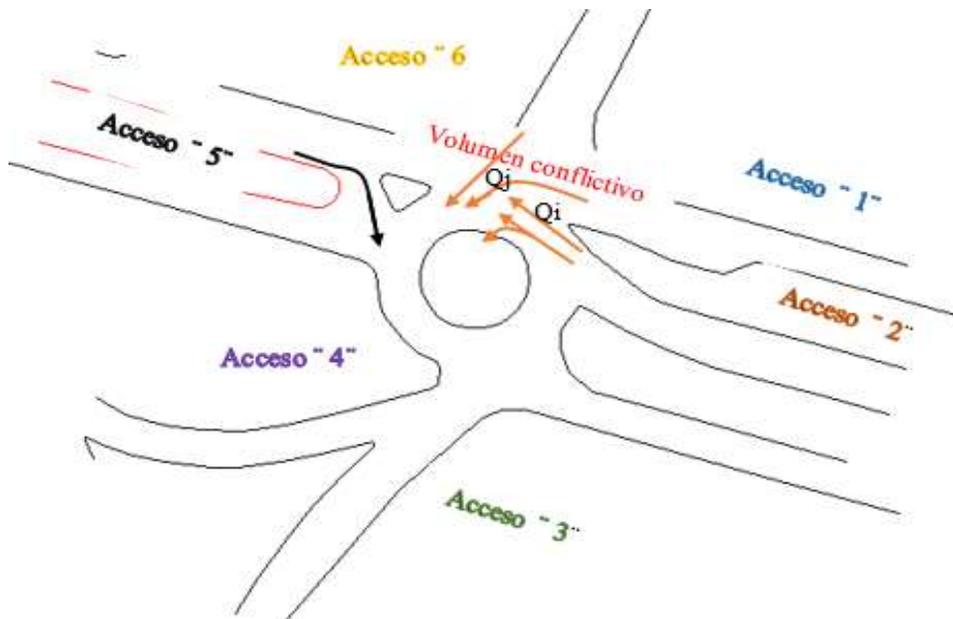
Tabla N° 70 Cálculo del nivel de servicio Rotonda San Gerónimo acceso sin semáforo

capacidad del carril compartido						
Cc=Vi/(Vi/Cm)						
movimiento	Vx(v/h)	Cm(v/h)	Cc(v/h)	relación v/c (X)	demora total media	NS
MD	242	933		0,26	5,21	B

Fuente: elaboración propia

- Resultados de la capacidad y nivel de servicio Rotonda tres pasos al frente zona aeropuerto acceso sin semáforo

Figura N° 37 Volúmenes empleados Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto acceso sin semáforo



Fuente: elaboración propia

Tabla N°71 Ajustes de volúmenes Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto acceso sin semáforo

movimiento del acceso	MI	MR	MD
volumen horario conflictivo $Q(Q_i+Q_j)$			556
Volumen V sin ajustar			173
FHP			0,9
volumen V_x (acceso sin semáforo) Ajustado			192

Tabla N° 72 Cálculo de la capacidad en movimiento Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto acceso sin semáforo

flujo conflictivo movimiento GD	Qc=1/2Qi+Qj		
	Qc=	278	v/h
capacidad potencial de un movimiento (Cp.) figura N° 11	Cp.=	980	v/h

Tabla N° 73 Cálculo del nivel de servicio Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto acceso sin semáforo

capacidad del carril compartido						
Cc=Vi/(Vi/Cm)						
movimiento	Vx(v/h)	Cm(v/h)	Cc(v/h)	relación v/c (X)	demora total media	NS
MD	192	980		0,20	4,57	A

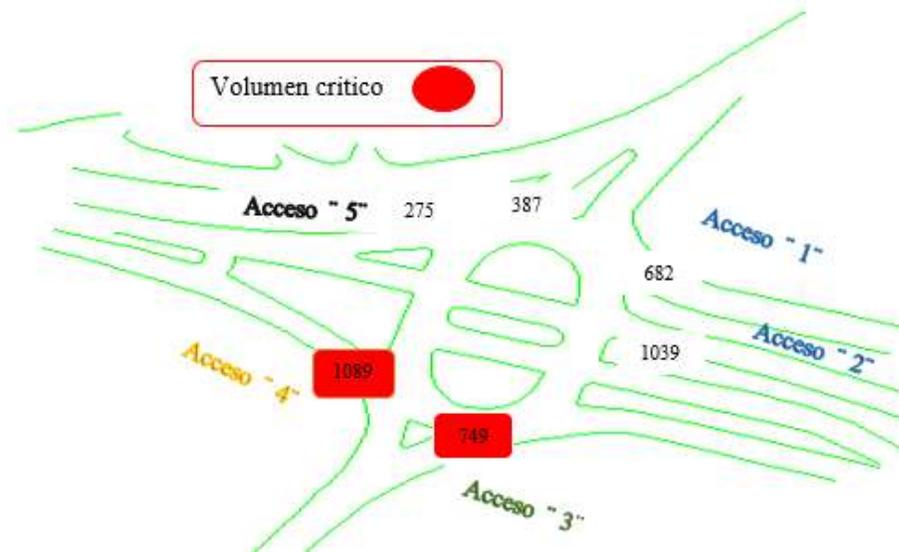
Fuente: elaboración propia

3.7. PLANTEAMIENTO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS SEMÁFOROS

Se realizara la optimización de los semáforos en cuatro rotondas, donde el nivel de servicio es mayor D donde se empieza a notar el congestionamiento de acuerdo a los tiempos de demora; son superiores para ello se planteara nuevos ciclos y nuevos tiempos de fase

3.7.1. REDIMENSIONAMIENTO DE TIEMPOS DE CICLOS Y FASES

Figura N° 38 Volúmenes críticos para el diseño de tiempo de semafORIZACIÓN Rotonda Puente Bolívar



Fuente: elaboración propia

Calle principal: Jaime paz Zamora

Calles Secundarias: calle padilla e ingreso al temático

Tiempo De Ciclo

$$t=2,5$$

$$f=0,4$$

$$i=0,1$$

$$\text{Vel.de punto (V): } 34,4 \text{ km/h}$$

$$\text{Distancia (D): } 32,21 \text{ m}$$

$$C = 7.2 \cdot \frac{D}{V}$$

$$C=7 \text{ sg}$$

Como el tiempo calculado es menor al mínimo requerido, se asume:

$$C=53 \text{ sg.}$$

Tiempo Amarillo

$$T_{ap} = 2 \text{ seg}$$

$$T_{as} = 2 \text{ seg}$$

Tiempos de Fase Verde:

$$\text{Volumen C/ PRINCIPAL} = 1084 \text{ veh/hr}$$

$$\begin{aligned} \text{Volumen C/ SEGUNDARIA} &= 749 \text{ veh/hr} \\ \frac{T_{vp}}{T_{vs}} = \frac{V_p \cdot T_{ap}}{V_s \cdot T_{as}} &\Rightarrow \frac{T_{vp}}{T_{vs}} = \frac{2168}{1498} = 1,45 \end{aligned}$$

$$\Rightarrow T_{vp} = 1,447 * T_{vs} \dots\dots\dots \text{ec.(1)}$$

$$C = T_{vp} + T_{vs} + T_{ai} + T_{av}$$

$$T_{vp} + T_{vs} = 49 \dots\dots\dots \text{ec.(2)}$$

De ec. (1) y (2)....

$$1,45 T_{vs} + T_{vs} = 49$$

$$\dots\dots\dots \Rightarrow T_{vs} = 20 \text{ sg.}$$

$$T_{vp} = 1,447 * 20$$

$$T_{vp} = 29 \text{ seg}$$

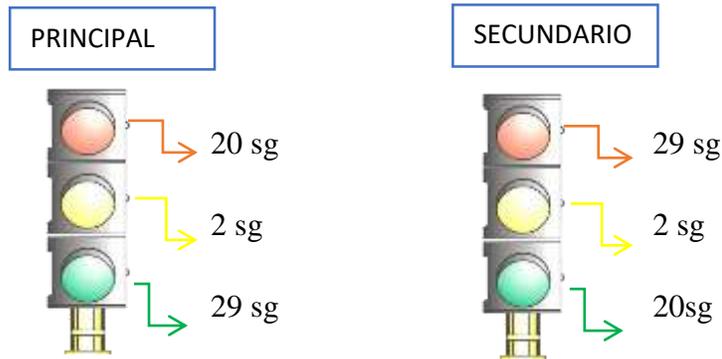


Tabla N° 74 Nuevo diseño del tiempo ciclo y tiempo fases Rotonda Puente Bolívar

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	20	29	53
2	2	2	20	29	53
3	2	2	29	20	53
4	2	2	20	29	53
5	2	2	29	20	53
6	2	2	20	29	53

Fuente: elaboración propia

Tabla N° 75 Nuevo diseño del tiempo ciclo y tiempo fases Rotonda Moto Méndez

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	4	22	38	66
2	2	4	22	38	66
3	2	4	38	22	66
4	2	4	22	38	66
5					
6	2	4	38	22	66

Nota: se cómo amarillo de ida 2 seg y amarillo 4 sg de vuelta porque hay flujo peatonal entre 743-270 personas que pasan por los accesos acceso

Tabla N° 76 Nuevo diseño del tiempo ciclo y tiempo fases Rotonda San Gerónimo

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	3	12	21	38
2	2	3	12	21	38
3	2	3	21	12	38
4	2	3	12	21	38
5					

Nota: se cómo amarillo de ida 2 seg y amarillo de vuelta 3sg porque hay flujo peatonal 120 -57personas que pasan por los accesos acceso

Tabla N° 77 Nuevo diseño del tiempo ciclo y tiempo fases Rotonda Tres Pasos al Frente Zona Aeropuerto

Acceso	Tiempo en segundos				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
1	2	2	36	25	65
2	2	2	36	25	65
3	2	2	25	36	65
4	2	2	36	25	65
5					
6	2	2	25	36	65

Fuente: elaboración propia

3.7.2. RECALCULO DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO

Se realizó el cálculo con el nuevo tiempo de ciclo y tiempo fases para las 4 rotondas que su nivel de servicio salió mayor a C

- Resultado del nuevo cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA PUENTE BOLÍVAR (calle padilla)

Tabla N° 78 Formulario de modelo del nuevo análisis de la capacidad Rotonda PUENTE BOLÍVAR (calle padilla)

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	796	2521	0,32	0,547	1379	0,58	
	MR							
	MD							
2	MI	1212	2834	0,43	0,547	1550	0,78	
	MR							
	MD							
3	MI	874	2812	0,31	0,377	1061	0,82	
	MR							
	MD							
4	MI	1271	2652	0,48	0,547	1451	0,88	
	MR							
	MD							
5	MI	306	1451	0,21	0,377	547	0,56	
	MR							
	MD							
6	MI	452	3377	0,13	0,547	1848	0,24	
	MR							
	MD							

Tabla N° 79 Formulario de modelo del nuevo análisis de Nivel de Servicio Rotonda PUENTE BOLÍVAR (calle padilla)

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,58	0,547	53	6,03	1379	0,45	1	6,49	B	6,49	B
	MR											
	MD											
2	MI	0,78	0,547	53	7,22	1550	1,42	1,24	10,71	B	10,71	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,82	0,377	53	11,33	1061	3,78	1	15,11	C	15,11	C
	MR											
	MD											
4	MI	0,88	0,547	53	7,93	1451	3,49	1,24	14,16	B	14,16	B
	MR											
	MD											
5	MI	0,56	0,377	53	9,89	547	0,98	1	10,87	B	10,87	B
	MR											
	MD											
6	MI	0,24	0,547	53	4,77	1848	0,01	1	4,78	A	4,78	A
	MR											
	MD											

- Resultado del nuevo cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA MOTO MÉNDEZ (El Tejar)

Tabla N°80 Formulario de modelo del nuevo análisis de la capacidad Rotonda MOTO MÉNDEZ

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	999	1839	0,54	0,58	1059	0,94	
	MR							
	MD							
2	MI	1328	3188	0,42	0,58	1835	0,72	
	MR							
	MD							
3	MI	416	1647	0,25	0,33	549	0,76	
	MR							
	MD							
4	MI	1467	2958	0,50	0,58	1703	0,86	
	MR							
	MD							
5	MI	0						
	MR							
	MD							
6	MI	263	1824	0,14	0,33	608	0,43	
	MR							
	MD							

Tabla N°81 Formulario de modelo del nuevo análisis de nivel de servicio Rotonda MOTO MÉNDEZ

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d _{ia} sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,94	0,58	66	9,88	1059	11,63	1	21,51	C	21,51	C
	MR											
	MD											
2	MI	0,72	0,58	66	7,74	1835	0,76	1,24	10,54	B	10,54	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,76	0,33	66	14,91	549	4,15	1	19,06	C	19,06	C
	MR											
	MD											
4	MI	0,86	0,58	66	8,95	1703	2,61	1,24	14,34	C	14,34	C
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											
6	MI	0,43	0,33	66	13,03	608	0,32	1	13,35	B	13,35	B
	MR											
	MD											

- Resultado del nuevo cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA SAN GERÓNIMO (av. Jaime paz Zamora y av. alto de la alianza)

Tabla N° 82 Formulario de modelo del nuevo análisis de la capacidad Rotonda SAN GERÓNIMO

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	667	1830	0,36	0,55	1011	0,66	
	MR							
	MD							
2	MI	919	2796	0,33	0,55	1545	0,59	
	MR							
	MD							
3	MI	480	1690	0,28	0,32	534	0,90	
	MR							
	MD							
4	MI	1367	2933	0,47	0,55	1621	0,84	
	MR							
	MD							
5	MI							
	MR							
	MD							

Tabla N°83 Formulario de modelo del nuevo análisis de Nivel de Servicio Rotonda SAN GERÓNIMO

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,66	0,55	38	4,55	1011	1,13	1	5,67	B	5,67	B
	MR											
	MD											
2	MI	0,59	0,55	38	4,31	1545	0,35	1,24	5,77	B	5,77	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,90	0,32	38	9,44	534	12,86	1	22,31	C	22,31	C
	MR											
	MD											
4	MI	0,84	0,55	38	5,41	1621	2,32	1,24	9,59	B	9,59	B
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											

- Resultado del nuevo cálculo de la capacidad y nivel de servicio ROTONDA TRES PASOS AL FRENTE (zona aeropuerto)

Tabla N° 84 Formulario de modelo del nuevo análisis de la capacidad rotonda tres pasos al frente (zona Aeropuerto)

FORMULARIO DEL MODULO DE ANALISIS DE LA CAPACIDAD								
Acceso	Movimiento	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	flujo de saturación S (v/h)	relación de flujo v/s	relación de verde g/c	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	grupo de carriles critico (Xc)
1	MI	641	3082	0,21	0,385	1185	0,54	
	MR							
	MD							
2	MI	688	3177	0,22	0,385	1222	0,56	
	MR							
	MD							
3	MI	236	3305	0,07	0,554	1830	0,13	
	MR							
	MD							
4	MI	825	3232	0,26	0,385	1243	0,66	
	MR							
	MD							
5	MI	0						
	MR							
	MD							
6	MI	533	1818	0,29	0,554	1007	0,53	
	MR							
	MD							

Tabla N° 85 Formulario de modelo del nuevo análisis de Nivel de Servicio rotonda tres pasos al frente (zona aeropuerto)

FORMULARIO DEL MODULO DEL NS												
Acceso	Movimiento	relación v/c (X) del grupo de carriles	relación de verde g/c (v/h)	longitud del ciclo C(seg)	demora uniforme d1 sg/v	capacidad de grupo de carriles c (v/h)	Demora incren. d2 sg/v	factor de ajuste FP TablaN°16	demora ajustada para el grupo de carriles d ia sg/v	NS del grupo de carriles	demora en el acceso sg/v	NS del acceso
1	MI	0,54	0,385	65	11,81	1185	0,40	1	12,21	B	12,21	B
	MR											
	MD											
2	MI	0,56	0,385	65	11,94	1222	0,46	1	12,40	B	12,40	B
	MR											
	MD											
3	MI	0,13	0,554	65	5,29	1830	0,00	1	5,30	B	5,30	B
	MR											
	MD											
4	MI	0,66	0,385	65	12,56	1243	0,71	1,24	16,46	C	16,46	C
	MR											
	MD											
5	MI											
	MR											
	MD											
6	MI	0,53	0,554	65	6,96	1007	0,43	1	7,39	B	7,39	B
	MR											
	MD											

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS

La relación v/s menor a 1 es aceptado en nuestro estudio.

El nivel de servicio aceptado en nuestro estudio es hasta el nivel C donde su retraso es entre 15 y 25 seg por vehículo, ya que se tiene un número significativo de vehículos parados .

- ROTONDA SAN MARTÍN(av. Víctor paz Estensoro y calle 15 de abril)

Con los resultados, esta rotonda cumple con la relación v/c donde son menores que 1, donde la demanda actual no excede la capacidad pero los acceso 1 y 3 están cerca de 1 esto indica que hay muy poca capacidad en estos dos accesos pero están dentro de los valores aceptables.

El acceso 3 no está semaforizado pero cumple la relación de v/c menor a 1

Tabla N° 86 Análisis de capacidad con relación v/c

Acceso	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	682	733	0,93
2	587	1295	0,45
3	700	933	0,75
4	1231	1468	0,84

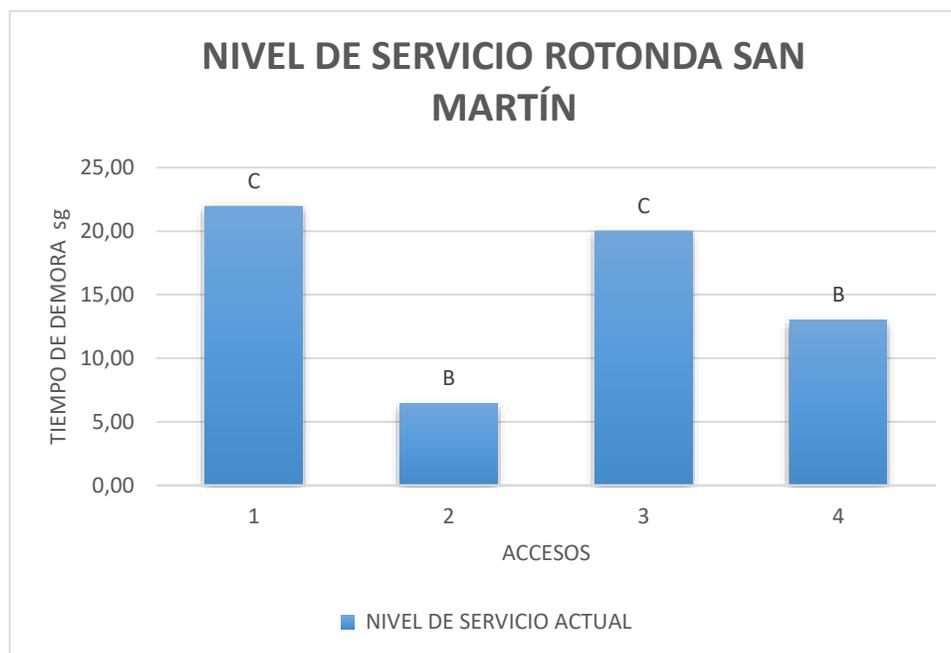
Fuente: elaboración propia

El nivel de servicio que tiene esta rotonda está entre nivel de servicio B y C e indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación donde las demoras son mínimas, sus velocidades son aceptables

El acceso 3 que no está semaforizado, está en un nivel de servicio C

Como esta rotonda cumple las condiciones, no se realizó ningún cambio en el tiempo ciclo ni tiempo de fases.

Figura N°39 Histograma del Nivel Servicio Rotonda San Martín



Fuente: elaboración propia

- ROTONDA PUENTE BICENTENARIO (av. Víctor paz Estensoro y calle sucre)

En esta rotonda los resultados de la relación v/c son menores que 1 quiere decir que sus movimientos están adecuados al ciclo y la distribución de verde es apropiada, pero en el acceso 1 esta aproximado a casi la relación $v/c= 1$ donde se puede apreciar la poca capacidad que tiene pero cumple con lo establecido

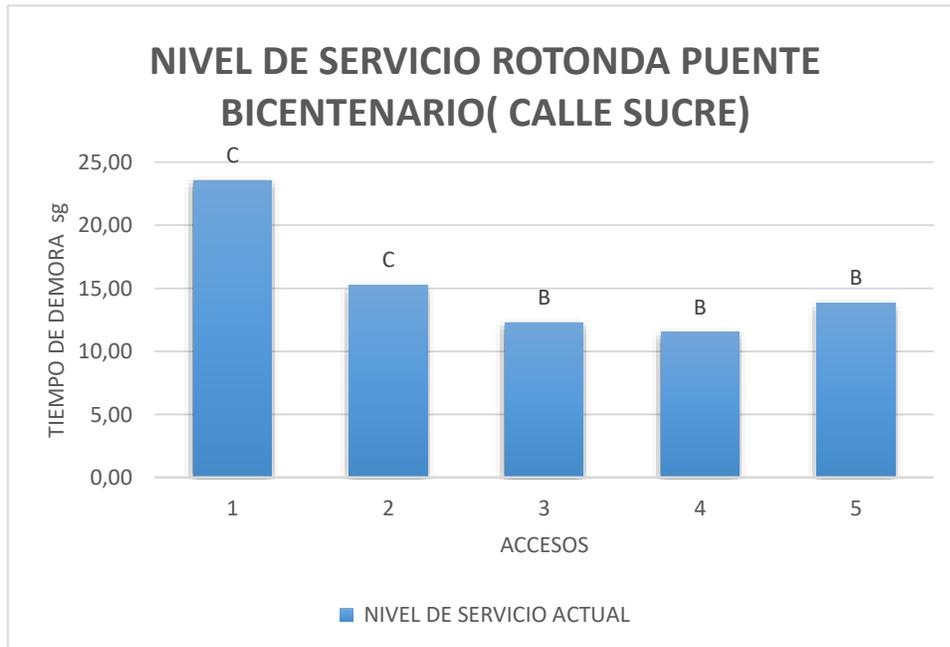
Tabla N°87 Análisis de la capacidad vehicular actual puente bicentenario

Acceso	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	651	696	0,94
2	985	1145	0,86
3	872	1101	0,79
4	1021	1350	0,76
5	418	545	0,77

Fuente: elaboración propia

El nivel de servicio está entre B y C, indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación donde las demoras son aceptables, en el acceso 1 tiene una mayor demora de 23.54 sg la circulación sigue siendo estable.

Figura N° 40 Histograma del Nivel Servicio Rotonda Puente Bicentenario



Fuente: elaboración propia

Por ello en esta rotonda no se realizó ningún cambio por que cumple con lo establecido

- ROTONDA PUENTE BOLÍVAR (av. Jaime paz Zamora y calle padilla)

En esta rotonda el acceso 4 esta con relación de v/c critica mayor que 1, la demanda actual en este acceso excede la capacidad, hay fallas actuales, el tiempo verde no está repartido adecuadamente, los demás accesos cumplen la relación v/c menor a 1 y otro próximos a 1.

Por lo cual se mantuvo el ciclo actual y se rediseño los nuevos tiempos de fase

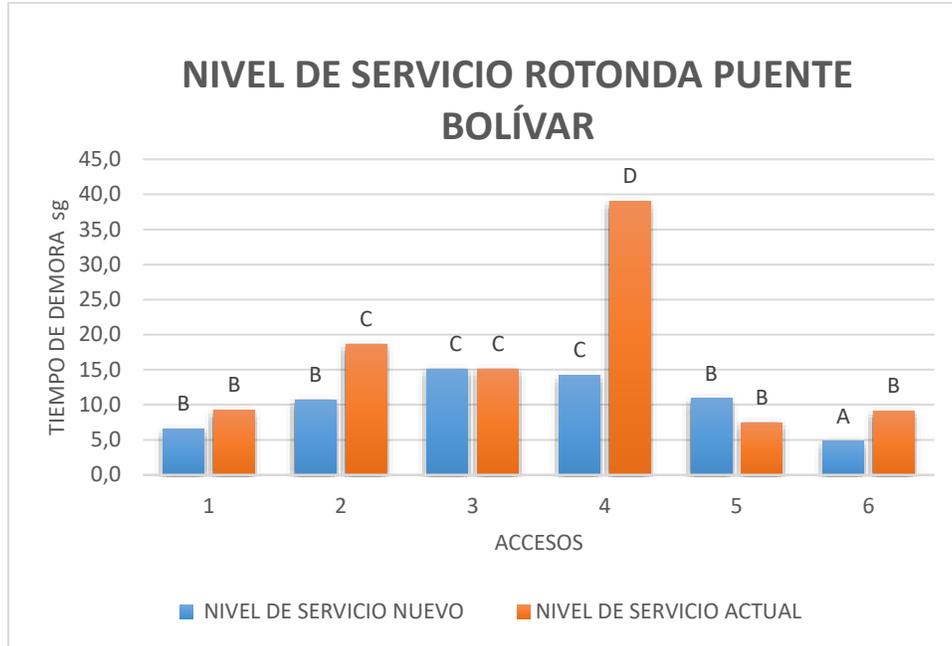
Tabla N° 88 Análisis del situación actual y nueva de la capacidad rotonda puente bolívar

Acceso	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	actual		nuevo	
		capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	796	1189	0,67	1379	0,58
2	1212	1337	0,91	1550	0,78
3	874	1061	0,82	1061	0,82
4	1271	1251	1,02	1451	0,88
5	306	684	0,45	547	0,56
6	452	1275	0,35	1848	0,24

Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 91 observamos el cambio en la capacidad que se realizó al mantener el ciclo y cambiar el tiempo de fases, la capacidad nueva con la capacidad actual, las relación v/c baja en los acceso (1, 2, 4,6) se mantiene en el acceso 3 y en el acceso 5 sube llegando a cumplir las condiciones dadas para una circulación en la rotonda

Figura N° 41 Histograma Nivel de Servicio actual y nuevo Rotonda Puente Bolívar



Al realizar el mismo tiempo ciclo y el nuevo cambio de tipos fases de la rotonda el nivel de servicio mejoro ya que el acceso 4 era de congestionamiento y relación v/c eran altos, baja de un Nivel Servicio D a un nivel de servicio C con sincronización regulada, donde los otros accesos se mantuvieron con su mismo nivel bajando un poco las demoras

- ROTONDA MOTO MÉNDEZ (El tejear ,av. Jaime paz Zamora y calle España)

En esta rotonda el acceso 1 y 4 esta con relación de v/c critica mayor que 1, nos indica que el semáforo no puede acomodarse con la combinación de los flujos críticos, la demanda actual en estos accesos excede la capacidad donde hay fallas actuales de ciclo como también los tiempos de fases están inadecuados, los demás accesos cumple la relación v/c menor a 1 y otros próximos a 1.

Por lo cual se rediseño un nuevo tiempo ciclo de semáforo 66 seg con nuevas fases de 38 verde y 22 rojo con amarillo de ida 2 y amarillo de vuelta 4 en la calle principales

Se puso un amarillo de vuelta de 4 sg por el gran movimiento de flujo peatonal

Tabla N° 89 Análisis de la situación actual y nueva de la capacidad rotonda moto Méndez

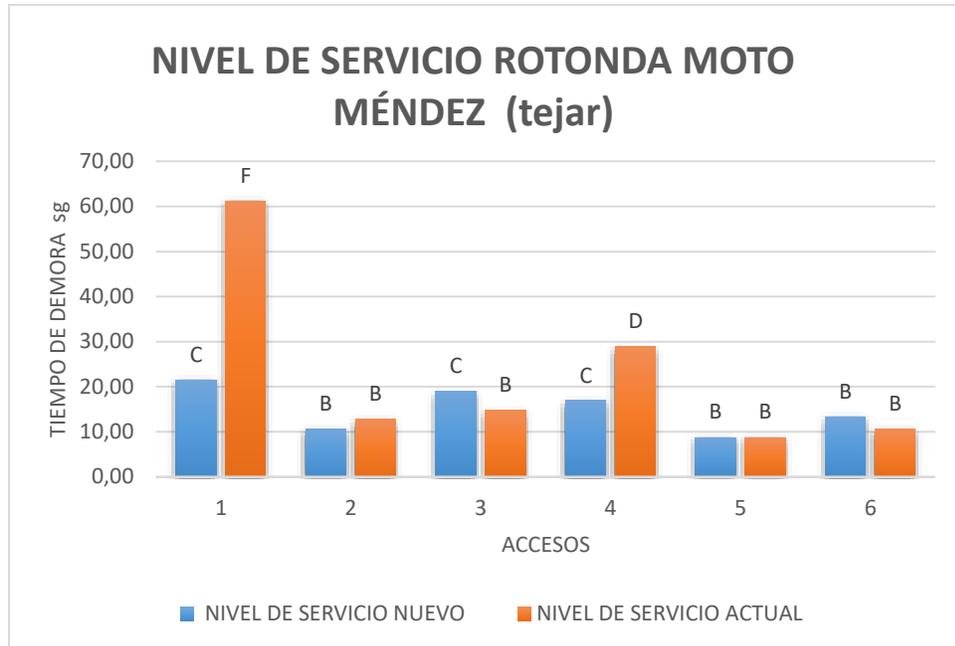
Acceso	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	actual		nuevo	
		capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	999	919	1,09	1059	0,94
2	1328	1594	0,83	1835	0,72
3	416	560	0,74	549	0,76
4	1467	1479	0,99	1703	0,86
5	146	680	0,21	680	0,21
6	263	584	0,45	608	0,43

Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 92 observamos el cambio en la capacidad que se realizó al cambiar de ciclo y tiempo de fases, la capacidad actual con la capacidad nueva donde las relación v/c bajan en el acceso (1, 2, 4,6), en el acceso 3 sube muy poco, llegando a cumplir las condiciones dadas para una circulación en la rotonda

En el acceso 5 que no cuenta con semaforización donde se realizó otro procedimiento de cálculo cumple con una buena relación de v/c se mantuvo sin semáforo

Figura N° 42 Histograma del Nivel Servicio actual y nuevo Rotonda Moto Méndez



Fuente: elaboración propia

Al realizar el cambio del tiempo ciclo de la rotonda el nivel de servicio mejoro, ya que el acceso (1, 4) era de congestionamiento y la relación v/c eran altos, bajan de un Nivel de Servicio F a un nivel de servicio C y de un nivel de servicio D al C con sincronización regulada, donde los otros acceso se mantuvieron con su mismo nivel bajando un poco las demoras, el acceso 3 subió a Nivel de Servicio C, pero que está dentro de lo permitido

- ROTONDA SAN GERONIMO (av. Jaime paz Zamora y av. alto de la alianza)

En esta rotonda notamos el nivel de servicio D con su relación v/c cerca de representa situaciones con una muy poca capacidad esto es una sincronía razonable y existe demora inaceptable esto se da por las siguientes razones existe una mala distribución de tiempos de fase, se debe revisar los tiempos de verde ya que tiene una distribución desproporcionada disponible

Por lo cual se mantuvo el tiempo ciclo de semáforo 38 seg y se hizo una nueva distribución de fases 21 seg verde calle principal 12 sg de roja verde calle secundaria con amarillo de ida 2 y amarillo de vuelta 3.

En el acceso 5 que no cuenta con semaforización cumple con una buena relación de c/v se mantuvo sin semáforo

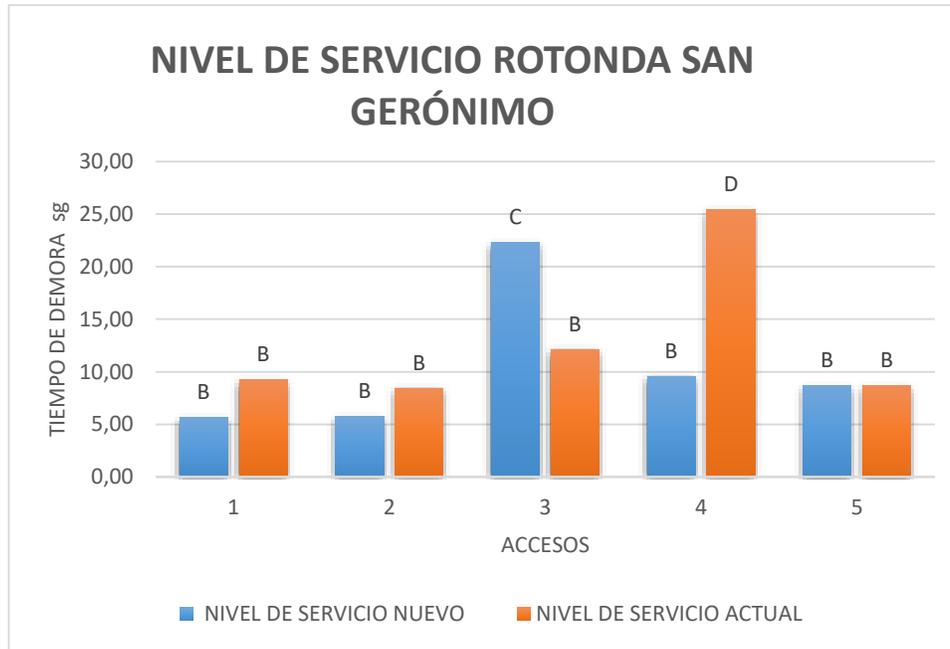
TablaN°90 Análisis de la situación actual y nueva de la capacidad rotonda san Gerónimo

Acceso	flujo de demanda ajustada v_i (v/h)	actual		nuevo	
		capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	667	867	0,77	1011	0,66
2	919	1324	0,69	1545	0,59
3	480	623	0,77	534	0,9
4	1367	1389	0,98	1621	0,84
5	242	933	0,26	933	0,26

Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 93 observamos el cambio en la capacidad que se realizó al mantener el tiempo ciclo y tiempo de fases, la capacidad actual con la capacidad nueva donde las relación v/c bajan en el acceso (1, 2,4), en el acceso 3 sube, llegando a cumplir las condiciones dadas para una circulación en la rotonda

Figura N° 43 Histograma del NS actual y nuevo Rotonda San Gerónimo



Fuente: elaboración propia

Al mantener el tiempo ciclo de la rotonda, el nivel de servicio mejoro ya que el acceso 4 era de congestionamiento y relación v/c eran próximo a 1, bajan de un Nivel Servicio D a un nivel de servicio B con sincronización regulada flujo estable, donde los otros acceso se mantuvieron con su mismo nivel bajando un poco las demoras, el acceso 3 subió a Nivel Servicio C pero que está dentro de lo permitido

- **ROTONDA TRES PASOS AL FRENTE (zona Aeropuerto)**

En esta rotonda notamos el nivel de servicio D con su relación v/c cerca de 1 representa situaciones con una muy poca capacidad esto es una sincronía razonable y existe demora inaceptable esto se da por las siguientes razones por la mala distribución de tiempos de fase.

Por lo cual se mantuvo el ciclo actual y cambiando el tiempo fases, tiempo ciclo de semáforo 65 seg con nuevas fases de 36 verde y 25 rojo con amarillo de ida 2 y amarillo de vuelta 2 en la calle principales

En el acceso 5 que no cuenta con semaforización se cumple con una buena relación de c/v se mantuvo sin semáforo

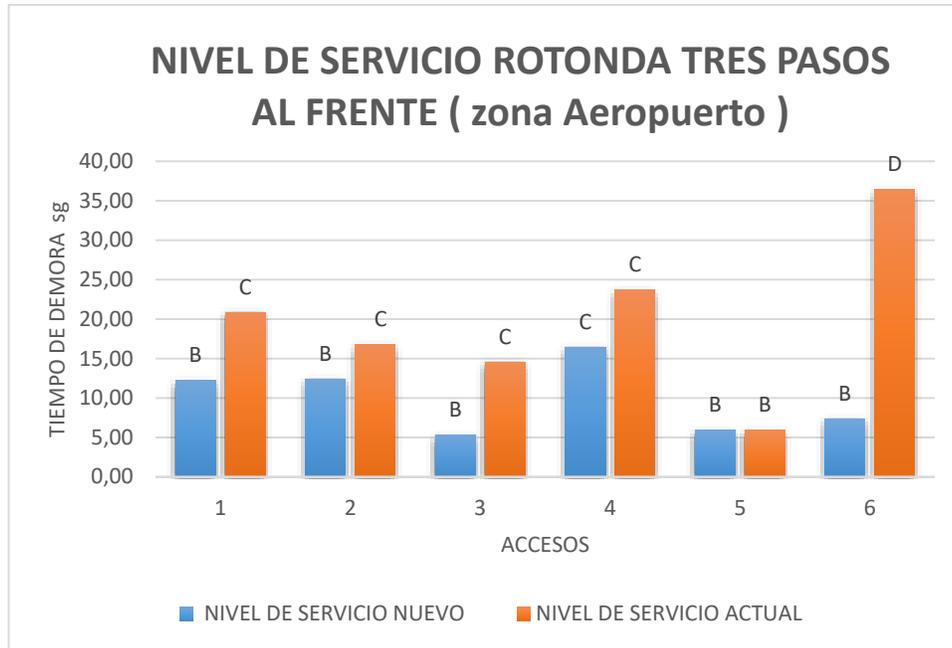
Tabla N°91 Análisis de la situación actual y nueva de la capacidad Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto

Acceso	flujo de demanda ajustada vi (v/h)	actual		nuevo	
		capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles	capacidad de grupo de carriles v/h (c)	relación v/c (X) del grupo de carriles
1	641	806	0,79	1185	0,54
2	688	978	0,7	1222	0,56
3	236	864	0,27	1830	0,13
4	825	995	0,83	1243	0,66
5	192	980	0,20	980	0,20
6	533	559	0,95	1007	0,53

Fuente: elaboración propia

En la tabla N° 94 observamos el cambio en la capacidad que se realizó al mantener el tiempo ciclo y tiempo de fases, la capacidad actual con la capacidad nueva donde las relación v/c bajan en el acceso (1, 2, 3, 4,5), llegando a cumplir las condiciones dadas para una circulación en la rotonda

Figura N° 44 Histograma del Nivel Servicio actual y nuevo Rotonda tres pasos al frente zona Aeropuerto



Fuente: elaboración propia

Se mantuvo el tiempo ciclo de la rotonda, se cambió el tiempo fases: el nivel de servicio mejoro ya que el acceso 6 era de congestionamiento y relación v/c eran próximo a 1 bajan de un Nivel de Servicio D a un nivel de servicio B con sincronización regulada las demoras son pocas, el acceso 3 se mantuvo a Nivel de Servicio C, pero que está dentro de lo permitido.

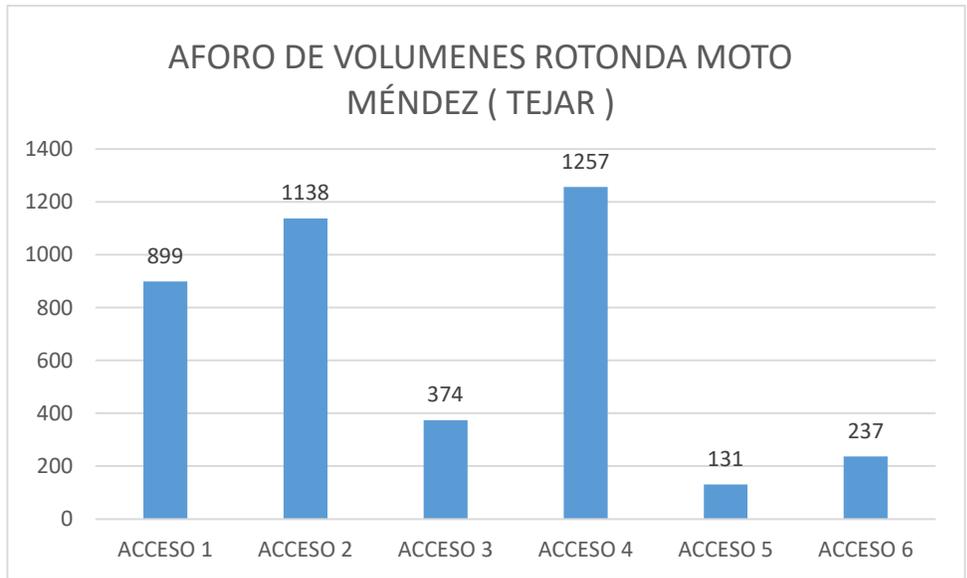
CAPITULO IV CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- Luego de la realización de los aforos continuos diarios se concluye que las horas pico son 7:00 a 8:00 - 12:00 a 13:00 y 18: 00 a 19: 00 influenciadas por las actividades económicas, educacionales y comerciales propias de la ciudad de Tarija.
- Los aforos realizados en las rotondas de estudio nos dan como resultado que el mayor flujo peatonal se tiene en la rotonda Moto Méndez (Tejar) con un volumen peatonal máximo de 743 peatones/hora.

Acceso	Peatones (peat/h)
1	270
2	280
3	743
4	731
5	468
6	308

- De los resultados obtenidos en el aforo de los volúmenes de tráfico vehicular y peatonal se concluye que la rotonda de mayor volumen de tráfico es la rotonda moto Méndez (tejar) donde el acceso más volumen vehicular alcanza los 1257 veh/h,



- Del procesamiento de la información y la determinación de la Capacidad Vehicular en las rotondas se tienen como conclusión que las rotondas con mayor capacidad son las rotonda del puente Bolívar, moto Méndez, san Gerónimo y tres pasos al frente zona aeropuerto y las con menor capacidad las rotonda puente san Martín y puente Bicentenario.
- Se concluye con el estudio que dos de las seis rotondas en estudio aún se encuentran en Nivel de Servicio Estable como ser: la rotonda del puente san Martín y la rotonda del puente bicentenario con Nivel de Servicio C para cada intersección.

Rotonda San Martín cumplen	
Acceso	NS del acceso
1	C
2	B
3	C
4	B

Rotonda puente Bicentenario cumplen	
Acceso	NS del Acceso
1	C
2	C
3	B
4	B

--	--

5	B
---	---

- De las rotondas en estudio luego de la determinación de los Niveles de Servicio se concluye que cuatro de ellas tiene un Nivel de Servicio Inestable.

rotonda puente Bolívar no cumple	
Acceso	NS del acceso
1	B
2	C
3	C
4	D
5	B
6	B

Rotonda moto Méndez no cumple	
Acceso	NS del acceso
1	F
2	B
3	C
4	D
5	B
6	B

Rotonda san Gerónimo no cumple	
Acceso	NS del acceso
1	B
2	B
3	B
4	D
5	B

rotonda aeropuerto no cumple	
Acceso	NS del acceso
1	C
2	C
3	B
4	C
5	B
6	D

- Como resultado del análisis de comportamiento de la semaforización de las rotondas se concluye que la rotonda Moto Méndez debe modificarse el ciclo y fases para ser concordante con los volúmenes de tráfico vehicular que tiene la rotondas, cuyos valores óptimos son los siguientes:

Acceso	Rotonda Moto Méndez				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
av. Principal	2	4	22	38	66
calle secundaria	2	4	38	22	66

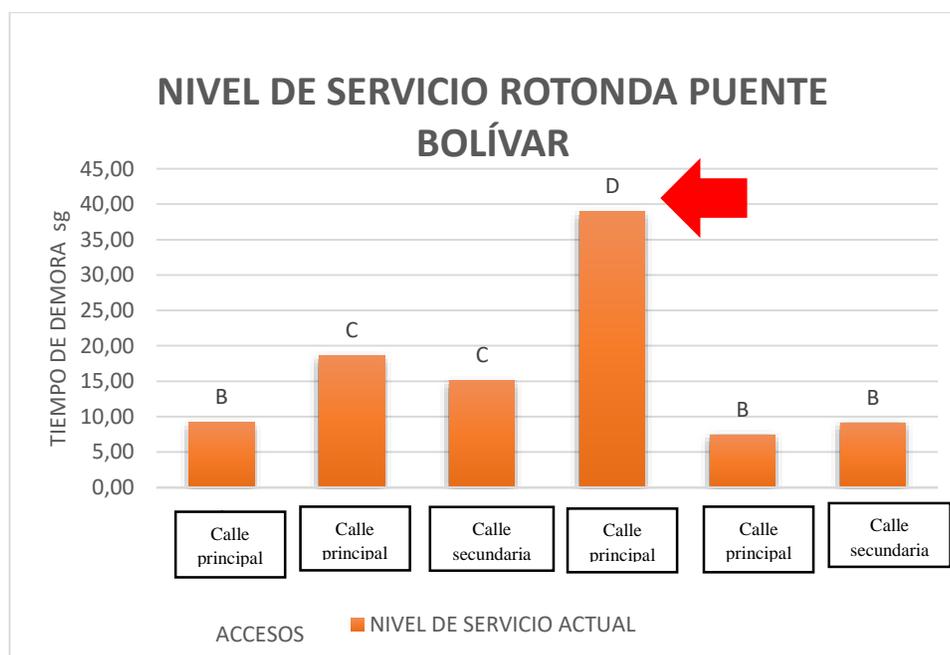
- De acuerdo al análisis realizado en la semaforización de las rotondas se concluye que las rotondas del puente bolívar, san Gerónimo y aeropuerto mantienen su ciclo y se redistribuyen los tiempos de fase a objeto de ser concordante con los volúmenes de tráfico y en consecuencia mejorar la circulación.

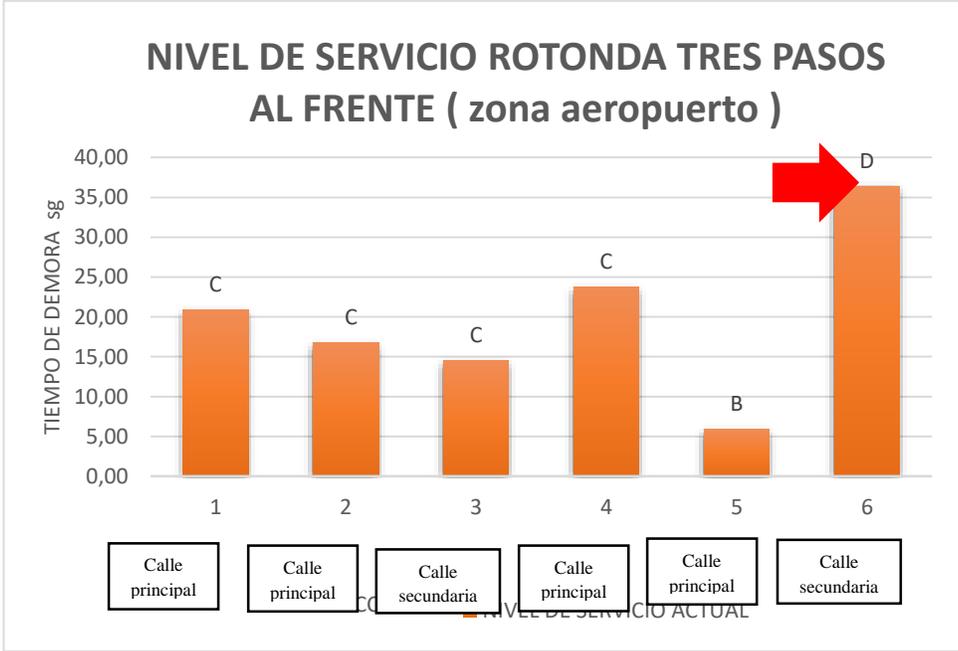
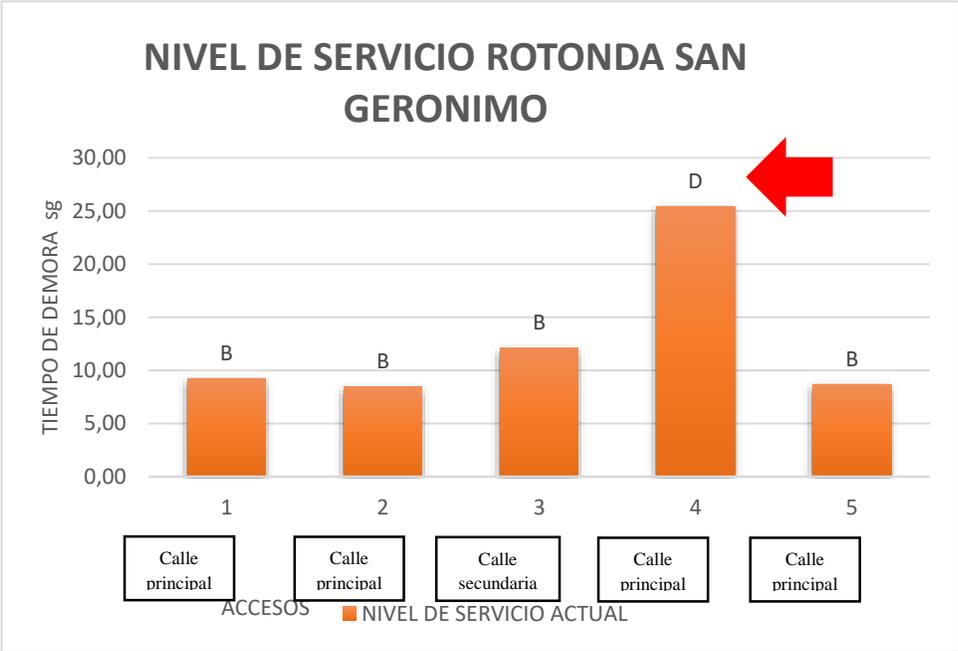
Acceso	rotonda puente Bolívar				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	Ciclo
av. Principal	2	2	20	29	53
calle secundaria	2	2	29	20	53

Acceso	Rotonda San Gerónimo				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
av. Principal	2	3	12	21	38
calle secundaria	2	3	21	12	38

Acceso	Rotonda Aeropuerto				
	amarillo de ida	amarilla de vuelta	rojo	verde	ciclo
av. Principal	2	2	36	25	65
calle secundaria	2	2	25	36	65

- El nivel de servicio de las rotondas que salieron congestionadas se da en las calles principales con un nivel D (inestable) , porque hay mayor flujo vehicular que en las calles secundarias





- El nivel de servicio de la rotonda san Martín, puente bicentenario en estudio presenta una circulación fluida a estable (B y C) en cada uno de sus accesos a cuya circulación se encuentra próxima a ser inestable (D) con demoras importantes pero tolerables.
- El tiempo de demora promedio es una de las variables más complejas para analizar en un acceso de una intersección semaforizadas, ya que depende de las condiciones de circulación, las características de la vía, características del conductor y de la semaforización.

4.2 RECOMENDACIONES

- Fomentar la educación vial por medio de comunicados de prensa escrita, radio televisión para que pueda coexistir vehículo, peatón y vía de forma ordenada y segura.
- En la semaforización actual, es importante implementar combinaciones de tiempos ciclos y tiempos de fases, conforme al movimiento vehicular que realmente se produce en las rotondas, ya que el aumento es notorio y por eso se producen los congestionamientos por la falta de capacidad vehicular.
- Hacer cumplir las leyes de tránsito con mayor rigurosidad para que las medidas empleadas para el control del tráfico vehicular en el área de estudio, así como las alternativas propuestas, den un efecto positivo.

