

CAPITULO I
GENERALIDADES

CAPITULO I

GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento del parque automotor en la ciudad de Tarija, se viene presentando un alto índice de congestión y de accidentalidad en las principales vías de la ciudad, generando contaminación, incomodidad y demora en el tiempo de circulación. Para dicho proyecto se realizará el análisis de la avenida Circunvalación, donde se presenta gran congestión vehicular y se propondrá soluciones para cada uno de estos problemas.

Un punto fundamental que determina el desempeño de una rotonda es la capacidad. A partir del análisis de la capacidad es posible medir la calidad de operación establecida a través del nivel de servicio. Para analizar la capacidad de las rotondas que involucran porcentajes de giro, es necesario determinar su número de carriles por ramal de ingreso y salida, obteniendo el nivel de servicio de la misma. Una vez en funcionamiento suelen presentarse maniobras y conflictos vehiculares producto de cambios de carril, no respetando las 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 proporciona el tiempo de fase significativamente en la viabilidad de la rotonda con la capacidad de esta y de sus accesos.

El proyecto no es un estudio de tránsito, pero plantea analizar la capacidad vehicular que pasan por las rotondas, sacando el nivel de servicio de esta. No se pretende dar soluciones definitivas, pero si se plantean opciones para el mejoramiento de los diferentes puntos de estudio, con el fin de mejorar la circulación de usuarios de las vías.

1.2. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO DE APLICACIÓN

De manera continua existe un incremento en el número de vehículos en circulación y las necesidades de transporte, así como una creciente complejidad estructural de la red vehicular, de modo que la ciudad de Tarija muestra serios problemas de congestión de tráfico en sus principales vías de circulación, provocando embotellamientos, contaminación del aire, ruido, incremento en accidentes viales, etc. Los costos por esperar en un atasco automovilístico o en una cola formada en un semáforo, no sólo incluyen pérdida de tiempo, también implican el aumento de consumo de combustible, contaminación, problemas de salud, estrés y malestar, entre otros.

El presente trabajo tiene como finalidad analizar la capacidad vehicular y la semaforización en la circulación de rotondas, 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 con el nivel de demanda de flujo vehicular y diseño de la interacción de recorrido y espera.

Los datos generados durante el desarrollo de la investigación, permitirán conocer cuál es el estado actual del sistema de tráfico de cada una de las rotondas de estudio. Esto es importante puesto que se dan a conocer cuáles son los problemas en base a información real y objetiva, permitiendo, además plantear soluciones que permitan mejorar el tráfico y la calidad de vida de las personas que viven o realizan sus actividades cotidianas en la zona, garantizando así la 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 a las demoras para los conflictos de los diferentes tramos en estudio.

Los resultados podrán utilizarse por las instituciones encargadas del tráfico y transporte para plantear acciones de carácter inmediato y a futuro con el propósito de evitar vías congestionadas en la ciudad de Tarija.

1.3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.3.1. Situación problemática

La congestión vehicular se produce cuando el volumen de tráfico genera una demanda mayor que el disponible en las vías o carreteras, hay una serie de circunstancias específicas que causan o agravan la congestión. La mayoría de ellos reduce la capacidad de una vía o carretera en un punto determinado o durante un determinado periodo.

En muchas ciudades altamente pobladas la congestión vehicular es recurrente, y se atribuye a la gran demanda de tráfico. La mayoría del resto se atribuye a incidentes de tránsito, obras viales y eventos climáticos. Es difícil predecir en qué condiciones un embotellamiento o atasco sucede pues puede ocurrir de repente.

Lo que afecta la capacidad se debe a las siguientes condiciones de circulación que marcan un nivel de servicios nefasto:

Tipo de vehículos que circulan por la avenida.

Maniobras que realizan los vehículos.

Características geométricas de la vía, pendiente, ancho de pista etc.

Proporción de vehículos pesados en la avenida.

Periodo del día.

La semaforización de una rotonda es vista como la única o más efectiva alternativa para enfrentar problemas de congestión o seguridad de tráfico donde los tiempos de ciclos son efectivos de acuerdo con la capacidad para no generar la aglomeración vehicular.

1.3.2. Problema

¿A partir del análisis y evaluación del sistema de semáforos en las rotondas de la avenida Circunvalación podrá relacionarse con su capacidad y nivel de servicio para encontrar planteamientos de corrección para una mejor circulación?

1.4. OBJETIVOS DE PROYECTO DE APLICACIÓN

1.4.1. Objetivo general

Determinar la capacidad vehicular y el nivel de servicio en la “Avenida Circunvalación”, a partir de las condiciones de comportamiento actual de la circulación vehicular y el control de semaforización en las rotondas que componen la misma, de manera que se pueda evaluar las condiciones actuales y plantear posibles acciones que mejoren las condiciones de capacidad y el nivel de servicio en el área de estudio.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar, a través del marco teórico de ingeniería mismo que nos brinda los parámetros de volúmenes de tráfico, fundamentación y metodología sobre las capacidades vehiculares, el nivel de servicio y la semaforización; la asignación de los tiempos en las rotondas que componen la Avenida Circunvalación.
- Analizar la zona de estudio, tomando en cuenta las características geométricas y operativas de las rotondas que componen la avenida Circunvalación.
- Realizar la medición de tiempos, ciclos y fases conforme la determinación de colores de los semáforos existentes en las rotondas en estudio.
- Determinar la capacidad vehicular en las condiciones de comportamiento actual de la circulación vehicular considerando intersecciones semaforizadas.
- Realizar el ajuste de tiempos de ciclos y fases en los semáforos de las rotondas del área de estudio. Además de diseñar los ciclos y tiempos de fase para las rotondas que no cuentan con semáforos actualmente.
- Plantear propuestas de acciones a la problemática actual de las rotondas congestionadas en la avenida circunvalación, con la finalidad de mejorar la circulación vehicular.

1.4.3. Hipótesis

¿Si, se aplica la correcta valoración de la seguridad vial optimizamos los tiempos de ciclo y fase de los semáforos en el tramo de la avenida circunvalación, se logrará aumentar la capacidad y el nivel de servicio en las rotondas de mayor conflicto?

1.5. Operación de las variables

1.5.1. Variables independientes

Las rotondas.

Comportamiento del tráfico vehicular en el área de estudio.

Semaforización.

Señalización.

1.5.2. Variables dependientes

Capacidad vehicular.

Nivel de servicio.

Condiciones del tráfico.

Características físicas de la geometría de las rotondas.

Volúmenes del tráfico vehicular y peatonal.

1.6. Diseño metodológico

1.6.1. Identificación del tipo de investigación

1.6.1.1. Investigación aplicada

En este caso el objeto, es encontrar estrategias que puedan ser empleadas para el abordaje de un problema es específico. La investigación se nutre de la teoría para generar conocimientos prácticos. A través de esta investigación se puede medir ciertas variables para pronosticar comportamientos, que nos serian útiles para nuestro estudio.

1.6.2. Unidades de estudio y decisión muestra

Las componentes de estudio son las siguientes.

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

Población: La población es la capacidad, nivel de servicio, señalización y semaforización en vías urbanas.

Muestra: La muestra son las rotondas que se encuentren en la avenida Circunvalación.

Muestreo: Son los accesos de cada rotonda del tramo donde se medirán los volúmenes, velocidades, tiempos de ciclo y tiempo de fase.

1.6.3. Métodos y técnicas empleadas

Para los aforos de volúmenes se realizó con el método manual donde se tomó en cuenta las diferentes variables como el tipo de vehículo si es liviano, mediano o pesado.

Para el aforo de velocidades se utilizó el método del cronometro haciéndose una medición cada 5 vehículos que pasaban con una distancia de recorrido de 50 metros.

1.6.3.1. Métodos y procesos de aplicación.

Recopilación de datos.

Para iniciar un estudio de tráfico requerimos información de campo que puede ser eminentemente técnica o también complementaria dependiendo del tipo de estudio y su magnitud, la recolección de datos abarcara aforos de velocidades, volúmenes de tráfico, estudios de demanda de estacionamientos, medición de oferta de estacionamiento, medición del comportamiento de semáforos existentes, toma de información sobre ascensos y descensos de pasajeros en el transporte público e inventario de señalización.

Dependerá de cada proyecto o estudio para que se tenga que recabar parte o toda la información de campo. Para dicho proyecto se presenta una metodología a utilizar para la elaboración del presente trabajo, constara con los pasos fundamentales, los cuales son los siguientes:

Paso 1: Se realizará la recolección de información sobre la capacidad vehicular y semaforización con el propósito de generar un marco teórico, y será mediante la norma AASTHO y el manual de capacidad de los Estados Unidos de 1998, se procederá a la recolección de información primaria en campo, para conocer si las rotondas cuentan con estacionamiento, paradas antes y después de las mismas.

Paso 2: El trabajo de campo se realizará aforos con los siguientes puntos:

- Se deberá sacar las horas picos, esto se lo realizara desde las 06:00 am hasta las 22:00 pm porque son las horas de mayor circulación.
- Teniendo la hora pico se realizará el aforo en las tres horas picos en tres días de la semana, dos días hábiles y un día no hábil (fin de semana).
- El aforo se lo realizará durante un mes.
- Se medirán los tiempos de ciclo y fases de los semáforos en las rotondas de estudio para cada acceso.

1.6.3.2. Técnicas empleadas

Los instrumentos que se utilizaron para la obtención de datos son los siguientes:

Planilla de aforos.
Cámara fotográfica.
Cronometro.
Cinta métrica.
Calculadora.
Computadora.

Planilla de aforo: Es donde se suministra toda la información general que se solicita.

Cámara fotográfica: Permitirá tomar fotos en la zona de estudio.

Cronometro: Nos permite controlar los intervalos de tiempo que recorre el vehículo en una determinada distancia.

Cinta métrica: Instrumento que nos permite medir el ancho de los carriles.

Calculadora: Instrumento que nos ayuda a realizar cálculos en cualquier hora y lugar.

Computadora: Instrumento donde se realiza el contenido de este estudio como así también donde se procesa los datos obtenidos llegando así a un análisis minucioso.

1.6.3.3. Procedimiento para el análisis y la interpretación de la información

Procesamiento y análisis.

Toda información que se obtenga de la recolección de datos será procesada, mediante los programas computacionales principalmente estadísticos que pueden ser de utilidad y a través de la representación de las informaciones procesadas en esquemas gráficos que ayuden visualmente al análisis del problema. Se hará un análisis de toda la información tratando de establecer relaciones entre todos los factores y de ser lo más técnico posible.

Tratamiento de los datos empleo de la estadística.

Esta investigación tiene un carácter probabilístico, puesto que se realizará un mes de aforo, el cual nos proporcionará una serie de datos que tendrán que ser analizados posteriormente. Contaremos con un conjunto de datos N (datos que representa a la población, que en nuestro caso es la capacidad, nivel de servicio y semaforización), y tendremos otro conjunto de datos n (datos que representa la muestra, son todas las rotondas que se encuentran ubicadas en la Avenida Circunvalación), que serán evaluados para tener mejor resultado. Se desarrollará medidas de depuración, las cuales nos indicaran los datos que por algún motivo salieron de rango, a partir de las cuales encontraremos la media y la desviación estándar.

Media:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Desviación típica:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n - 1}}$$

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

Planteamiento y soluciones.

Como el resultado del análisis se planteará soluciones con un orden de priorización, es decir habrá algunas actividades inmediatas, otras a mediano plazo y otras a largo plazo todas las soluciones tendrán que ser técnicas y que apunten a ser de bajo costo.

Seguimiento y control de resultados.

No se puede considerar resuelto el problema si es que no se hace un seguimiento a las soluciones implantadas que demuestren con valores su eficiencia es probable que en esta etapa si los resultados conseguidos no son satisfactorios puedan plantearse otras alternativas de solución.

1.7. Alcance

1.7.1. Alcance general

El presente trabajo expone el problema que nos lleva a la elaboración de este tema planteamos los objetivos que cumpliremos a lo largo de la realización del estudio.

Se estudiará sobre el conocimiento general de los elementos del tráfico: el usuario, vehículo y la vía más sus características y tipos de cada elemento, los parámetros más esenciales del tráfico.

Se hará la medición de los parámetros del tráfico, se tomará los datos de aforos en las intersecciones de la vía, que están basados en los porcentajes de giros, porcentajes de vehículos pesados, medianos y livianos, ancho de carril, para poder realizar los cálculos de todos los parámetros de la ingeniería de tráfico, para así obtener la capacidad vehicular y plantear los niveles de servicio. Para obtener los tiempos de fase del semáforo, se obtendrá la velocidad de punto y el volumen de vehículos, para la señalización se hará un inventario vial.

1.7.2. Alcance específico

Se efectuará una introducción sobre la importancia que tienen en la actualidad los conceptos fundamentales del tráfico en nuestro medio ya que el tráfico es la ciencia que estudia analiza y busca soluciones para que la interrelación entre usuarios peatones y conductores, vehículos públicos y privados, vías de carreteras y calles puedan permitir una circulación adecuada y que de seguridad a los usuarios.

En la semaforización se verá los componentes del semáforo, los sistemas semafóricos como ser la coordinación alterna y coordinación progresiva, tipos de semáforos.

Concluido el trabajo sobre el “Análisis de la relación entre capacidad vehicular y la semaforización de rotondas en la Avenida Circunvalación” se obtendrá los resultados de cada parámetro de tráfico que nos servirá para poder determinar la capacidad, el nivel de servicio y el tiempo de ciclo de la semaforización de dicha avenida, con el conocimiento más sólido del tema se hará algunas recomendaciones que ayuden en un futuro próximo a hacer un buen estudio de tráfico.

CAPITULO II

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE

LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

CAPITULO II

ASPECTOS FUNDAMENTALES DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

2.1. DEFINICIONES

Para entender el concepto tanto técnico como científico de la Ingeniería de tráfico y transporte tenemos las siguientes definiciones:

Transportar: Llevar una cosa de un lugar a otro. Llevar de una parte a otra por el porte o precio convenido.

Transporte: Acción o efecto de transportar o transportarse.

Transitar: Ir o pasar de un punto a otro por vías, calles o parajes públicos.

Tránsito: Acción de transitar. Sitio por donde se pasa de un lugar a otro.

Tráfico: Tránsito de personas y circulación de vehículos por calles, carreteras, caminos.

Ingeniería de tráfico: Se define como la rama de la ingeniería que trata el planeamiento, el proyecto geométrico y explotación de las redes viarias, instalaciones auxiliares (aparcamientos, terminales) y zonas de influencia, así como de su relación con otros medios de transporte.

2.2. OBJETIVO Y ALCANCE DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO

El objetivo principal de la Ingeniería de Tráfico es conseguir que la circulación de personas y mercancías sea segura, rápida y económica, y se analizara lo siguiente:

2.2.1. Características del tráfico

Se utilizan diversas magnitudes que reúnen las características de los vehículos y usuarios. Estas magnitudes son: la velocidad, volumen, densidad, separación entre vehículos sucesivos, intervalos entre vehículos, tiempos de recorrido y demoras, origen y destino del movimiento, la capacidad de calles y carreteras, se analizan los accidentes,

el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas, etc. Por otro lado, se estudia al usuario todas las reacciones para maniobrar el vehículo como ser: Rapidez de reacción para frenar, para acelerar, su resistencia al cansancio, etc.

2.2.2. Reglamentación del tráfico

Se debe establecer los reglamentos del tráfico, como ser: la responsabilidad y licencias de conductores, peso y dimensiones de los vehículos, control de accesorios obligatorios y equipo de iluminación, acústicos y de señalamiento. También se debe tomar en cuenta la prioridad de paso, tránsito en un sentido, tiempo de estacionamiento, control policiaco en intersecciones, sanciones relacionadas con accidentes, etc.

2.2.3. Señalamiento y dispositivos de control

Su función principal es la determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales.

2.2.4. Planificación vial

Es necesario analizar y realizar investigaciones para poder adaptar el desarrollo de las calles y carreteras a las necesidades del tránsito, y de esta manera conocer los problemas que se presentan al analizar el crecimiento demográfico, las tendencias del aumento en número de vehículos y la demanda de movimiento de una zona a otra. Se debe establecer claramente los objetivos concretos y operacionales que se quiere alcanzar.

2.2.5. Administración

Para tener buenos resultados se debe considerar varios aspectos tales como: Económicos, políticos, fiscales, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

2.3. SOLUCIÓN AL PROBLEMA DE TRÁFICO

Las soluciones se plantean a partir de un análisis de factores que intervienen el problema del tráfico, los factores principales que inciden en el planteamiento de soluciones a los problemas del tráfico son:

Diferentes tipos de vehículos en una misma vialidad, diferentes dimensiones, velocidades y características de aceleración.

Superposición del tránsito motorizado en facilidades viales, pocos cambios en trazo urbano, carreteras que no han evolucionado.

Falta de planificación en el tránsito, construcción de vías con especificaciones antiguas.

El automóvil no considerado como una necesidad pública, falta de apreciación de las autoridades y público en general a la importancia del vehículo automotor.

Falta de asimilación por parte del gobierno y usuario, legislación y reglamentos no acordes a la evolución del transporte, falta de educación vial. Se plantean a continuación los tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito.

2.3.1. Solución integral

Dadas las características del vehículo moderno se plantea construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, se busca el equilibrio de la oferta y la demanda, este tipo de solución es casi imposible de aplicar en ciudades actuales porque equivaldría a destruir todo lo existente y construir las vialidades con especificaciones modernas.

2.3.2. Solución parcial de alto costo

Esta solución consiste en realizar cambios necesarios en vialidades aprovechando al máximo lo que se tiene, cuyos cambios requerirán fuertes inversiones económicas, por ejemplo: ensanchamiento de calles, modificaciones de intersecciones rotatorias, creación de intersecciones canalizadas, sistemas de control automático con semáforos, estacionamientos públicos y privados, etc.

2.3.3. Solución parcial de bajo costo.

Consiste en el aprovechamiento máximo de las condiciones existentes, con cambios que requieran poca inversión. En este tipo de solución tiene una gran importancia y

participación la reglamentación del tránsito, así como la disciplina y educación de parte del usuario.

2.4. ELEMENTOS DEL TRÁFICO

Existen tres elementos básicos que componen la ingeniería de tráfico que son:

2.4.1. Elemento usuario

El usuario está relacionado con los peatones y conductores, que son los elementos principales a ser estudiados para mantener el orden y seguridad de las calles y carreteras.

Usuario peatón.

Es considerado a toda la población en general, son todas aquellas personas desde un año hasta 100 años. En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por peatones y vehículos, excepto en Autopistas el tráfico de los peatones es prohibido. Los accidentes sufridos por peatones se deben a que no respetan las zonas destinadas a ellos, ya sea por falta de conocimiento u otro factor. Por lo tanto, se deberá estudiar al peatón no solamente por ser víctima, sino porque también es una de las causas, para la cual es necesaria conocer las características del movimiento de peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

Usuario conductor.

El conductor constituye el elemento de tráfico más importante, ya que el movimiento y calidad de circulación de los vehículos dependerá fundamentalmente de ellos para adaptarse a las características de la carretera y de la circulación. Para el estudio de los conductores es necesario conocer el comportamiento o factores que influyen en sus condiciones físicas y psíquicas, sus conocimientos, su estado de ánimo, etc.

Factores que puedan modificar las facultades del individuo en el tiempo de reacción:

La fatiga.

Las enfermedades o deficiencias físicas.

El alcohol y las drogas.

Su estado emocional.

El clima, y la época del año.

Las condiciones del tiempo.

La altura sobre el nivel del mar.

El cambio del día a la noche y viceversa.

2.4.2. Elemento vehículo.

Es un medio de transporte que se lo utiliza para poder trasladarse de un lugar a otro.

Características del vehículo

Las características para el diseño geométrico de las carreteras se basan parcialmente en las características estáticas, cinemáticas y dinámicas de los vehículos.

Las estáticas se consideran el peso y el tamaño de los vehículos; las cinemáticas comprenden el movimiento del vehículo considerar las fuerzas que causan el movimiento; y las dinámicas toman en cuenta las fuerzas que causan el movimiento del vehículo. El diseño de una carretera incluye la selección de un vehículo de diseño, cuyas características cubran las relacionadas con la mayor parte de los vehículos que se espera usen la carretera. Estas características son aprovechadas para determinar criterios en el diseño geométrico, diseño de intersecciones y los requerimientos de distancia visual.

Clasificación por tipo de vehículo.

Los vehículos se clasifican en dos:

Vehículos ligeros o livianos.

Vehículos pesados (Camiones y autobuses).

Clasificación de vehículos según norma de diseño

Tabla N°1. Clasificación de vehículos según la (A.B.C.).

Grupo de clasificación	Características del vehículo	Ancho total (m)	Largo total (m)	Radio mínimo de la rueda externa delantera (m)	Radio mínimo de la rueda interna trasera (m)	Detalles
VP	Automóviles	2.10	5.80	7.30	4.70	Vehículos livianos como automóviles, camionetas, vagonetas, minibuses, etc.
CO	Autobuses y camiones	2.60	9.10	12.80	8.70	Vehículos comerciales de dos ejes, comprendes a camiones y autobuses comerciales, normalmente de dos ejes y seis ruedas.
O	Autobuses interurbanos	2.60	12.20	12.80	7.10	Automóviles y camiones de mayores dimensiones. Los autobuses empleados generalmente para viajes de largas distancias y turismo. Estos vehículos son de mayor longitud que la CO y pueden contar con tres ejes.
SR	Camión semirremolque	2.60	16.8	13.70	6.00	Vehículo comercial articulado, compuesto normalmente por una unidad tractora y un semirremolque o remolque de dos ejes o más.

Fuente: Administradora Boliviana de Carreteras (A.B.C.).

2.4.3. Elemento vía.

Es una infraestructura de transporte especialmente acondicionada dentro de toda una faja de terreno, con el propósito de permitir la circulación de vehículos de manera continua en el espacio y el tiempo, con niveles adecuados de seguridad y comodidad. El elevado nivel de vida de un país se relaciona con un excelente sistema vial o viceversa.

2.5. PARÁMETROS DE LA INGENIERÍA DE TRÁFICO.

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

2.5.1. Velocidad (V).

La mayoría de los elementos del proyecto. Se define la velocidad como el espacio recorrido en un determinado tiempo.

$$v = \frac{d}{t}$$

Dónde:

v = Velocidad constante (Km / hr).

d = Distancia recorrida (Km).

t = Tiempo de recorrido (hr).

Velocidad de punto

Se obtiene en una sección de carretera cuyo intervalo de distancia esta previamente definido siendo usual la utilización de distancias de 50, 75, y 100 metros. La determinación de velocidad de punto dentro del estudio de ingeniería de tráfico nos permite definir las velocidades medias de circulación en zonas urbanas y en carreteras.

2.5.2. Volumen de tráfico.

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

Volúmenes de Transito Promedio Diarios (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.

Volúmenes de Transito Promedio Horario (TPH).

La cantidad de vehículos que circulan por una carretera o calle en un espacio o tiempo determinado de 1 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.

Volumen directriz.

Es un concepto definido exclusivamente para obtener un valor que representa 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.

Composición del volumen.

Una composición casi del tipo universal es la que se subdivide en automóviles camiones autobuses y motocicletas y bicicletas.

Entendiéndose por automóviles a todos aquellos que generalmente están compuestos de 2 ejes y 4 ruedas como los autos, jeeps y camionetas pequeñas.

En el tipo de camiones se tendrá los pequeños medianos y grandes diferenciándose por la capacidad de carga que tiene este tipo de vehículos.

Generalmente los autobuses representados por los livianos y pesados diferenciándose por la capacidad de pasajeros que puedan transportar este tipo de vehículos.

Motocicletas y bicicletas si bien deben estudiárseles para saber la cantidad de este tipo de motorizados no está incluidos en el volumen total representadas en el (TPD) o el (TPH).

El porcentaje de vehículos pesados que ejercen una disminución de la capacidad de una ruta reducirán las velocidades de circulación requerirán mayor espacio para las maniobras.

Variación de los volúmenes de tráfico.

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

Recuento de volúmenes de tráfico.

El recuento de volúmenes se puede realizar de dos formas:

Recuento automático.

Recuento manual.

Recuento automático.

Se considera recuento automático cuando se utiliza un contador automático que en base a pulsaciones eléctricas acciona un contador conectado a una membrana que esta transversal a la calzada, que a cada paso de un vehículo se va a accionar un pulso eléctrico que hará avanzar el contador.

Recuento manual.

El recuento manual resulta ser más efectivo, aunque ello requiera de mucho más personal de operadores o aforadores en definitivo representa un presupuesto.

Periodo de recuento.

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

Permanente.

Periódicos.

De tiempo específico.

Aforos de volumen.

Los aforos de volumen realizados en un punto o sección de una vía nos permiten obtener datos relacionados con el movimiento de automóvil es respecto al tiempo y espacio, las características de los aforos dependen del tipo de análisis solicitado en una vía. Los aforos de volumen sirven para efectuar:

Estudios prioritarios de conservación (mantenimiento).

Estudios prioritarios de construcción.

Estudios prioritarios de señalización.

Estudios de accidentes en la zona.

Métodos de aforo:

Método manual.

Este método de aforo consiste en el llenado de planillas elaboradas de acuerdo al tipo de datos a recabar en la vía, a cargo de una o varias personas.

Los tipos de datos pueden ser:

Composición vehicular.

Flujo direccional y por carriles.

Volúmenes totales.

Cuando esto no sucede requerimos la información tenemos dos alternativas:

Según la (ABC): 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 las 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 de un mes.

Método mecánico.

Se realiza mediante dispositivos mecánicos instalados en la vía.

2.5.3. Distribución y composición del volumen de tráfico.

En lo que respecta a la composición del tráfico, 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.

2.5.4. Densidad vehicular

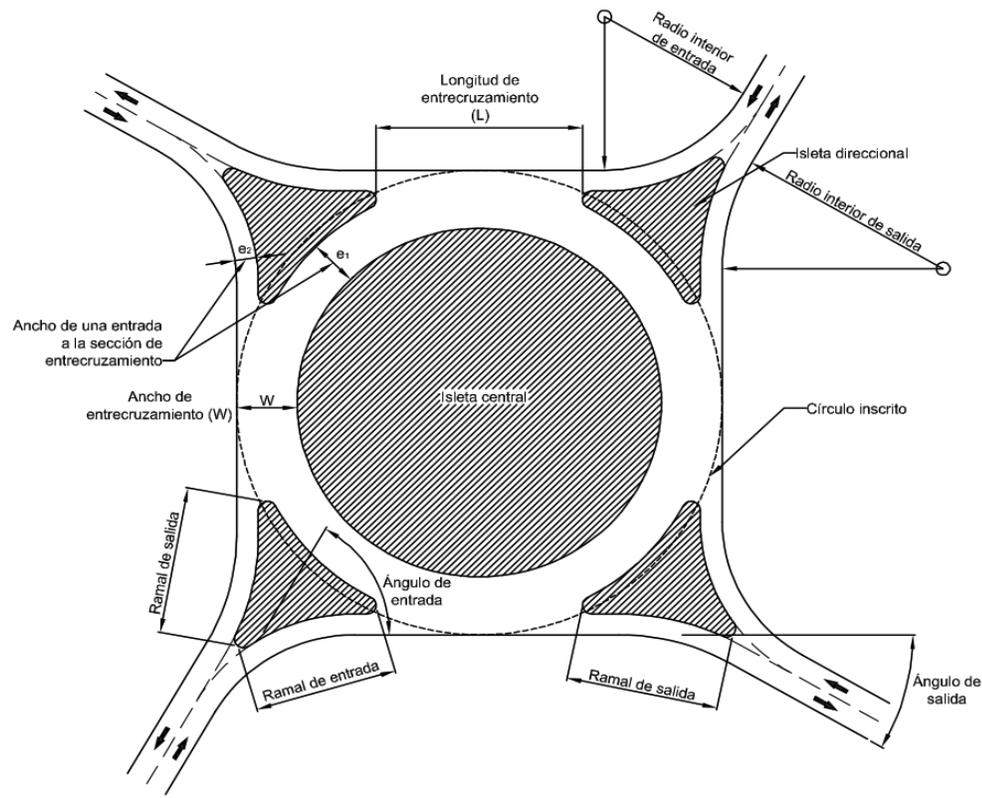
Es cantidad de vehículos que circulan por una vía por una unidad de longitud normalmente, este parámetro puede ser determinado o medido en el caso que sea determinado está en base a los dos parámetros anteriores velocidad y volumen teniendo la relación:

$$Densidad = \frac{volumen}{velocidad}$$

2.6. ROTONDA.

Las rotondas han servido como solución en puntos de alta accidentabilidad. Estas se caracterizan por ser de tipo circular en donde los vehículos se desplazan por ella, la característica fundamental de una rotonda es que los vehículos que se encuentran dentro del anillo de circulación tienen prioridad sobre los vehículos que se encuentran en las diferentes entradas. Debido a las grandes ventajas que poseen las mismas, estas se han incrementado de manera acelerada en todo el mundo.

Figura N°1. Esquema básico de una intersección tipo rotonda.



Fuente: Cálculo de capacidad en glorietas. Madrid España.

Una rotonda puede disminuir considerablemente la velocidad y los puntos de conflictos de una intersección, las rotondas se enfocan principalmente en la disminución de los puntos de conflicto a 90 grados, los cuales son los causantes de accidentes graves. En lo que respecta a la movilidad producen mayor capacidad que las intersecciones señalizadas e incluso iguala o supera la capacidad de las intersecciones semaforizadas.

A pesar de las grandes ventajas que tienen este tipo de intersecciones, se ha podido observar como dentro del diseño de las rotondas se encuentran inmersos diferentes factores los cuales contribuyen de manera significativa a la generación y severidad de los accidentes, dentro de esos se destacan los factores geométricos, los cuales son generadores del 60% de los accidentes. Con el paso del tiempo han sido estudiados estos tipos de factores generando así la conformación de diferentes normas y manuales de diseño establecido en cada país. Con la implementación de normas y de controles más

estrictos en los diseños se ha podido evidenciar que en las rotondas más implementadas en la actualidad ocurren menos accidentes que en rotondas antiguas.

Es fundamental estudiar los parámetros geométricos que actualmente son utilizadas en diferentes países, con la finalidad de establecer parámetros de diseño apegados que puedan ser utilizados en Bolivia. Lo que se busca es recomendar parámetros geométricos para el diseño de rotondas simples y múltiples en las zonas urbanas, que permitan establecer intersecciones que disminuyan la velocidad de circulación, las cuales mejoren la capacidad y el nivel de servicio, con lo cual se beneficiaría directamente a todos los usuarios que diariamente transitan por este tipo de intersecciones.

2.6.1. Ventajas de una rotonda.

Son evaluadas en dos aspectos: la seguridad y la comodidad, en lo que respecta a la seguridad son capaces de generar flujos lentos y suaves disminuyendo considerablemente la velocidad, eliminando los puntos de conflicto y en lo que respecta a la movilidad son capaces de producir mayor capacidad que las intersecciones señalizadas. Existen cinco razones principales porque las rotondas son capaces de generar mayor seguridad a los usuarios:

Son capaces de reducir los puntos de conflicto.

Todo el tráfico se mueve dentro del anillo de circulación.

Los giros a la izquierda se hacen fácilmente mediante maniobras de confluencias y separación, aunque las distancias a recorrer sean mayores.

Los costos de mantenimiento son menores que una intersección semaforizada.

Son menos costosas que las intersecciones a desnivel o semaforizadas.

2.6.2. Desventajas de una rotonda.

Uno de los mayores inconvenientes al implementar una rotonda, es que estas no son amigables con los usuarios vulnerables (peatones, ciclistas, motociclistas y personas capacidad reducida), a continuación, algunas desventajas.

Necesitan mayor derecho de vía y mayor superficie de rodamiento.

Para obtener una operación segura y eficiente son necesarias numerosas señales.

No son adecuadas en lugares donde existe un movimiento grande de peatones, ya que su paso interrumpe el tránsito de vehículos.

No se puede ampliar con facilidad y no se hace planes de construcción por etapas.

Al comparar una rotonda con una intersección semafórizada, esta ocupa un mayor espacio para su implementación.

2.6.3. Tipos de intersecciones rotatorias

Los manuales o normas de diseño geométrico presentan diferentes tipos de clasificaciones para las rotondas, las cuales se encuentran enfocados principalmente en el medio en donde se emplazan, las características físicas que poseen, la existencia o no de semáforos, si son elevadas o deprimidas, etc. A continuación, se explicará los tipos de rotondas basados en la categorización realizada en las normas vigentes de estados unidos, su clasificación se encuentra enfocada principalmente en las dimensiones y el número de carriles.

2.6.3.1. Mini rotondas

Se localiza en zonas urbanas con vías de baja velocidad (menos de 50 km/hr). Son las rotondas más pequeñas con un diámetro de círculo inscrito entre 13-27 metros y un diámetro máximo de la isla central de 4 metros. La principal característica es que su isla central puede ser atravesada por los vehículos largos. Estas rotondas generan un menor derecho de vía y por lo tanto menores costos en la construcción. Es recomendable que la máxima velocidad de diseño en las entradas se encuentre entre los 25-30 km/hr con un carril de aproximación lo cual genera que los peatones y ciclistas tengan mayores facilidades para atravesarla.

Su desventaja es que por su diseño compacto no son capaces de generar suficiente deflexión en las entradas, lo cual incrementa la velocidad de circulación. Según las

investigaciones realizadas este tipo de rotondas poseen una capacidad en sus cuatro ramales de 1500veh/día.

2.6.3.2. Rotonda simple

Su característica principal es que posee un carril de aproximación y un carril de circulación. Se diferencia de las mini rotondas ya que estas poseen DCI mayores entre 27-55m, los cuales se colocan en función del vehículo de diseño. Los diámetros de la isla central son superiores a los 4 metros, en donde esta es materializada de tal forma que impide el paso de cualquier tipo de vehículos. Las rotondas al poseer mayores dimensiones son capaces de ofrecer mayor capacidad vial, la cual se encuentra sobre los 25.000 veh/día. Este tipo de intersecciones posee islas separadoras en las entradas, con lo cual es posible generar mayores deflexiones al ingreso que disminuyen la velocidad a la vez que sirven de refugio para que los peatones puedan completar el cruce. Es recomendable que la velocidad de diseño en la entrada se encuentre entre 30-40 km/h.

2.6.3.3. Rotondas múltiples

Este tipo de rotondas poseen por lo menos una de las entradas con dos o más carriles de aproximación y con dos o más carriles de circulación. Son capaces de soportar el paso de 45.000 veh/día, semejante a la capacidad de una intersección semaforizada. El DCI varía entre 46-91m. Al igual que las rotondas simples, estas poseen islas separadoras que ayudan a generar deflexiones en la entrada para poder disminuir la velocidad, esta velocidad se debe encontrar entre los 40-50 km/h. Las islas separadoras también ayudan a generar un refugio para el paso de peatones.

2.6.4. Parámetros geométricos

2.6.4.1. Vehículo de proyecto

Uno de los parámetros más importantes en el diseño de rotondas es el vehículo de proyecto, ya que del dependerá muchas otras dimensiones de las intersecciones. Una de las características principales de las rotondas es la baja velocidad de circulación que generan en los vehículos, esto si bien es beneficioso desde punto de vista de la

seguridad, desde el punto de vista geométrico es una desventaja ya que, dependiendo del vehículo a utilizar para el diseño, este deberá tener determinados radios de giro para que pueda realizar todos los movimientos permitidos. El valor de la longitud del vehículo varía entre 15-16.5 metros.

2.6.4.2. Isla central

El objetivo principal es el de brindar una adecuada trayectoria a los ramales afluentes generando movimientos homogéneos en todas las entradas. Un correcto posicionamiento y dimensionamiento de la isla central, evita que los vehículos realicen trayectorias rectas al cruzar la intersección, con lo cual se perdería la percepción del conductor del derecho de paso.

2.6.4.3. Entrada

El nivel de desempeño de una rotonda se define principalmente por las características de la aproximación en la entrada, estas son capaces de disminuir la velocidad de ingreso a la vez que controlan la capacidad de la misma, siendo por lo tanto en esta zona en donde se presentan las características más importantes desde el punto de vista geométrico. El ancho y el número de carriles en la entrada son parámetros fundamentales para el cálculo de la capacidad en las rotondas. El ancho del carril mínimo debe ser mayor o igual a 2.5m y el ancho máximo de un carril de circulación es de 3.65m.

El ángulo de entrada, el radio y la velocidad de ingreso son parámetros que se encuentran directamente relacionados entre sí y son de vital importancia en el diseño. Tienen la capacidad de disminuir la diferencia entre la velocidad de circulación en el anillo y la entrada. Un ángulo de entrada pequeño genera movimientos bruscos que en muchos casos produce choques de tipo lateral-frontal entre vehículos, mientras que un valor alto de este ángulo genera un ingreso de los vehículos a velocidades altas y la presencia de accidentes tipo angulares.

2.6.4.4. Salidas

El principio de los parámetros de salida es el garantizar la seguridad, así como evitar el congestionamiento por un bloqueo en los ramales. La geometría en las salidas no

generara un efecto directo en la capacidad de una rotonda, lo que se busca es establecer condiciones geométricas que generaran una salida rápida de los vehículos garantizando a la vez la seguridad de todos los usuarios. Una rotonda eficiente desde el punto de vista de la seguridad debe dificultar las entradas y facilitar las salidas.

2.6.4.5. Visibilidad

Es una característica fundamental que genera la seguridad en las rotondas intersecciones, debido a que garantizan el tiempo de reacción necesario para que un conductor pueda frenar o realizar una maniobra evasiva cuando exista un evento fortuito. Una correcta visibilidad garantiza una buena percepción a los conductores del ambiente en el que se ven envueltos, así como de todos los usuarios que comparten el espacio público; también una correcta visibilidad garantiza que los usuarios puedan percibir de una manera clara todas las disposiciones geométricas colocadas en la intersección.

2.6.4.6. Otros parámetros

Existen muchos parámetros de diseño los cuales pueden influenciar en mayor o menor medida la seguridad y capacidad de la intersección, se presentan los que se han considerado más relevantes como la consistencia de velocidades, bermas, peralte, isla separadora e inclinación longitudinal del anillo de circulación.

2.6.5. Criterios de diseño geométrico

Los valores recomendados se presentan a continuación:

Tabla N°2. Criterios de diseño geométrico.

Variable	unidad	Valores recomendados
Diámetro mínimo de la isla central	m	25
Diámetro mínimo del circulo inscrito	m	50
Ancho de sección de entrecruzamiento (W)	m	9.1-18 (15 nuevas rotondas)
Relación W/L(sección de entrecruzamiento)		Entre 0.25 y 0.40
Radio mínimo de entrada	m	30
Radio mínimo de salida	m	40
Angulo ideal de entrada	grados	60
Angulo ideal de salida	grados	30

Fuente: Ingeniería de Tráfico, Madrid España.

2.7. CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO EN ROTONDAS.

Se define a la capacidad vehicular como la cantidad de vehículos que circulan por una carretera en un tiempo determinado con características de circulación a partir de los niveles de servicio entendiéndose por estos a condiciones cualitativas en la circulación vehicular de una calle o carretera. Se definir tres tipos de capacidad que son:

Capacidad posible.

Capacidad práctica.

Capacidad directriz.

El nivel de servicio es una medida de la cantidad 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.

2.7.1. Factores que afectan a la capacidad y a los niveles de servicio.

Condiciones ideales.

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 condiciones ideales para la infraestructura de flujo interrumpido son las siguientes:

Repartición del tránsito por igual en ambos sentidos.

Carriles de no menos de 3.65 metros.

Una distancia (bermas) de 1.8 metros entre el borde de la calzada exterior y los obstáculos u objetos adyacentes a la vía o separador.

Velocidad de proyecto de 100 km/hr para vías de 2 carriles y de 110 km/hr 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.

Condiciones de la vía.

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.

El ancho del carril.

El ancho de las bermas y los despejos 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 tráfico.

Las condiciones del tráfico influyen en 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.

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 y los sentidos de circulación permitidos.

2.7.2. Nivel de Servicio (NS).

Los niveles de servicio son una medida cualitativa de las condiciones de circulación, estableciéndose por el manual de capacidad de USA considerados como una norma en los países americanos los niveles de servicio son:

Nivel de servicio A.

Describe operaciones y velocidades de libre fluidez. Los vehículos son completamente libres de maniobrar dentro del tráfico aun en la máxima densidad del nivel de servicio lo cual permite al motorista un alto nivel de confort físico y psicológico.

Figura N°2. Ejemplo de nivel de servicio A.



Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nivel de servicio B.

Representa una libre fluidez razonable y la velocidad a flujo libre es mantenida. La habilidad para maniobrar dentro del flujo de tráfico está ligeramente restringida, y el nivel general de confort físico y psicológico proveído a los conductores es aún alto.

Figura N°3. Ejemplo de nivel de servicio B.



Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nivel de servicio C.

La libertad de maniobrar dentro del flujo de tráfico es notablemente más restringida y los cambios de vía requieren más cuidado y vigilancia por parte del conductor.

Figura N°4. Ejemplo de nivel de servicio C.

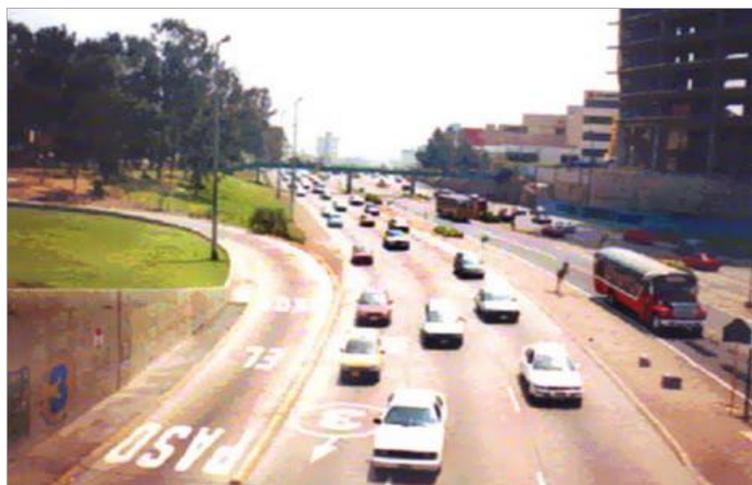


Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nivel de servicio D.

La velocidad empieza a declinar ligeramente con el incremento del flujo, la densidad empieza a incrementarse. La libertad de maniobrar dentro del flujo de tráfico es más limitada, y el conductor experimenta un reducido nivel de confort físico y psicológico.

Figura N°5. Ejemplo de nivel de servicio D.



Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nivel de servicio E.

No se tienen espacios usables en el flujo de tráfico, no tiene la habilidad para disipar ni siquiera la menor interrupción, y puede esperarse que cualquier incidente produzca un serio colapso con una extensa fila. La maniobrabilidad es extremadamente limitada y el nivel de confort físico y psíquico para el conductor es pobre.

Figura N°6. Ejemplo de nivel de servicio E.



Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nivel de servicio F.

Describe colapsos en fluidez vehicular, tales condiciones generalmente existen dentro las formaciones de fila de tras de puntos de colapso, incidentes de tráfico causan una reducción temporal de la capacidad en corto segmento, así que el número de vehículos llegando a este punto es más grande que el número de vehículos que salen de él.

Figura N°7. Ejemplo de nivel de servicio F.



Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

2.8. DEFINICIÓN Y FUNCIÓN DE LOS SEMÁFOROS.

Los semáforos son 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, el 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.

2.8.1. Clasificación de los semáforos.

Los semáforos se clasifican de acuerdo a su función operacional en:

Semáforo de tiempo predeterminado.

Semáforo accionado por el tráfico.

Semáforo de tiempo predeterminado.

Son aquellos semáforos vehiculares que han sido diseñados para ejercer un control a través de señales luminosa cuyo tiempo de fase haya sido previamente determinado en función de las características volumétricas de la intersección.

Semáforo accionado por el tráfico.

Son aquellos que ya sea que en forma manual o automática su operacionalidad dependerá del volumen de tráfico que circula en los accesos los que directamente determinara el tiempo de cada fase.

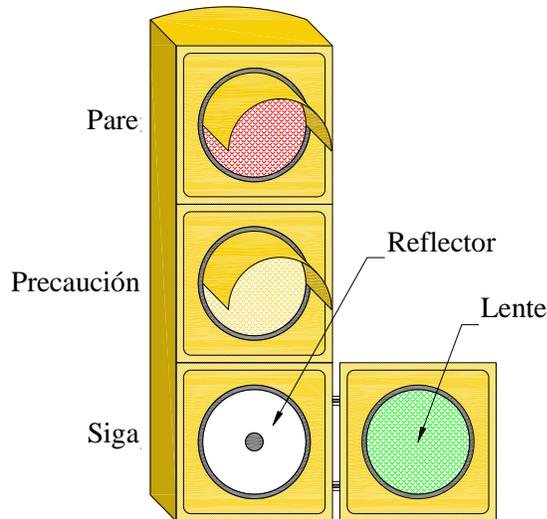
Además de estos semáforos se tienen:

Los semáforos peatonales.

Los semáforos especiales.

2.8.2. Componentes de un semáforo

Figura N°8. Componentes de un semáforo.



Fuente: Ingeniería de Tráfico, Madrid España.

La cara: Es el conjunto de unidades ópticas como ser: el lente, reflector, lámpara, y porta lámpara.

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.

2.8.3. Función de los colores

El color rojo: Significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz roja deberán detenerse.

El color verde: Significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz verde pueden continuar su marcha sin detenerse.

El color amarillo: Significa precaución ya que la luz roja está a punto de encenderse y por lo tanto vehículos y peatones deberán detenerse.

2.8.4. Ubicación de los semáforos

Los semáforos de acuerdo al tipo de intersección deben ser ubicados en cada uno de los accesos de la intersección totalmente visible a los conductores.

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 30-120 segundos, ese ciclo tiene una duración predeterminado cuyo valor deberá ser proyectada en función a las características físicas de la intersección.

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:

El número de vehículos que entran en la intersección por hora desde cada vía de acceso debiendo obtenerse este valor de las estadísticas de volúmenes de las 16 horas de mayor tránsito en el día.

Volúmenes de vehículos por cada movimiento de tráfico clasificado de acuerdo al tipo de vehículo, pesado, 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.

Relevamiento plan altimétrico de las características físicas de la intersección.

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

Condiciones de instalación.

Para ser instalados semáforos independientes 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:

Primera condición de 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 siguiente tabla:

Tabla N°2. Volumen mínimo de vehículos.

N° 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

Fuente: Ingeniera de transito fundamentos y aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas.

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

Segunda 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 siguiente.

Tabla N°3. Volúmenes mínimos por demoras en calle secundaria.

N° Carriles en cada acceso		Volumen horario	
Calle principal	Calle secundaria	Calle principal	Calle secundaria
1	1	750	75
2 o mas	1	900	75
2 o mas	2 o mas	900	100
1	2 o mas	750	100

Fuente: Ingeniera de transito fundamentos y aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas.

Tercera 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°4. Volumen mínimo de vehículos y peatones.

Tipo de intersecciones	Veh/hora		Total, peatones /hr	Periodo de mantenimiento
	Calzada no dividida	Calzada con cantera central		
Fuera del área escolar	600	1000	150	8
En el área escolar	800	1000	250	2

Fuente: Ingeniera de tránsito fundamentos y aplicaciones Rafael Cal y Mayor R James Cárdenas.

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

Cuarta condición del sistema coordinado de semáforos.

La condición de movimientos 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.

Quinta condición de prevención de accidentes.

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

Que se presenten en el término de un año no menos de 5 accidentes de regular importancia que puedan ser evitados.

Que no existan ninguna medida preventiva adecuada.

Que los valores de demanda de las 3 primeras condiciones sean superiores a un 80% a los expresados en las tablas correspondientes.

Sexta 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 semaforizada cumpla por lo menos dos de las condiciones para asegurar que el proyecto de semaforización tendrá resultados.

2.8.5. 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 semaforizadas podrá dar una pauta para la adopción del tiempo de ciclo. La elección del tiempo que dure el ciclo 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:

Volumen de demanda vehicular.

Composición del tráfico.

Volumen de demanda peatonal.

Movimiento de giro.

Duración total del ciclo.

Es difícil de determinar en formas 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 30-120 segundos.

Tiempo de fase amarilla.

Su objetivo es de prevención al conductor a que aparezca la fase roja o verde en la cual debe detenerse y arrancar el vehículo respectivamente, debe tener suficiente tiempo para que el conductor perciba el aviso y reaccione produciendo la acción.

Valores de tiempo de fase amarilla.

Como se puede ver los valores para la fase amarilla están entre 3 y 5 segundos.

Distribución de fase verde y fase roja.

Estos tiempos deben estar muy en relación con la demanda y esa demanda está dado por los volúmenes en cada uno de los accesos de la intersección, si los volúmenes los consideramos como valores totales la relación de equilibrio será:

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

Donde:

VA= Volumen acceso A.

VB = Volumen acceso B.

tVA =Tiempo de verde en acceso A.

tVB = Tiempo de verde en acceso B.

En esta correlación ya se conoce o se da por entendido que los valores del ciclo estarán dados por los tiempos de fase verde en ambos sentidos y los tiempos de fase amarilla en ambos accesos dándonos como tiempo resultante para la asignación de tiempo de fase verde y fase roja al valor de C, las ecuaciones son las siguientes:

$$C = ciclo - ta - ta'$$

$$ciclo = tVA + tVB + ta + ta'$$

Donde:

C = Tiempo sobrante para asignar fase verde y fase roja.

ta =Tiempo de fase amarilla.

ta' = Tiempo de fase amarilla del otro acceso.

Si en la ecuación de equilibrio coloco todo en función de una sola variable tendré que la relación es la siguiente:

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

Esta ecuación de equilibrio que nos permite asegurar los tiempos de fase roja y verde varía si los tiempos de fase amarilla son diferentes teniéndose la siguiente relación:

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

Cuando existen 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.

Coordinación de los semáforos.

Es la forma metodológica de hacer que funcione un conjunto de semáforos aislados para lograr una mayor fluidez en la circulación, cuanto mejor estén asignados los tiempos de las diferentes fases y mejor este la coordinación mayores posibilidades se tendrán de conseguir que la evaluación sea fluida y con menores tiempos de demora.

Existen diferentes tipos de coordinación de semáforos entre ellos los más importantes son los siguientes:

Coordinación continua o simultánea.

Coordinación Alterna.

Coordinación Flexible.

Coordinación continua o simultánea

Este tipo de coordinación es aquel que aproximadamente nos den la misma indicación al mismo tiempo en todos los semáforos es decir que todos los semáforos de una red

indiquen al mismo tiempo fase verde, amarilla y rojo. Una distancia entre semáforo que sea acorde a este tipo de coordinación está dada por la siguiente relación.

$$d = 3.6 * C * V$$

Donde:

d = Distancia entre semáforos (metros).

C = Tiempo de ciclo (segundos).

V = Velocidad Media de circulación (km/hr).

En la mayoría de las ciudades las primeras redes de semáforos son de este tipo de coordinación que funciona bien para algunas intersecciones y con demoras para otras.

Coordinación alterna

Se refiere a tener semáforos ubicados sobre una misma línea con mediciones de tipo alterno es decir que las indicaciones de fase verde pueden ir en forma alternada cada una, dos o tres intersecciones y lo mismo ocurriría con las fases rojas de tal manera que permite un conjunto de vehículos pueda funcionar con fluidez un determinado espacio para este tipo se recomienda que la separación de semáforos responda a la relación:

$$d = 1.8 * C * V$$

Dónde:

d = Separación de semáforos (metros).

C = Tiempo del ciclo (segundos).

V = Velocidad media de circulación (km/hr).

Esta modalidad de coordinación alterna es útil y recomendable para trazos urbanos donde se tenga definido flujos direccionales principales y flujos direccionales secundarios.

Coordinación flexible

Se entiende como la determinación de diferentes tiempos de fase verde en semáforos pertenecientes a una red, aunque tenga tiempos fijos respondan más a las necesidades de la demanda real en cada intersección, es decir este tipo de coordinación optimiza los

tiempos de fase verde en función de las demandas de acceso siendo esto solo posibles en una central digitalizada que tenga subcentrales inducidas unitarias para cada semáforo.

Cualquiera sea el tipo de coordinación que se adopte este tendrá que pasar por una prueba en funcionamiento mínimo de tres meses el cual está sujeto a un control para ver cuáles son las ventajas y desventajas y lograr una reasignación de tiempos y una coordinación adecuada a las condiciones de circulación.

2.9. INTERSECCIONES CON SEMÁFOROS BAJO CONDICIONES DE CIRCULACIÓN DISCONTINUA.

El procedimiento presentado a continuación se basa en la metodología del manual norteamericano Highway Capacity Manual (HCM-95).

2.9.1. 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/hr) para intervalos pico de 15 minutos.

Condiciones prevalecientes de tráfico.

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 de 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:

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

Dónde:

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

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, (segundos).

C = longitud de ciclo del semáforo, (segundos).

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

La 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:

$$X_i = \left(\frac{v}{c}\right)_i = v_i \left(\frac{s_i * g_i}{C}\right) = \left(\frac{v}{s}\right)_i \left(\frac{g_i}{C}\right)$$

Dónde:

$X_i = (v/c)_i$ = 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/hr).

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

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

C = Longitud de ciclo del semáforo, (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 lo tanto, esto podría ser el grupo de carriles “crítico” para dicha intersección de dos fases, se define que:

$$X_c = \frac{C}{C - L} \left[\sum i \left(\frac{v}{s} \right) c_i \right]$$

Dónde:

X_c = Grado de saturación crítico.

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

C = Longitud de ciclo del semáforo, (segundos).

L = Tiempo total perdido por ciclo, (segundos).

2.9.2. Análisis del nivel de servicio de intersecciones con semáforos.

El nivel de servicio se expresa en términos de la demora media por vehículo debido a las detenciones para un periodo de análisis de 15 minutos.

Parámetros que afectan al nivel de servicio.

Promedio de demora de parada por vehículo para varios movimientos dentro de la intersección en un periodo de análisis de 15 minutos. 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 semáforos 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 volúmenes 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 entre 5-15 segundos por vehículo. Algunos vehículos comienzan a detenerse causando retrasos.

Nivel de servicio C.

Describe operaciones con demoras entre 15-25 segundos por vehículo. Estos retrasos elevados pueden dar como resultado una progresión de tránsito regular, las longitudes de ciclo son largas, el número de vehículos parados es significativo.

Nivel de servicio D.

Describe operaciones con demoras entre 25-40 segundos por vehículo. La influencia de congestión se vuelve más apreciable, las demoras son resultado de una progresión de tránsito de mala llegada a la fase roja, las longitudes de ciclo son amplias y las relaciones de v/c son altas.

Nivel de servicio E.

Describe operaciones con demoras entre 40-60 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 es considerado inaceptable para la mayoría de los conductores, a menudo ocurre una sobresaturación, 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°5. Criterios de N. S. 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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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 ($v/c < 1$), posiblemente tan bajo como 0.75 o 0.85, los retrasos altos pueden ocurrir para esas relaciones de v/c si existiesen alguna de las condiciones siguientes:

La longitud de ciclo es larga.

El grupo de carriles en cuestión tiene un tiempo rojo.

La progresión de tráfico pobre.

Nota 3: Un grupo saturado de carriles (relación v/c cercano a 1.0) puede tener demoras bajas si:

La longitud de ciclo es corta.

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.

2.9.3. Metodología del análisis operacional de intersecciones con semáforo

El análisis operacional determina la capacidad y el N. S. para cada grupo de carriles o acceso y finalmente el N. S. global de la intersección. Debido a que el análisis

operacional de las intersecciones con semáforo es complejo, está dividido en cinco módulos distintos, como sigue a continuación:

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

Módulo de ajuste del volumen: Las demandas de volumen son generalmente basados en términos de vehículos por la 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 sentido.

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

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.

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 sustitutos por omisión.

Condiciones geométricas: Se refiere a la configuración física de la intersección como:

Número y ancho de carriles.

Movimiento por carril.

Ubicación de estacionamiento.

Pendientes de los accesos.

Condiciones de tráfico

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

Se considera también el número de 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 más del 80% del volumen del grupo de carriles.

Llegada de vehículos al inicio de la fase roja.

Tipo llegada 2:

Grupo de vehículos moderadamente densos.

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

Llegada de vehículos a 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 del 40% del volumen del grupo de carriles.

Llegada de vehículos aleatoria.

Tipo llegada 4:

Grupo de vehículos moderadamente densos.

Volumen del grupo de vehículos 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 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°6. Relación entre el tipo de llegada y la Relación de columna (Rc).

Tipo de llegada	Intervalo de la relación de columna (rc)	Valores sustitutivos por omisión (rc)	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	Llegada 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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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 sustitutivos por omisión.

Tabla N°7. Val. sustitutivos omisión para análisis de circulación y planteamiento.

Característica	Valor sustitutivo por omisión
Circulación	
Intensidad de la situación 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	
Grupo 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°7
Instalación y Semaforización	
Tipo de semaforización	De tiempos fijos
Duración de ciclo	60 - 120 segundos
Tiempo perdido	3.0 segundos / fase
Amarillo más todo rojo	4.0 segundos / 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.	

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Ocasionalmente, algunos de los datos de campo podrían no estar disponibles cuando variables críticas no son conocidos, podría ser necesario conducir un análisis de planeación, sin embargo, valores sustitutivos por omisión podrían ser usados para algunas de las variables sin comprometer seriamente los cálculos.

La tabla N°8 resume los valores sustitutivos por omisión para usar cuando los datos de campo no están disponibles.

Módulo de ajustes 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.

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

Dónde:

V_p = Tasa de flujo durante el periodo de 15 minutos pico, (veh/hr).

V = Volumen horario, (veh/hr).

$FHMD$ = Factor de hora pico de máxima demanda, varia de 0.85 a 0.95.

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 separados por las siguientes ecuaciones.

$$VI < \frac{Va - VI}{N - 1}$$

$$VI \geq \frac{Va - VI}{N - 1}$$

Donde:

VI = Flujo actual de vuelta a la izquierda, (veh/hr).

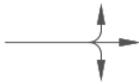
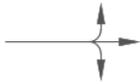
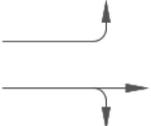
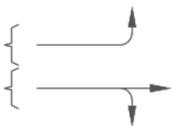
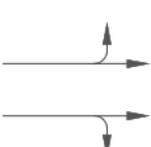
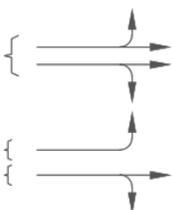
Va = Flujo total en el acceso, (veh/hr).

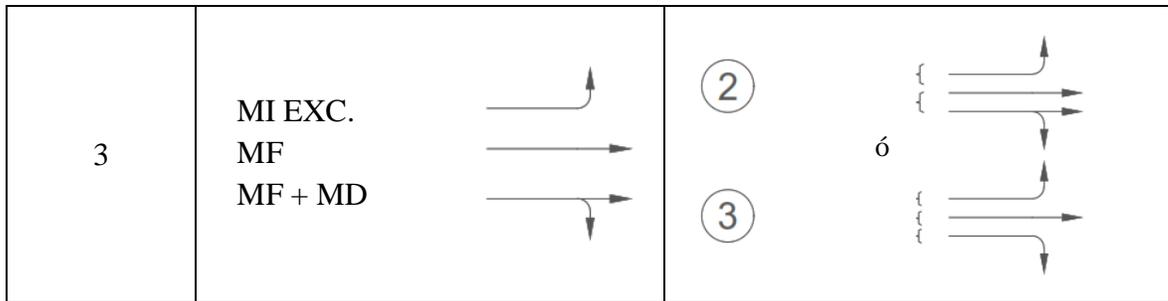
N = Número de carriles en el acceso.

Nota 1: Si cumple la primera desigualdad, 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 segunda desigualdad, el carril extremo izquierdo es un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y deberá establecerse como un grupo separado de carriles.

Figura N°9. 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 ② 6 



Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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:

$$v_i = v_{gi} * U_i$$

Dónde:

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

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

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°8. Factores sustitutivos 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	36.7	1.10
Giro a la izquierda exclusivo	1	100.0	1.00
	2	51.5	1.03
Giro a la derecha exclusivo	1	100.0	1.00
	2	56.5	1.13

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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 de flujo de saturación

Se calcula mediante estudios de campo o con la siguiente expresión:

$$s = s_o(N)(fA)(fVP)(fP)(fE)(fB)(fL)(fMD)(fMI)$$

Dónde:

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

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

N = Número de carriles del grupo.

fA = Factor ajuste por efecto de ancho de carril (Tabla N° 10).

fVP = Factor de ajuste por vehículos pesados (Tabla N° 11).

fP = Factor de ajuste por pendientes del acceso (Tabla N° 12).

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° 13).

fB = Factor de ajuste por paradas de autobuses, (Tabla N° 14).

fL = Factor de ajustes por localización de la intersección, (Tabla N° 15).

fMD = Factor de ajuste por vueltas a la derecha en grupo de carriles, (Tabla N° 16).

fMI = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda el grupo de carriles, (Tabla N° 17).

Tabla N°9. Factor de ajuste por ancho de carril (fA).

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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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

Tabla N°10. Factor de ajuste por vehículos pesados (fVP).

Porcentaje de vehículos pesados % vp.	Factor de vehículos pesados fvp.
0	1.000
2	0.980
4	0.962
6	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	0.690
50	0.667
75	0.571
100	0.500

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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

Tabla N°11. Factor de ajuste por pendientes de acceso (fp).

Inclinación, % "i"		Factor de inclinación.
Tipo	Porcentaje	
Bajada	-6 o 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 o superior	0.950

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

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

Tabla N°12. Factores de ajustes por estacionamiento (fE).

Número de carriles en el grupo de carriles n.	Sin estacionamiento.	Número de maniobras de estacionamiento, nm.				
		0	10	20	30	40
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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nota: $fE = (N - 0.1 - 18 Nm / 3600) / N$; $0 \leq Nm \leq 180$, $fE \geq 0.05$. Utilice la formula cuando haya más de tres carriles o más de 40 maniobras por hora.

Tabla N°13. Factores de ajustes por paradas de autobuses (fB).

Número de carriles en el grupo de carriles N.	Número de autobuses que paran por hora, nb.				
	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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nota: $fB = (N - 14.4 NB / 3600) / N$; $0 \leq NB \leq 250$, $fB \geq 0.05$. Utilice la formula cuando haya más de tres carriles o paren más de 40 maniobras por hora.

Tabla N°14. Factores de ajustes por localización de la intersección (fL).

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

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Tabla N°15. Factores de ajustes por giros a la derecha (fMD).

Casos 1–6: carriles exclusivos/compartidos y fases protegidas/permitidas.				
$f_{MD}=1.0-PMD[0.15-(PT/2100) (1-PMDA)]$				
$0.0 \leq PMD \leq 1.0$	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)			
$0.0 \leq PMD \leq 1.0$	Proporción de MD que utilizan la fase protegida= 1.00 protección completa sin presencia de peatones. <1.00 para permitidas con peatones en conflicto.			
$0.0 \leq PMD \leq 1.0$	Volúmenes 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).				
$f_{MD} = 0.90 - PMD[0.135 + (PT/2100)]$				
$0.0 \leq PMD \leq 1.0$	Proporción de MD en el grupo de carriles.			
$0.0 \leq PT \leq 1700$	Volumen de peatones (pt/h) en conflicto con MD (Utilice o si MD está completamente protegido).			
$f_{MD} = 1.00$ si $PMD = 0.0$				
$f_{MD} \geq 0.05$				
Rango de variación de las variables.				
Caso	PMD	PMDA	PT	Formula simplificada
1 carril	1.0	1.0	0.0	0.85
2 carril	1.0	0.0	0.0 – 1700	0.85
3 carril	1.0	0.0 – 1.0	0.0 – 1700	0.85
4 carril compartido MD: fase MD prot.	0.0 – 1.0	1.0	0.0	1.0
5 carril compartido MD: fase MD Perm.	0.0 – 1.0	0.0	0.0 – 1700	1.0
6 carril compartido MD: fase MD prot. + perm.	0.0 – 1.0	0.0 – 1.0	0.0 – 1700	1.0

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Tabla N°16. Factores de ajustes por giros a la izquierda (fMI).

Caso	Tipo de grupo de carriles.	Factor de giro a la izquierda, fmi
1	Carril exclusivo 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.	Aplique el caso 1 a la fase protegida Aplíquese el caso 2 a la fase permitida

4	Carril compartido MI Fase protegida.	$fMI = 1.0 / (1.0 + 0.05 PMI)$						
		Proporción de giros a la izquierda, PMI						
		0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00	
Factor		1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	
5	Carril compartido MI Fase permitida.	Procedimiento especial: véase formulario de la figura 9-17 o 9-18						
6	Carril compartido MI: Fases protegidas y permitidas.	$fMI = (1400 - Q_o) / [(1400 - Q_o) + (235 + 0.435 Q_o) PMI], Q_o \leq 1220 \text{ veh / hora}$ $fMI = 1 / (1 + 4525), Q_o \geq 1220 \text{ veh / hora}$						
		Volumen en sentido opuesto, Q_o .	Proporción de giros a la izquierda, PMI					
		0	0.00	0.20	0.40	0.60	0.80	1.00
		200	1.00	0.97	0.94	0.91	0.88	0.86
		400	1.00	0.95	0.90	0.86	0.82	0.78
		600	1.00	0.92	0.85	0.80	0.75	0.70
		800	1.00	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61
		1000	1.00	0.83	0.71	0.62	0.55	0.49
		1200	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		

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Módulo de análisis de capacidad.

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

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

La relación 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:

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

Modulo del nivel de servicio.

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

La demora uniforme (d1i): Es la que ocurrirá si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos sin existir saturación durante ningún ciclo. Se expresa como:

$$d1i = 0.38 * C * \frac{(1 - \frac{g^i}{c})^2}{(1 - \frac{g^i}{c}) * Xi}$$

Dónde:

d1i = Demora uniforme para el grupo de carriles “i”, (seg/veh).

C = Longitud del ciclo del semáforo, (segundos).

Xi = (v/c) i = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles “i”.

gi = Tiempo verde efectivo para el acceso o grupo de carriles “i” (segundos).

La demora incremental (d2i): Considera las llegadas aleatorias, logrando que algunos ciclos se saturan. Se expresa como:

$$d2i = 173Xi^2 \left[(Xi - 1) + \sqrt{(Xi - 1)^2 + \frac{16 * Xi}{ci}} \right]$$

Dónde:

d2i = Demora incremental para el grupo de carriles “i”, (seg/veh).

Xi = (v/c) i = Grado de saturación para un acceso o un grupo de carriles “i”.

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

La demora total (di): Para el grupo de carriles “i” se expresa como:

$$di = d1i + d2i$$

Dónde:

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

d1i = Demora uniforme para el grupo de carriles “i”, (seg/veh).

d2i = Demora incremental para el grupo de carriles “i”, (seg/veh).

Es necesario ajustar la demora total (día): 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:

$$dia = di * FP$$

Dónde:

día = Demora ajustada para el grupo de carriles “i”, (seg/veh).

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

FP = Factor de ajuste por efecto de la programación de semáforos. (Tabla N° 18).

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 ecuación:

$$dA = \frac{\sum_{i=1}^{nA} (dia * vi)}{\sum_{i=1}^{nA} vi}$$

Dónde:

dA = Demora en cualquier acceso. (Seg/veh).

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

dia = Demora ajustada para el grupo de carriles “i”. (Seg/veh).

vi = Flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles “i”. (Veh/hr).

Tabla N°17. Factor de ajustes (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:		
Grupo de carriles accionados por el tráfico	0.85	1.00
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 semi accionada.
Factor de ajuste por Progresión (FP) FP=(1-P) fc (1-g/C)		
Tipo de llegada.		

Relación de verde (g/C)	TL1-1	TL1-2	TL1-3	TL1-4	TL1-5	TL1-6
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 Fc	1.000	0.930	1.000	1.150	1.000	1.000
Sustitutivo por omisión Rc	0.333	0.667	1.000	1.333	1.667	2000
Termino de calibración de la demora incremental, m	8	12	16	12	8	4

Fuente: Manual de capacidad de carreteras de los Estados Unidos (HCM-1998).

Nota 1: La tabulación se basa en valores sustitutivos por omisión de fc y Rc.

Nota2: P= Rc g /C (no puede exceder de 1.0).

Nota 3: FP puede no exceder de 1.0 en los TL1-3 a TL1-6.

Demora en la intercesión (dI): Se determina como un promedio ponderado de las demoras de todos los accesos de la intersección, según:

$$dI = \frac{\sum_{A=1}^T (dA * vA)}{\sum_{A=1}^T vA}$$

Dónde:

dI = Demora en la intersección. (Seg/veh).

dA = Demora en cualquier acceso. (Seg/veh).

vA = Flujo ajustado del acceso A. (veh/hr).

T = Numero de accesos en la intersección.

2.9.4. Capacidad y N. S. en intersecciones sin semáforo con el método HCM.

Para la determinación de la capacidad en calles se ha establecido a partir de innumerables estudios que los lugares más críticos son los accesos de las intersecciones

y es ahí donde se debe determinar la capacidad que se presentará a la capacidad de las calles. El procedimiento para determinar la capacidad en intersecciones tiene 3 etapas:

- Determinación de la capacidad teórica o ideal
- Determinación de la capacidad práctica o posible.
- Determinación de la capacidad real

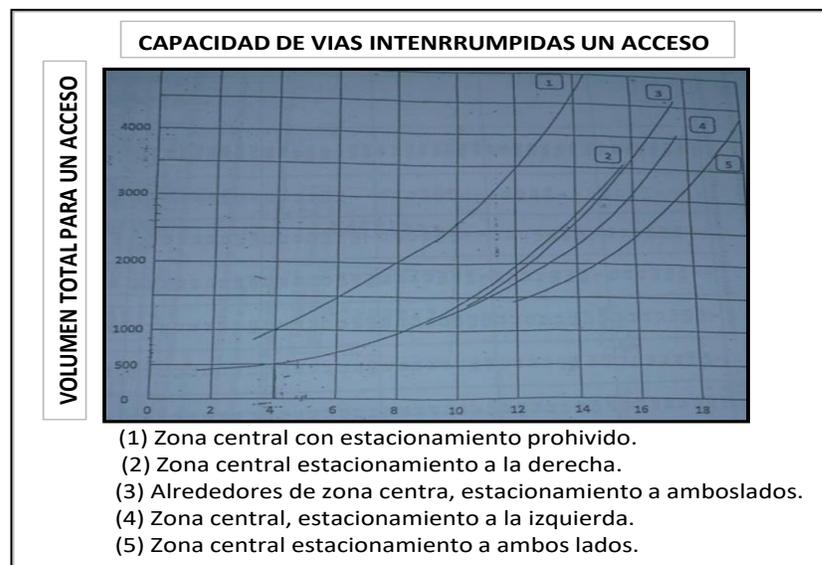
Capacidad teórica: Sea establecido a partir de varios estudios que se han desarrollado en varios tipos de intersecciones tomando en cuenta dos factores esenciales: el ancho del acceso y las características funcionales.

Ancho del acceso: Es un elemento fundamental para determinar cuánto de capacidad puede nuevo acceso. Cuanto mayor es el acceso mayor es la capacidad teórica.

Características funcionales:

Están básicamente la posibilidad de estacionamiento en los accesos y ubicación de la intersección en el entorno del trazo urbano. Si está en zona central, intermedia o periférica. Tomando estos dos factores se hace uso de ábacos ya establecidos tanto para calles de un sentido o de doble sentido con la cual se determina una capacidad teórica.

Figura N°10. Ábacos del Manual de Ingeniería de Tránsito



Fuente: Manual de Ingeniería de Tránsito de Raúl Iván Palma Álvarez.

Capacidad práctica o posible

Sea visto que la capacidad teórica puede tener variabilidad en el tiempo debido a otros factores o variables como las variaciones de flujo o volúmenes, variaciones de las condiciones de los accesos a las vías meses o épocas del año, motivo por cual por seguridad sea establecido que hay una capacidad práctica o posible que es igual al 10 % menos de la capacidad teórica. Entonces para tener la capacidad práctica se debe multiplicar un factor de 0.9 a la capacidad teórica.

$$Cap_{Prac} = Cap_{teo} * 0.9$$

Capacidad real:

Las condiciones particulares de cada y en la de cada acceso hace que se establezca una capacidad real que es el producto de la capacidad práctica por una serie de factores de reducción que está dada por una metodología ya establecida. Los factores de reducción más incidentes son los giros izquierda, giros derecha, paradas antes o después de la intersección, estacionamiento, etc.

Factores de reducción: En la práctica existen diferentes factores, que de una u otra manera influyen en la capacidad, y éstos son:

Giros

Estacionamientos

Vehículos pesados

Paradas antes y después de la intersección

Una vez determinada la capacidad Real y teniendo el volumen del acceso se calcula la relación Volumen / capacidad, en la Tabla N°15.

Se define en capacidad en vías interrumpidas a la cantidad máxima de vehículos que circulan por las calles o lugares céntricos en las calles como intersecciones en un determinado tiempo normal mente de 1 hora. A diferencia de la capacidad que tienen las carreteras, en las calles existen otras condiciones diferentes de circulación de volumen de tráfico, de maniobras de interrupciones, de flujo peatonal, etc. Estas condiciones hacen que la capacidad en las calles sea diferente a la capacidad en carreteras.

La metodología que sigue para determinar los factores de reducción son las siguientes:

Por giros: Sustraer 0.5 % por cada 1% en el que el tráfico gira a la derecha, pasa del 10% el tránsito total.

Sustraer el 1% por cada 1% en el que el tránsito gira a la izquierda pasa del 10% del tránsito total. La máxima de reducción por ambos giros debe hacerse al 20% del tránsito total.

Por Paradas: Paradas de ómnibus antes de la intersección restar el 10 % por paradas restas el 5% en zonas centrales y 10% en zonas después de la intersección intermedias.

Por estacionamiento: Permitidos restar 1.80m al ancho de acceso y utilizar el ancho restante para hacer un recálculo de la Cap. Ideal o Teórica.

Por vehículos pesados: Sustraer un 1% por cada 1% de los ómnibus y camiones pasen del 10% de número total.

Por lo tanto, la capacidad real será el producto de la capacidad práctica multiplicada por el factor de paradas y factor de estacionamientos y por el factor de vehículos pesados.

La capacidad en una intersección puede tener dos o más accesos también tendrán capacidad diferente de cada acceso. Se considera como capacidad de la intersección, a la capacidad más baja. Con estas condiciones la capacidad real es igual a la siguiente relación:

$$Cap_{Real} = Cap_{Practica} + fvd + fai + fdi + fgi + fgd$$

Donde:

Fvp = Factor de vehículos pesados

Fai = Factor por paradas antes de la intersección

Fdi = Factor por paradas después de la intersección

Fgi = Factor por giro izquierdo

Fgd = Factor por giro derecho

Determinación del nivel de servicio intersecciones sin semáforos.

Para la determinación del nivel de servicio de una determinada intersección, se determina primeramente la capacidad de dicha intersección o si es que ya se la tiene se la utiliza para determinar la relación entre el volumen del acceso al que corresponde la capacidad de la intersección y la capacidad de dicha intersección, esta relación es conocida como el factor de carga. Con este valor entramos a la tabla N19.

Tabla N°18. Criterios para el nivel de servicio.

Nivel de servicio	Descripción de flujo de tránsito	Factor de carga V/C
A	Flujo libre	0
B	Flujo estable	≤ 0.10
C	Flujo estable	≤ 0.30
D	Próximo al flujo inestable	≤ 0.70
E	Flujo inestable	≤ 1.00
F	Flujo forzado	> 1.00

Fuente: Manual de Ingeniería de tránsito de Raúl Iván Palma Álvarez.

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS

ROTONDAS EN EL TRAMO

CAPITULO III

APLICACIÓN PRÁCTICA DE LAS ROTONDAS EN EL TRAMO

3.1. ENFOQUE DE LA APLICACIÓN.

El presente estudio se enfoca en el análisis de la capacidad y semaforización de rotondas en la avenida Circunvalación. El tramo cuenta con 6 rotondas donde se realizó el estudio de cada una de ellas, actualmente existen cuatro rotondas semaforizadas; la primera rotonda del Hito (Mástil) es la que se encuentra ubicada en el distrito 7 sus intersecciones son la av. Panamericana y la av. de la Integración donde se interseca con la av. Circunvalación, la segunda rotonda es la Torre Petrolera en el barrio Defensores del Chaco sector el Campesino cuyas intersecciones son la av. Froilán Tejerina que interseca con la av. Circunvalación, la tercera rotonda es la que se encuentra ubicada en el barrio Florida al lado de la cancha de césped sintético llamada La Hollada la cual se encuentra ubicada en la calle Colón y se interseca con la av. Circunvalación; la última rotonda es la que se encuentra en el barrio de Juan XXIII en la av. Monseñor Font y calle Esmeralda las mismas que se intersecan nuevamente con la av. Circunvalación, cada una tiene diferentes tiempos de fases y ciclos.

Las dos rotondas que no se encuentran semaforizadas son la rotonda del Avión que se encuentra en el barrio Palmarcito, intersección con la av. Julio Delio Echazu y la av. Gran Chaco las mismas que intersecan con la av. Circunvalación, y la segunda rotonda que se encuentra sin semaforización es la que está ubicada en el barrio de Juan XXIII, en la av. Roberto Romero la que interseca con la av. Circunvalación.

El método de estudio se basará en el Manual de Capacidad de Carreteras el capítulo de intersecciones reguladas por semáforos, mostrando los cálculos necesarios para realizar la capacidad y nivel de servicio de acuerdo a los tiempos de fase y ciclo.

3.2. UBICACIÓN DE LOS TRAMOS DE APLICACIÓN.

El tramo de estudio es la av. Circunvalación, es una doble vía que inicia en la rotonda del Hito (Mástil), y finaliza en el puente que se encuentra próximo a la estación de servicio SOINTA S.R.L. A lo largo de dicha avenida se encuentran seis rotondas.

Se realizó el análisis de la capacidad vehicular y la semaforización en las rotondas para mejorar la circulación, donde se planteará soluciones para disminuir congestión.

Las coordenadas de las rotondas son las siguientes:

- Rotonda del Hito (Mástil) sus intersecciones son la av. Panamericana y la av. De la integración, sus coordenadas son $21^{\circ}30'55''$ S y $64^{\circ}44'17.21''$ O, tiene una elevación 1903 m.s.n.m.
- Rotonda la Torre Petrolera avenida Froilán Tejerina, sus coordenadas son $21^{\circ}30'51''$ S y $64^{\circ}44'13.21''$ O. tiene una elevación 1903 m.s.n.m.
- Rotonda La Hollada calle Colón, sus coordenadas son $21^{\circ}31'13.98''$ S y $64^{\circ}43'37.51''$ O, tiene una elevación 1888 m.s.n.m.
- Rotonda del Avión avenida Julio Delio Echazú y la avenida Gran Chaco, sus coordenadas son $21^{\circ}31'55.89''$ S y $64^{\circ}43'04.70''$ O, tiene una elevación 1870 m.s.n.m.
- Rotonda de Juan XXIII avenida M Font y calle Esmeralda, sus coordenadas son $21^{\circ}32'16.99''$ S y $64^{\circ}42'43.03''$ O, tiene una elevación 1872 m.s.n.m.
- Rotonda av. Roberto Romero, sus coordenadas son $21^{\circ}32'21.06''$ S y $64^{\circ}42'39.27''$ O, tiene una elevación 1872 m.s.n.m.

Figura N°11. Ubicación de los puntos de estudio.



Fuente: Elaboración propia.

3.3. CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y OPERACIONALES EN EL TRAMO EN ESTUDIO.

El tramo en estudio son las seis rotondas que se encuentran a lo largo de la av. Circunvalación y comprenden de dos vías cada rotonda y cuatro cuentan con semaforización correspondiente y dos rotondas se encuentran sin semaforización, y son diferentes cada una de ellas con su tiempo, ciclo y fases y se dará a continuación sus características principales tanto físicas como operacionales de cada una de ellas.

Rotonda del Hito (Mástil): (av. Circunvalación y av. Panamericana y av. Integración). Es una intersección rotatoria con una isla central, tiene sus cuatro ramales de ingreso, cada uno con sus diferentes anchos de carril de 7.50 metros el acceso principal y el acceso que viene de tomatitos tiene un ancho de carril de 8.50 metros el otro acceso que viene de la av. Integración tiene 8 metros ancho de carril y el ultimo acceso que viene del mercado campesino tiene un ancho de carril de 9 metros, con pendientes de subidas y bajadas que varían entre 0.97 % y 2.54%. Tres ingresos tienen sus giros izquierdos, frente y derecho existe un solo acceso que tiene solo giro izquierdo y derecho, en esta rotonda existe mucho flujo vehicular por la presencia de la EE.SS. AGRUPA S.R.L.

tiene un porcentaje de vehículo pesados entre 1.68% y 3.56% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Tiene cuatro accesos con un sistema de semaforización, con su respectivo ciclo y fases el tiempo amarillo solo de ida.

Rotonda la Torre Petrolera: (av. Circunvalación y av. Froilán Tejerina). Es una intersección rotatoria con una isla central, con cuatro ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos principales y los accesos secundarios de 9 metros, con pendientes de subidas y bajadas que varían entre 3.41% y -3.05%. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento, en esta rotonda existe mucho flujo peatonal en sus accesos debido a que es una zona comercial, tiene un porcentaje de vehículo pesados entre 3.39% y 5.02% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Tiene cuatro accesos con un sistema de semaforización, con un ciclo de 50 segundos, tiempo verde de 26 segundos, tiempo rojo de 22 segundos y tiempo amarillo solo de ida de 2 segundos.

Rotonda La Hollada: (av. Circunvalación y calle Colón). Es una intersección rotatoria con una isla central, con cuatro ramales de ingreso, cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos principales y el acceso 2 tiene un ancho de carril de 6.10 metros y el acceso 4 tiene un ancho de carril de 8 metros, con pendientes de subidas y bajadas entre 5.25% y -3.95%. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento, y existe poco flujo peatonal en cada acceso, tiene un porcentaje de vehículo pesados entre 0.27% y 3.88% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Tiene cuatro accesos con un sistema de semaforización, con un ciclo de 42 segundos, tiempo verde de 20 segundos, tiempo rojo de 20 segundos y tiempo amarillo solo de ida de 2 segundos.

Rotonda del Avión: (av. Circunvalación entre av. Julio Delio Echazú y av. Gran Chaco). Es una intersección rotatoria con una isla central, con cuatro ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos principales y los accesos secundarios de 8 metros, con pendientes de subidas y bajadas que varían entre 3.33% y -0.43%. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento y existe poco flujo peatonal en cada acceso, tiene un porcentaje de

vehículo pesados entre 1.50% y 4.61% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Ésta rotonda no cuenta con un sistema de semaforización.

Rotonda de Juan XXIII: (av. Circunvalación entre av. M. Font y calle Esmeralda). Es una mini rotonda no tiene una isla una central, tiene tres ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos principales y el acceso secundario de 6.20 metros, con pendientes de subida y bajada que varían entre 0.59% y -0.92%. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento y existe poco flujo peatonal en cada acceso, tiene un porcentaje de vehículos pesado entre 0.03% y 4.87% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por dicha rotonda. Tiene tres accesos con un sistema de semaforización, con un ciclo de 40 segundos, tiempo verde de 20 segundos, tiempo rojo de 18 segundos y tiempo amarillo solo de ida de 2 segundos.

Rotonda de la avenida Roberto Romero: (av. Circunvalación y av. Romero). Es una intersección rotatoria con una isla central, con cuatro ramales de ingreso cada uno con diferentes anchos de carril de 7.50 metros los accesos principales y los accesos secundarios de 7 metros, con pendientes de subidas y bajadas que varían entre 3.52% y -1.96%. Cada ingreso tiene su giro izquierdo de frente y giro derecho, no cuenta con estacionamiento, y existe poco flujo peatonal en cada acceso, tiene un porcentaje de vehículo pesados entre 0.36% y 7.16% de acuerdo al total de vehículos por acceso que circula por la rotonda. Ésta rotonda no cuenta con un sistema de semaforización.

3.4. MEDICIÓN DE VOLÚMENES EN LOS DIFERENTES ACCESOS EN LA ROTONDAS DE ESTUDIO.

Con el propósito de conocer la demanda actual, se realizaron los aforos de volúmenes de tráfico en cada una de las rotondas que se encuentran en la av. Circunvalación, los volúmenes se realizaron en las horas picos, tres horas por día, 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 y liviano), y su movimiento (giro derecho, recto y giro izquierdo) según corresponda.

3.4.1. Procedimiento.

El primer paso para sacar volúmenes fue obtener las horas más congestionadas, en las horas pico donde se realizó el aforo durante un día desde las 06:00AM hasta las 22:00 PM, en la rotonda más crítica la Torre Petrolera sector el mercado campesino.

Realización de aforos de volúmenes.

Con las horas picos ya definidas se realizó el aforo de volúmenes en las tres horas correspondientes de cada día (07:00-08:00, 12:00-13:00, 18:00-19:00), dos días hábiles y un día no hábil, ubicándonos en cada acceso de las rotondas y anotando la clasificación correspondiente.

3.4.2. Proceso de aforación.

Se realizó de forma manual, con el personal adecuado, con una información completa, ya que el conteo manual sería complicado y moroso. En el proceso de aforación manual se observó y se anotó el numero vehículos que pasaban por la vía designada en los puntos de observación más claro en el ingreso de cada acceso a las rotondas, se empleó una planilla de aforos en función a su clasificación (liviano, mediano y pesado) y con sus respectivos giros (derecho, recto e izquierdo) según corresponde.

3.4.3. Resultados de los aforos.

Tabla N°19. Resultados horas pico rotonda más crítica la Torre Petrolera.

Horas	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Total
07:00-08:00	855	820	910	835	3420
12:00-13:00	838	805	885	824	3352
18:00-19:00	829	814	851	822	3316

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Con estas horas picos se trabajó para todas las rotondas.

Figura N°12. Aforos rotonda del Hito, (martes, jueves y sábado).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°20. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda del Hito (Mástil).

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	350	-	332	682
Total, en %	51.36	-	48.64	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	369	377	239	985
Total, en %	51.36	38.33	24.23	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	328	255	45	629
Total, en %	52.22	40.58	7.21	100
Acceso 4	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	111	397	167	675
Total, en %	16.42	58.80	24.78	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°13. Aforos rotonda la Torre Petrolera, (lunes, miércoles y sábado).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°22. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda la Torre Petrolera.

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	349	511	186	1046
Total, en %	33.40	48.85	17.75	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	220	441	158	819
Total, en %	26.88	53.87	19.25	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	169	655	203	1027
Total, en %	16.46	63.78	19.77	100
Acceso 4	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	246	426	240	912
Total, en %	26.95	46.71	26.35	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°14. Aforos rotonda La Hollada, (lunes, miércoles y sábado).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°23. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda La Hollada.

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	90	896	150	1137
Total, en %	7.92	78.85	13.23	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	248	61	126	435
Total, en %	56.93	13.99	29.08	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	106	919	26	1052
Total, en %	10.10	87.39	2.52	100
Acceso 4	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	121	346	123	591
Total, en %	20.50	58.61	20.89	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°15. Aforos rotonda del Avión, (lunes, miércoles y sábado).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°24. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda del Avión.

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	63	783	120	965
Total, en %	6.49	81.10	12.41	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	122	152	118	391
Total, en %	31.16	38.78	30.06	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	129	867	183	1179
Total, en %	10.93	73.53	15.54	100
Acceso 4	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	223	205	50	478
Total, en %	46.71	42.90	10.38	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°16. Aforos rotonda de Juan XXIII, (martes, jueves y domingo).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°25. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda de Juan XXIII.

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	67	721	19	807
Total, en %	8.26	89.38	2.36	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	29	678	25	732
Total, en %	3.95	92.59	3.46	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	168	130	128	426
Total, en %	39.55	30.49	29.97	100

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°17. Aforos rotonda av. Roberto Romero, (martes, jueves y domingo).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°26. Resultado volúmenes veh/hr. Rotonda av. Roberto Romero.

Acceso 1	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	57	512	53	622
Total, en %	9.17	82.33	8.50	100
Acceso 2	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	38	187	230	455
Total, en %	8.40	41.15	50.45	100
Acceso 3	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	306	464	135	905
Total, en %	33.81	51.27	14.92	100
Acceso 4	Giro izquierdo	Frente	Giro derecho	Total
Total, movimiento (veh/hr)	89	263	60	412
Total, en %	21.64	63.84	14.52	100

Fuente: Elaboración propia.

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

Cuatro de las rotondas que se encuentran en la av. Circunvalación cuentan con un sistema de semaforización y dos rotondas se encuentran sin sistema de semaforización.

3.5.1. Procedimiento.

Al analizar cada rotonda se procedió a anotar los tiempos de ciclo y fase de cada una de ellas con un cronometro, ninguna rotonda cuenta con temporizador en sus semáforos.

Tabla N°27. Tiempos de ciclo y fases rotonda del Hito (Mástil).

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	0	20	14	36
2	2	0	16	18	36
3	2	0	20	14	36
4	2	0	16	18	36

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°28. Tiempos de ciclo y fases rotonda la Torre Petrolera.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	0	22	26	50
2	2	0	30	18	50
3	2	0	22	26	50
4	2	0	30	18	50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°29. Tiempos de ciclo y fases rotonda La Hollada.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	0	20	20	42
2	2	0	22	18	42
3	2	0	20	20	42
4	2	0	22	18	42

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°30. Tiempos de ciclo y fases rotonda de Juan XXIII.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	0	18	20	40
2	2	0	18	20	40
3	2	0	22	16	40

Fuente: Elaboración propia.

3.6. DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD Y NIVEL DE SERVICIO.

Cuatro rotondas cuentan con un sistema de semaforización en todos sus accesos y dos rotondas no cuentan con un sistema de semaforización.

3.6.1. Capacidad y nivel de servicio con semáforo.

Para realizar la capacidad se procedió a realizar los siguientes pasos: Analizamos la rotonda la Torre Petrolera (sector el campesino) acceso 2.

Módulo de entrada.

Paso 1: Registramos los volúmenes vehiculares, colocando el sentido (izquierdo, recto y derecho) en este caso tiene los tres sentidos (acceso 2) y todos los accesos de esta rotonda tienen sus tres sentidos como se muestra en la figura 21.

Paso 2: En la tabla N°29 colocamos las condiciones geométricas de la rotonda, mostrando las características más importantes, como la pendiente, % vehículos pesados, estacionamiento, parada de autobuses, factor de hora pico, ancho de carril, peatones y tipo de llegadas. El ciclo del semáforo cuenta con tres fases con un tiempo 50 segundos.

Módulo de ajuste de volúmenes.

Paso 1: Con los movimientos ya definidos, procedemos a encontrar el flujo de demanda no ajustada dividiendo el volumen entre el factor de hora pico de máxima demanda, adoptaremos el valor de 0.85, con la siguiente ecuación.

$$VP_{izq} = \frac{220}{0.85} = 259 \text{ Veh/hr.}$$

$$VP_{fre} = \frac{441}{0.85} = 519 \text{ Veh/hr.}$$

$$VP_{der} = \frac{158}{0.85} = 186 \text{ Veh/hr.}$$

$$VP_{total} = 964 \text{ Veh/hr.}$$

Paso 2: Seleccionamos el factor de utilización del carril (U) de la tabla N°9 como es de dos carriles $U= 1.05$ y se calcula el flujo de demanda ajustado multiplicando el flujo de demanda no ajustado por factor de utilización del carril, con la siguiente ecuación.

$$Vi = 964 * 1.05 = 1012 \text{ Veh/hr.}$$

Paso 3: calculamos las proporciones de vueltas a la izquierda y a la derecha mostrada en la tabla de resultados.

$$Pro. de MI = \frac{264}{969} = 0.27.$$

$$Pro. de MD = \frac{186}{969} = 0.19.$$

Módulo de flujo de saturación.

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

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

Factor de ajustes por efecto de ancho de carril. De la (tabla N°10) en este caso el carril mide 9 metros vamos a analizarlo como dos carriles de 4.5 metros cada uno para realizar el cálculo, entonces el factor $fA= 1.100$.

Factor de ajustes por vehículos pesados. De la (tabla N°11), por este acceso pasan 4.01% de vehículos pesados, entonces el factor $fVP= 0.962$.

Factor de ajustes por pendiente. De la (tabla N°12). La pendiente para este acceso es de 2.95% entonces el factor $fP= 0.985$.

Factor de ajustes por estacionamiento. De la (tabla N°13). En este acceso no existe estacionamiento, entonces el factor $fE= 1$.

Factor de ajustes por parada de autobuses. De la (tabla N°14). En este acceso no existe estacionamiento, entonces el factor $fE= 1$.

Factor de ajustes por localización de la intersección. De la (tabla N°15). En este caso es centro urbano, entonces el factor $fL= 0.90$.

Factor de ajustes por vueltas a la derecha en el grupo de carriles. De la (tabla N°16) dependiendo de la proporción de vehículos que giran a la derecha es 0.19, entonces el factor $fMD= 1$.

Factor de ajustes por vueltas a la izquierda en el grupo de carriles. De la (tabla N°17) dependiendo de la proporción de vehículos que giran a la izquierda es 0.27, entonces el factor $fMI= 0.896$.

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

$$S = 1900 * 2 * 1.100 * 0.962 * 0.985 * 1 * 1 * 0.90 * 1 * 0.896 = 3194 Veh/hr.$$

Módulo de análisis de capacidad.

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

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

$$V = 1012 \text{ veh/hr.}$$

$$S = 3194 \text{ veh/hr.}$$

$$\frac{V}{S} = \frac{1012}{3194} = 0.32.$$

Paso 3: Calcula la relación verde de cada fase con respecto a la longitud del ciclo g/C :

$$g=18 \text{ seg.}$$

$$C=50 \text{ seg.}$$

$$\frac{g}{C} = \frac{18}{50} = 0.36.$$

Paso 4: Se calcula el módulo de análisis de capacidad para cada acceso de acuerdo a la ecuación, multiplicando el flujo de saturación S , por la relación de verde g/C .

$$ci = 3194 * 0.36 = 1150 \text{ Veh/hr.}$$

Pasó 5: Se calcula la relación volumen a capacidad V/C para cada acceso.

$$V = 1012 \text{ veh/hr.}$$

$$ci = 1150 \text{ veh/hr.}$$

$$X = \frac{1012}{1150} = 0.88.$$

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 anteriormente.

Paso 2: Procedemos a calcular la demora uniforme con la ecuación siguiente.

$$d1i = 0.38 * 50 * \frac{(1 - 0.36)^2}{(1 - 0.36 * 0.88)} = 11.45 \text{ seg/veh.}$$

Paso 3: Procedemos a calcular la demora incremental con la ecuación siguiente.

$$d2i = 173 * (0.88)^2 * \left[(0.88 - 1) + \sqrt{(0.88 - 1)^2 + \left(\frac{16 * 0.88}{1150} \right)} \right] = 6.37 \text{ seg/veh.}$$

Paso 4: Procedemos a calcular la demora total con la ecuación siguiente.

$$di = 11.45 + 6.37 = 17.82 \text{ seg/veh.}$$

Paso 5: Y por último procedemos a ajustar la demora total con la ecuación siguiente, solo debemos multiplicar la demora total por el factor ajustes por demora uniforme obtenemos el valor de la tabla N°18.

$$dia = 17.82 * 1.107 = 19.73 \text{ seg/veh.}$$

Paso 6: Para finalizar entramos a la tabla N°6 y obtenemos el nivel de servicio en este acceso nos dio un nivel de servicio C.

3.6.2. Resultados.

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio rotonda la Torre Petrolera,

Figura N°18. Volúmenes y giros rotonda del Hito (Mástil).



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°31. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda del Hito (Mástil).

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	0.97	3.56	NO	0	0	0.85	9.00	2
2	-2.54	2.83	NO	0	0	0.85	9.50	3
3	2.50	2.63	NO	0	0	0.85	8.00	2
4	2.34	1.68	NO	0	0	0.85	9.20	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla Nª 32. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda del Hito (Mástil).

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. De movimiento (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo vp (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada VI (veh/hr) [7*9]	Propor. De vueltas	
										PMI (5/7)	PMD (5/7)
1	MI	350	0.85	412		803	2	1.05	844	0.51	
	MF		0.85								
	MD	332	0.85	391							0.49
2	MI	369	0.85	435		1161	2	1.05	1219	0.37	
	MF	377	0.85	444							
	MD	239	0.85	282							0.24
3	MI	328	0.85	386		739	2	1.05	776	0.52	
	MF	255	0.85	300							
	MD	45	0.85	53							0.1
4	MI	111	0.85	131		795	2	1.05	835	0.16	
	MF	397	0.85	467							
	MD	167	0.85	197							0.25

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°33. Formulario modelo de flujo de saturación rotonda del Hito (Mástil).

Formulario de ajuste de flujo de saturación.												
Grupo de carriles				Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal (veh/hr/c) SO	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA). Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV) Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP). Tabla N°12	Por estacionamiento (fE). Tabla N°13	Parada de autobuses (fB). Tabla N°14	Tipo de zona (fL). Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD). Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI). Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.100	0.966	0.995	1	1	0.90	1	0.975	3526
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	1.133	0.973	1.013	1	1	0.90	1	0.982	3750
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	1.044	0.974	0.988	1	1	0.90	1	0.976	3353
	MF											
	MD											
4	MI	1900	2	1.111	0.983	0.988	1	1	0.90	1	0.992	3660
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°34. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda del Hito (Mástil).

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Mov. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado V_i (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Relación $XI=VI/CI$ [3/7]	Grado de saturación crítico X_C
1	MI	844	3526	0.24	0.39	1376	0.63	*
	MF							
	MD							
2	MI	1219	3750	0.33	0.5	1875	0.65	*
	MF							
	MD							
3	MI	776	3353	0.23	0.39	1308	0.59	*
	MF							
	MD							
4	MI	835	3660	0.23	0.5	1830	0.46	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de X_c Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°35. Formulario modelo de análisis y N. S. rotonda del Hito (Mástil).

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $XI=VI/CI$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{li} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP. Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.63	0.39	36	13.25	1376	0.67	1.136	15.81	C	16	C
	MF											
	MD											
2	MI	0.65	0.5	36	10.52	1875	0.57	1.000	11.09	B	11	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.59	0.39	36	14.14	1308	0.52	1.136	16.65	C	17	C
	MF											
	MD											
4	MI	0.46	0.5	36	14.87	1830	0.14	1.000	15.01	C	15	C
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°19. Volúmenes y giros rotonda la Torre petrolera.



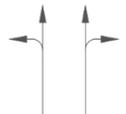
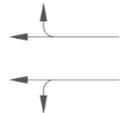
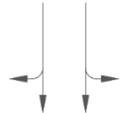
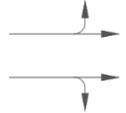
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°36. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda Torre Petrolera.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	3.41	4.42	N	0	0	0.85	7.5	2
2	2.95	4.01	N	0	0	0.85	9.0	3
3	-3.05	5.02	N	0	0	0.85	7.5	2
4	2.44	3.39	N	0	0	0.85	9.0	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°37. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda Torre Petrolera.

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. De mov. (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo VP (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada VI (veh/hr) [7*9]	Pro por. De vueltas	
										PMI	PMD
1	MI	349	0.85	411		1232	2	1.05	1294	0.34	
	MF	511	0.85	602							
	MD	186	0.85	219							0.18
2	MI	220	0.85	259		964	2	1.05	1012	0.27	
	MF	441	0.85	519							
	MD	158	0.85	186							0.19
3	MI	172	0.85	203		1213	2	1.05	1274	0.17	
	MF	655	0.85	771							
	MD	203	0.85	239							0.20
4	MI	246	0.85	290		1075	2	1.05	1129	0.27	
	MF	426	0.85	502							
	MD	240	0.85	283							0.26

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°38. Formulario modelo de flujo de saturación rotonda Torre Petrolera.

Formulario de ajuste de flujo de saturación.												
	Grupo de carriles			Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal SO (veh/hr/c)	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA). Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV) Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP). Tabla N°12	Por estacionamiento (fE). Tabla N°13	Parada de autobuses (fB). Tabla N°14	Tipo de zona (fL). Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD). Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI). Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.017	0.958	0.983	1	1	0.90	1	0.822	2693
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	1.100	0.962	0.985	1	1	0.90	1	0.896	3194
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	1.017	0.951	1.015	1	1	0.90	1	0.904	3036
	MF											
	MD											
4	MI	1900	2	1.100	0.967	0.988	1	1	0.90	1	0.896	3221
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°39. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda Torre Petrolera.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Mov. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado VI (veh/hr)	Flujo se saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Relación XI=VI/CI [3/7]	Grado de saturación crítico Xc
1	MI	1294	2693	0.48	0.50	1347	0.96	*
	MF							
	MD							
2	MI	1012	3194	0.32	0.36	1150	0.88	*
	MF							
	MD							
3	MI	1274	3036	0.42	0.50	1518	0.84	*
	MF							
	MD							
4	MI	1129	3221	0.35	0.36	1160	0.97	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de Xc Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

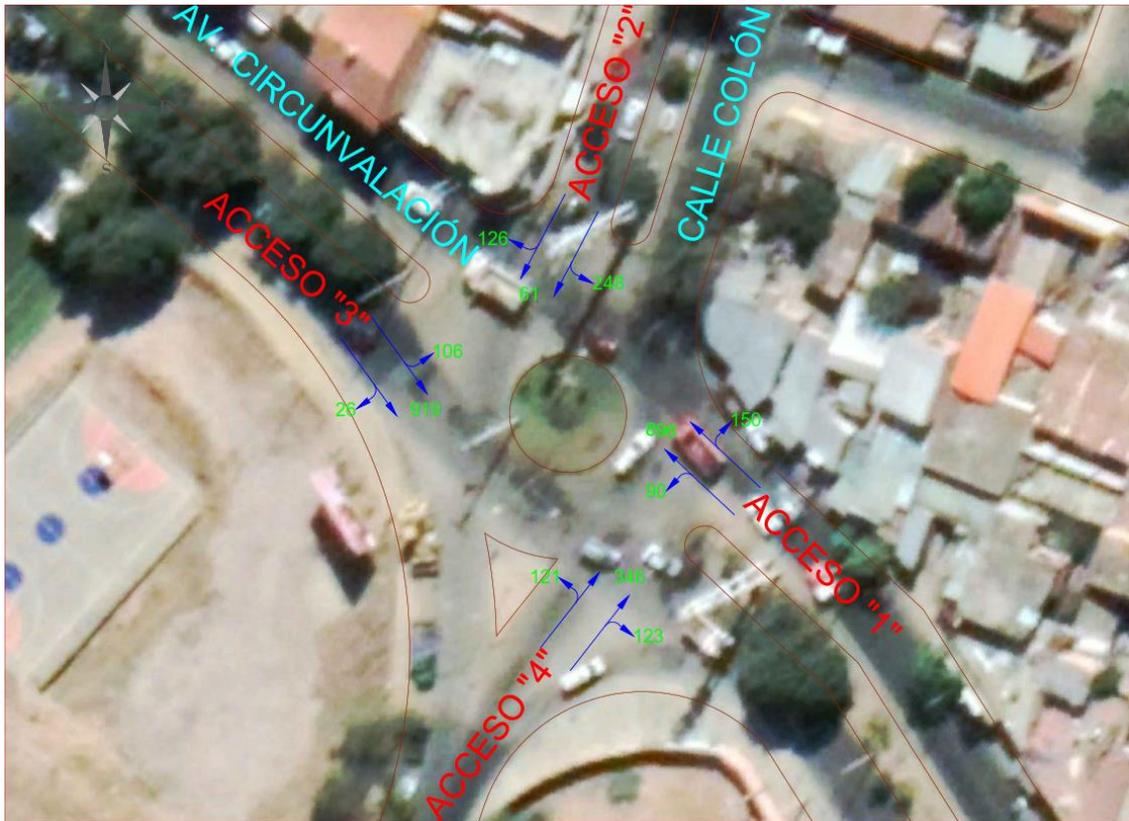
Tabla N°40. Formulario modelo y análisis N. S. rotonda Torre Petrolera.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $x_i=vi/ci$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme $d1i$ (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental $d2i$ (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP. Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.96	0.50	50	9.13	1347	11.80	1.240	26	D	26	D
	MF											
	MD											
2	MI	0.88	0.36	50	11.45	1150	6.37	1.017	20	C	20	C
	MF											
	MD											
3	MI	0.84	0.50	50	8.19	1518	3.13	1.240	14	B	14	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.97	0.36	50	11.96	1160	14.57	1.017	30	D	30	D
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio de la rotonda La Hollada (av. Circunvalación y calle Colón).

Figura N°20. Volúmenes y giros rotonda La Hollada.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°41. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda La Hollada.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	5.25	3.82	N	0	0	0.85	7.50	2
2	-3.45	3.88	N	0	0	0.85	6.10	3
3	-3.95	3.65	N	0	0	0.85	7.50	2
4	2.65	0.27	N	0	0	0.85	8.00	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°42. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda La Hollada.

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. Del mov. (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo VP (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada VI (veh/hr) [7*9]	Propor. De vueltas	
										PMI	PMD
1	MI	90	0.85	106		1338	2	1.05	1405	0.08	
	MF	896	0.85	1055							
	MD	150	0.85	177							0.13
2	MI	248	0.85	292		513	2	1.05	539	0.57	
	MF	61	0.85	72							
	MD	126	0.85	149							0.29
3	MI	106	0.85	125		1238	2	1.05	1300	0.10	
	MF	919	0.85	1082							
	MD	26	0.85	31							0.03
4	MI	121	0.85	143		695	2	1.05	730	0.21	
	MF	346	0.85	407							
	MD	123	0.85	145							0.21

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°43. Formulario modelo de flujo y saturación rotonda La Hollada.

Formulario de ajuste de flujo de saturación.												
	Grupo de carriles			Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal SO (veh/hr/c)	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA). Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV). Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP). Tabla N°12	Por estacionamiento (fE) Tabla N°13	Parada de autobuses (fB). Tabla N°14	Tipo de zona (fL) Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD). Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI). Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.017	0.964	0.974	1	1	0.90	1	0.896	2927
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	0.939	0.963	1.020	1	1	0.90	1	0.808	2549
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	1.017	0.965	1.020	1	1	0.90	1	0.915	3133
	MF											
	MD											
4	MI	1900	2	1.044	0.997	0.987	1	1	0.90	1	0.969	3405
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°44. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda La Hollada.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado VI (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Relación XI=VI/CI [3/7]	Grado de saturación crítico Xc
1	MI	1405	2927	0.48	0.48	1405	0.99	*
	MF							
	MD							
2	MI	539	2549	0.21	0.43	1097	0.49	*
	MF							
	MD							
3	MI	1300	3133	0.41	0.48	1504	0.86	*
	MF							
	MD							
4	MI	730	3405	0.21	0.43	1465	0.50	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de Xc Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°45. Formulario modelo de análisis y N. S. rotonda La Hollada.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $X_i = v_i / c_i$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{1i} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.99	0.48	42	8.30	1405	18.46	1.219	33	D	33	D
	MF											
	MD											
2	MI	0.49	0.43	42	6.57	1097	0.29	1.000	6.86	B	7	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.86	0.48	42	7.35	1504	3.78	1.219	13.57	B	14	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.50	0.43	42	6.61	1465	0.23	1.000	6.84	B	7	B
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia

Resultado del cálculo de la capacidad y nivel de servicio de la rotonda de Juan XXIII (av. Circunvalación y av. M. Font y calle Esmeralda).

Figura N°21. Volúmenes y giros rotonda de Juan XXIII.



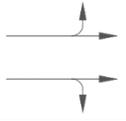
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°46. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda Juan XXIII.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	-0.92	4.87	N	0	0	0.85	7.50	2
2	0.6	4.79	N	0	0	0.85	7.50	3
3	0.45	0.03	N	0	0	0.85	6.20	2

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°47. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda Juan XXIII.

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. Del mov. (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo VP (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada VI (veh/hr) [7*9]	Propor. De vueltas	
										PMI	PMD
1	MI	67	0.85	79		951	2	1.05	999	0.08	
	MF	721	0.85	849							
	MD	19	0.85	23							0.02
2	MI	29	0.85	35		863	2	1.05	907	0.04	
	MF	678	0.85	798							
	MD	25	0.85	30							0.03
3	MI	168	0.85	198		502	2	1.05	527	0.39	
	MF	130	0.85	153							
	MD	128	0.85	151							0.30

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°48. Formulario modelo de flujo y saturación rotonda Juan XXIII.

Formulario de ajuste de flujo de saturación												
	Grupo de carriles			Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal (veh/hr/c) SO	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA) Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV) Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP) Tabla N°12	Por estacionamiento (fE) Tabla N°13	Parada de autobuses (fB) Tabla N°14	Tipo de zona (fL) Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD) Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI) Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.017	0.954	1.005	1	1	0.90	1	0.952	3175
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	1.017	0.954	0.997	1	1	0.90	1	0.996	3295
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	0.944	0.999	0.998	1	1	0.90	1	0.940	3026
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°49. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda Juan XXIII.

Formulario de ajuste de capacidad								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado VI (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles Ci (veh/hr) [4*6]	Relación XI=VI/CI [3/7]	Grado de saturación critico Xc
1	MI	999	3175	0.31	0.50	1588	0.63	*
	MF							
	MD							
2	MI	907	3295	0.28	0.50	1648	0.55	*
	MF							
	MD							
3	MI	527	3026	0.18	0.40	1211	0.44	*
	MF							
	MD							
(*) No se hace el cálculo de Xc Porque no hay $X \geq 1$								

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°50. Formulario modelo de análisis y N.S. rotonda Juan XXIII.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $x_i=v_i/c_i$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{1i} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.63	0.50	40	5.55	1588	0.58	1.24	7.60	B	8	B
	MF											
	MD											
2	MI	0.55	0.50	40	5.24	1648	0.31	1.24	6.88	B	7	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.44	0.40	40	6.64	1211	0.17	1.00	6.81	B	7	B
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

3.6.3. Capacidad y nivel de servicio sin semáforo.

Se realizó el cálculo de la capacidad y nivel de servicio de una intersección sin semáforo en la rotonda del avión, como ejemplo.

Datos:

Acceso:	1
Zona central con estacionamiento prohibido	
No existe parada antes ni después de la intersección.	
Volumen total horario	965 veh/hr
Ancho de calzada	7.50 m
Ancho de carril	3.75 m
% de vehículos pesados	4.61 %
% de giro izquierdo	6.49 %
% de giro derecho	12.41 %
Paradas antes de la intersección	10 %
Parada después de la intersección	10 %

Calculo de la capacidad:

Capacidad ideal = 800 veh/hr (se obtiene del Abaco se entra con el ancho de calzada).

Capacidad practica = Cap. Ideal * 0.9 = 720 veh/hr

Capacidad Real = Cap. Practica * fvd * fgi * fgd * fp

$$Fvd = 1.0539$$

$$\% \text{ vehículos pesados} = 4.61$$

$$\% \text{ que se pasa del } 10\% = -5,39$$

$$Fgi = 1.0351$$

$$\% \text{ de giro izquierdo} = 6.49$$

$$\% \text{ que se pasa del } 10\% = -3.51$$

$$Fgd = 0.9880$$

$$\% \text{ de giro derecho} = 12.41$$

$$\% \text{ que se pasa del } 10\% = 2.41$$

$$F_p = 0.8$$

Por paradas antes de la intersección = 10

Por paradas después de la intersección = 10

$$\text{Total} = 20$$

$$\text{Capacidad Real} = 620.78 \approx 621 \text{ veh/hr}$$

Calculo del Nivel de servicio:

$$\text{Volumen} = 965 \text{ veh/hr}$$

$$\text{Capacidad} = 621 \text{ veh/hr}$$

$$V/C = 1.55 \text{ (factor de carga)}$$

Según la tabla el nivel de servicio es F (flujo forzado).

Figura N°22. Volúmenes empleados rotonda del Avión acceso sin semáforo.



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°51. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda del Avión.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Vol. Total horario	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Giro izquierdo %	Giro derecho %	Ancho de calzada	Ancho de carril
			SI o NO	Nm				
1	965	4.61	N	0	6.49	12.41	7.50	3.75
2	391	3.48	N	0	31.16	30.06	8.00	4.00
3	1179	3.00	N	0	10.93	15.54	7.50	3.75
4	478	1.50	N	0	46.71	10.38	8.00	4.00

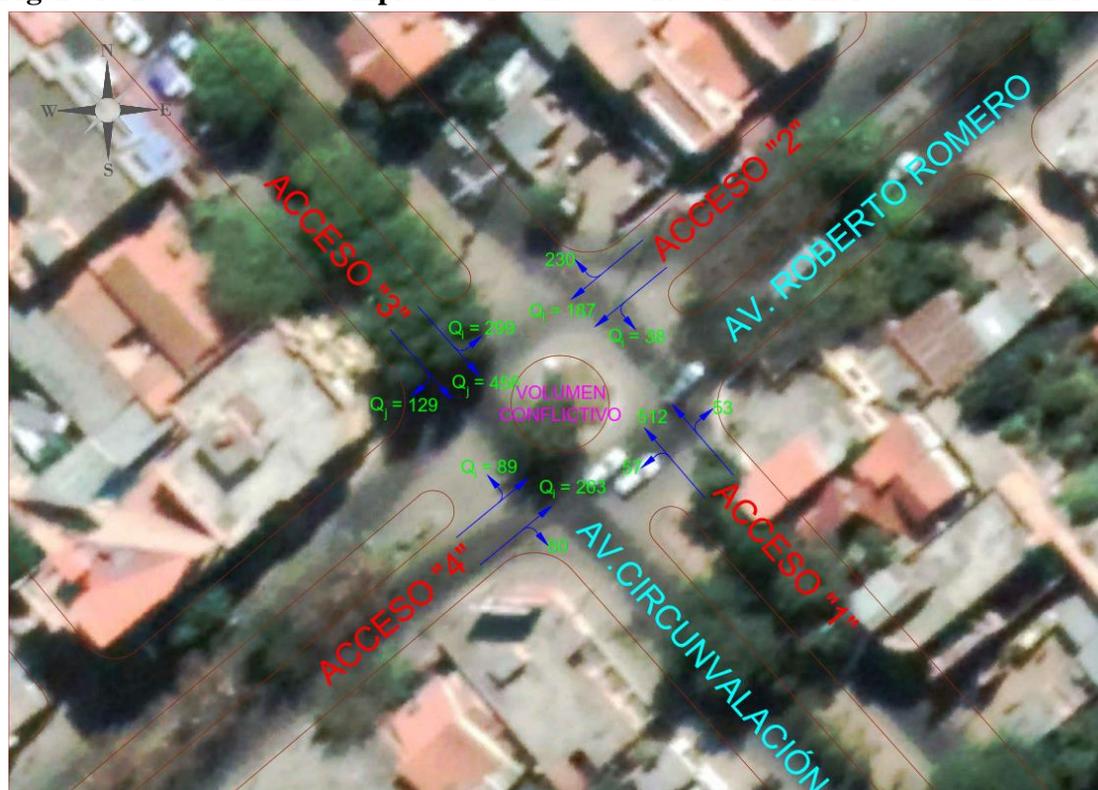
Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°52. Calculo de la capacidad y N. S. rotonda del Avión.

Acc.	VTH	Cap. ideal	Cap. Prac.	fvd	fgi	fgd	fp	Cap. real	V/C	Nivel de servicio
1	965	950	855	1.00	1.00	0.99	1.00	845	1.14	F (flujo forzado)
2	391	1000	900	1.00	0.79	0.90	1.00	638	0.61	D (flujo inesta.)
3	1179	950	855	1.00	0.99	0.97	1.00	824	1.43	F (flujo forzado)
4	478	1000	900	1.00	0.80	1.00	1.00	719	0.66	D (flujo inesta.)

Fuente: Elaboración propia.

Figura N°23. Volúmenes empleados rotonda av. Roberto Romero acc. Sin semáforo



Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°53. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda Roberto romero.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Vol. Total horario	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Giro izquierdo %	Giro derecho %	Ancho de calzada	Ancho de carril
			SI o NO	Nm				
1	622	7.16	N	0	9.17	8.50	7.50	3.75
2	455	2.63	N	0	8.40	50.45	7.00	3.50
3	905	4.21	N	0	33.81	14.92	7.50	3.75
4	412	0.36	N	0	21.64	14.52	7.00	3.50

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°54. Calculo de la capacidad y N. S. rotonda Roberto Romero.

Acc.	VTH	Cap. ideal	Cap. Prac.	fvd	fgi	fgd	fp	Cap. real	V/C	Nivel de servicio
1	622	950	855	1.00	1.00	1.00	1.00	855	0.73	E(flujo inestable)
2	455	850	765	1.00	1.00	0.78	1.00	765	0.59	D(flujo inestable)
3	905	950	855	1.00	0.80	0.98	1.00	668	1.36	F (flujo forzado)
4	412	850	765	1.00	0.88	0.92	1.00	623	0.66	D(flujo inestable)

Fuente: Elaboración propia.

Para la semaforización se hizo el cálculo según la norma AASHTO se tomó en cuenta la velocidad de punto de cada tramo, sus distancias y el tiempo de ciclo que se dará para cada semáforo. Con la obtención de los niveles de servicio, permite saber que intersecciones necesitan semaforización en la vía.

Las dos rotondas que no cuentan con un sistema de semaforización se encuentran congestionadas el nivel de servicio es inestable, se procedió a calcular el ciclo y fases del semáforo para así mejorar la capacidad y la circulación de vehículos en dicha avenida.

Diseño del ciclo y fases del semáforo rotonda el Avión.

Datos:

- Volumen principal = 965veh/hr
- Volumen secundario = 391 veh/hr
- Velocidad media = 38.72 km/h
- Acceso 1 = 2 carriles

- Acceso 2 = 2 carriles
- Acceso 3 = 2 carriles
- Acceso 4 = 2 carriles

Calculo del Tiempo de Ciclo (Tc)

$$Tc = \frac{1.5 * P + 5}{1 - Y}$$

Primero debemos calcula el flujo de saturación (Y).

Tabla N°55. Flujo de saturación rotonda del Avión.

Flujo de saturación								
Nª de fase	accesos	Movimientos	(I)	(n)	(feq)	Q=(I*feq)/n	(Y)	
1	1	G. Derecho	120	2	1.2	72	0.040	0.279
		Recto	783	2	1	391.5	0.218	
		G. Izquierdo	63	2	1.2	37.8	0.021	
	3	G. Derecho	183	2	1.2	109.8	0.061	0.345
		Recto	867	2	1	433.5	0.241	
		G. Izquierdo	129	2	1.2	77.4	0.043	
2	2	G. Derecho	118	2	1.2	70.8	0.039	0.122
		Recto	152	2	1	76	0.042	
		G. Izquierdo	122	2	1.2	73.2	0.041	
	4	G. Derecho	50	2	1.2	30	0.017	0.148
		Recto	205	2	1	102.5	0.057	
		G. Izquierdo	223	2	1.2	133.8	0.074	
							Y	0.493

Fuente: Elaboración propia.

Factor de equilibrio (feq)	(feq)
Movimientos rectos	1
Movimientos derecha o izquierda	1.2

$$Y = (\text{feq} / 1800)$$

$$P = \text{Nº fases} * \text{tiempo de ámbar amarillo}$$

$$\text{Tiempo ámbar amarillo} = (2-5 \text{ seg})$$

$$P = 2 * 5 = 10; Y = 0.345 + 0.148 = 0.493$$

Si el Flujo de saturación es mayor a 1 (Y > 1). Se coloca un BY PASS.

$$Tc = \frac{1.5 * P + 5}{1 - Y}$$

$$Tc = \frac{1.5 * 10 + 5}{1 - 0.493}$$

$$Tc = 39.45 \text{ seg} \approx 40 \text{ seg}$$

$$Tc = 40 \text{ seg.}$$

Tiempo de fase amarillo.

$$Ta = \frac{D}{V} + \frac{a}{V}$$

Distancia de frenado

$$D = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f + i)}$$

Datos:

$$f = 0.4$$

$$i = 0.034$$

$$t = 2.5 \text{ seg.}$$

$$V = 36.7 \text{ m/seg}$$

$$a = 7.50 \text{ m}$$

$$D = \frac{36.7 * 2.5}{3.6} + \frac{36.7^2}{254 * (0.40 + 0.034)}$$

$$D = 39.97 \text{ m}$$

Tiempo de fase amarillo

$$Ta = \frac{39.97}{36.7} + \frac{7.50}{36.7}$$

$$Ta = 1.29 \text{ seg} \approx 2 \text{ seg}$$

$$Ta = 2 \text{ seg}$$

Tiempo de fase verde.

$$\frac{TVA}{TVB} = \frac{VA * Ta}{VB * Ta}$$

$$\frac{TVA}{TVB} = \frac{965 * 2}{391 * 2}$$

$$\frac{TVA}{TVB} = 2.4680 \text{ seg}$$

Ecuación (Ec. 1)

$$TVA = 2.4680 * TVB$$

Ecuación (Ec. 2)

$$Tc = TVA + TVB + Ta + Ta$$

Remplazando 1 en 2

$$40 = TVA + TVB + 2 + 2$$

$$36 = TVA + TVB$$

$$36 = 2.4680 * TVB + TVB$$

$$36 = 3.4680 * TVB$$

Tiempo de verde fase Secundaria

$$TVB = 10.38 \text{ seg} \approx 10 \text{ seg}$$

Remplazando en (Ec. 1)

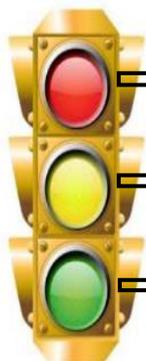
$$TVA = 2.4680 * TVB$$

Tiempo de verde fase Principal

$$TVA = 25.6178 \text{ seg} \approx 26 \text{ seg}$$

PRINCIPAL

SECUNDARIO



DETENERSE

10 seg



PREVENCIÓN

4 seg



INICIAR MARCHA

26 seg



DETENERSE

26 seg



PREVENCIÓN

4 seg



INICIAR MARCHA

10 seg

Tabla N°56. Diseño del tiempo de ciclo y fases rotonda del Avión.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	2	10	26	40
2	2	2	26	10	40
3	2	2	10	26	40
4	2	2	26	10	40

Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación de un sistema de semaforización en la rotonda del avión, vamos a calcular una nueva capacidad y nivel de servicio para ver si podemos mejorar la circulación vehicular en dicha avenida.

Tabla N°57. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda del Avión.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	1.18	4.61	N	0	0	0.85	7.5	2
2	-0.43	3.48	N	0	0	0.85	8.0	3
3	0.88	3.00	N	0	0	0.85	7.5	2
4	3.33	1.50	N	0	0	0.85	8.0	3

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°58. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda del Avión.

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. De mov. (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo vp (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada vi (veh/hr) [7*9]	Propor. De vueltas	
										PMI (5/7)	PMD (5/7)
1	MI	63	0.85	74		1136	2	1.05	1193	0.07	
	MF	783	0.85	921							
	MD	120	0.85	141							0.12
2	MI	122	0.85	144		462	2	1.05	485	0.31	
	MF	152	0.85	179							
	MD	118	0.85	139							0.30
3	MI	129	0.85	152		1387	2	1.05	1456	0.11	
	MF	867	0.85	1020							
	MD	183	0.85	215							0.16
4	MI	223	0.85	262		562	2	1.05	590	0.47	
	MF	205	0.85	241							
	MD	50	0.85	59							0.10

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°59. Formulario modelo de flujo y saturación rotonda del Avión.

Formulario de ajuste de flujo de saturación.												
	Grupo de carriles			Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal SO (veh/hr/c)	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA). Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV) Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP). Tabla N°12	Por estacionamiento (fE). Tabla N°13	Parada de autobuses (fB). Tabla N°14	Tipo de zona (fL). Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD). Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI). Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.017	0.956	0.994	1	1	0.90	1	0.832	2750
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	1.044	0.967	1.002	1	1	0.90	1	0.831	2875
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	1.017	0.971	0.996	1	1	0.90	1	0.753	2533
	MF											
	MD											
4	MI	1900	2	1.044	0.985	0.983	1	1	0.90	1	0.766	2648
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°60. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda del Avión.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado v_i (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (vi/s) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles c_i (veh/hr) [4*6]	Relación $X_i=v_i/c_i$ [3/7]	Grado de saturación crítico X_c
1	MI	1193	2750	0.43	0.65	1788	0.67	*
	MF							
	MD							
2	MI	485	2875	0.17	0.25	719	0.67	*
	MF							
	MD							
3	MI	1456	2533	0.57	0.65	1647	0.88	*
	MF							
	MD							
4	MI	590	2648	0.22	0.25	662	0.89	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de X_c Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°61. Formulario modelo de análisis y N. S. rotonda del Avión.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $X_i = v_i / c_i$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{1i} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.67	0.65	40	3.30	1788	0.70	1.136	4.54	A	5.00	B
	MF											
	MD											
2	MI	0.67	0.25	40	10.27	719	1.70	1.000	11.97	B	12.00	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.88	0.65	40	4.35	1647	4.22	1.136	9.74	B	10.00	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.89	0.25	40	11	662	10.05	1.000	21.05	C	21.00	C
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia

Diseño del ciclo y fases del semáforo rotonda av. Roberto Romero.

Datos:

- Volumen principal = 622veh/hr
- Volumen secundario =455 veh/hr
- Velocidad media = 39.82 km/h
- Acceso 1 = 2 carriles
- Acceso 2 = 2 carriles
- Acceso 3 = 2 carriles
- Acceso 4 = 2 carriles

Calculo del Tiempo de Ciclo (Tc)

$$Tc = \frac{1.5 * P + 5}{1 - Y}$$

Primero debemos calcula el flujo de saturación (Y).

Tabla N°62. Flujo de saturación rotonda av. Roberto Romero.

Flujo de saturación								
Nª de fase	accesos	Movimientos	(I)	(n)	(feq)	Q=(I*feq)/n	(Y)	
1	1	G. Derecho	53	2	1.2	31.8	0.018	0.179
		Recto	512	2	1	256	0.142	
		G. Izquierdo	57	2	1.2	34.2	0.019	
	3	G. Derecho	135	2	1.2	81	0.045	0.276
		Recto	464	2	1	232	0.129	
		G. Izquierdo	306	2	1.2	183.6	0.102	
2	2	G. Derecho	230	2	1.2	138	0.077	0.142
		Recto	187	2	1	93.5	0.052	
		G. Izquierdo	38	2	1.2	22.8	0.013	
	4	G. Derecho	60	2	1.2	36	0.020	0.123
		Recto	263	2	1	131.5	0.073	
		G. Izquierdo	89	2	1.2	53.4	0.030	
							Y	0.418

Fuente: Elaboración propia.

Factor de equilibrio (feq)	(feq)
Movimientos rectos	1
Movimientos derecha o izquierda	1.2

Y= (feq /1800)

P=Nº fases*tiempo de ámbar amarillo

Tiempo ámbar amarillo = (2-5 seg)

$$P = 2 * 5 = 10; Y = 0.276 + 0.142 = 0.418$$

Si el Flujo de saturación es mayor a 1 ($Y > 1$). Se coloca un BY PASS.

$$Tc = \frac{1.5 * P + 5}{1 - Y}$$

$$Tc = \frac{1.5 * 10 + 5}{1 - 0.418}$$

$$Tc = 34.36 \text{ seg} \approx 35 \text{ seg}$$

$$Tc = 35 \text{ seg.}$$

Tiempo de fase amarillo.

$$Ta = \frac{D}{V} + \frac{a}{V}$$

Distancia de frenado

$$D = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f + i)}$$

Datos:

$$f = 0.4$$

$$i = 0.035$$

$$t = 2.5 \text{ seg.}$$

$$V = 39.82 \text{ m/seg}$$

$$a = 7.50 \text{ m}$$

$$D = \frac{39.82 * 2.5}{3.6} + \frac{39.82^2}{254 * (0.40 + 0.035)}$$

$$D = 42 \text{ m}$$

Tiempo de fase amarillo

$$Ta = \frac{42}{39.82} + \frac{7.50}{39.82}$$

$$T_a = 1.24 \text{ seg} \approx 2 \text{ seg}$$

$$T_a = 2 \text{ seg}$$

Tiempo de fase verde.

$$\frac{TVA}{TVB} = \frac{VA * T_a}{VB * T_a}$$

$$\frac{TVA}{TVB} = \frac{622 * 2}{455 * 2}$$

$$\frac{TVA}{TVB} = 1.3670 \text{seg}$$

Ecuación (Ec. 1)

$$TVA = 1.3670 * TVB$$

Ecuación (Ec. 2)

$$T_c = TVA + TVB + T_a + T_a$$

Remplazando 1 en 2

$$35 = TVA + TVB + 2 + 2$$

$$31 = TVA + TVB$$

$$31 = 1.3670 * TVB + TVB$$

$$31 = 2.3670 * TVB$$

Tiempo de verde fase Secundaria

$$TVB = 13.10 \text{ seg} \approx 13 \text{ seg}$$

Remplazando en (Ec. 1)

$$TVA = 1.3670 * TVB$$

Tiempo de verde fase Principal

$$TVA = 17.90 \text{seg} \approx 18 \text{ seg}$$

PRINCIPAL

SECUNDARIO

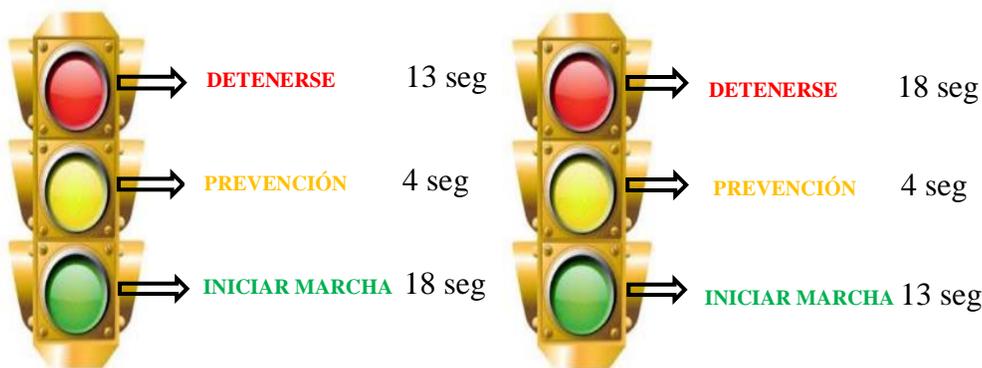


Tabla N°63. Diseño del tiempo de ciclo y fases rotonda av. Roberto Romero.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	2	13	18	35
2	2	2	18	13	35
3	2	2	13	18	35
4	2	2	18	13	35

Fuente: Elaboración propia.

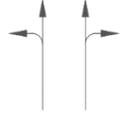
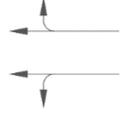
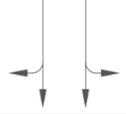
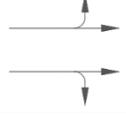
Con la implementación de un sistema de semaforización en la rotonda del avión, vamos a calcular una nueva capacidad y nivel de servicio para ver si podemos mejorar la circulación vehicular en dicha avenida.

Tabla N°64. Módulo entrada de volumen y geometría rotonda av. Roberto Romero.

Estado de circulación de la vía.								
Acceso	Inclín. %	Veh. Pesado %	Aj. Carril de estacionamiento		Autobuses (Nb)	FHMD	Ancho de carril	Tipo de llegada
			SI o NO	Nm				
1	3.52	7.16	N	0	0	0.85	7.5	2
2	-2.62	2.63	N	0	0	0.85	7.0	3
3	1.96	4.21	N	0	0	0.85	7.5	2
4	2.91	0.36	N	0	0	0.85	7.0	3

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°65. Formulario modelo de ajustes y volumen rotonda av. Roberto Romero.

Formulario del módulo de ajuste de volúmenes.											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Acceso	Moví.	Vol. De mov. (veh/hr)	FHMD	Tasa de flujo VP (veh/hr) [3/4]	Grupo de carriles (N)	Flujo de demanda no ajustada por grupo de carriles vgi (veh/hr)	Número de carriles (N)	Factor de utilización de carril U. Tabla N°9	Flujo de demanda ajustada VI (veh/hr) [7*9]	Propor. De vueltas	
										PMI (5/7)	PMD (5/7)
1	MI	57	0.85	67		731	2	1.05	768	0.09	
	MF	512	0.85	602							
	MD	53	0.85	62							0.08
2	MI	38	0.85	45		536	2	1.05	563	0.08	
	MF	187	0.85	220							
	MD	230	0.85	271							0.51
3	MI	306	0.85	360		1065	2	1.05	1118	0.34	
	MF	464	0.85	546							
	MD	135	0.85	159							0.15
4	MI	89	0.85	105		485	2	1.05	509	0.22	
	MF	263	0.85	309							
	MD	60	0.85	71							0.15

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°66. Formulario modelo de flujo y saturación rotonda av. Roberto Romero.

Formulario de ajuste de flujo de saturación.												
	Grupo de carriles			Factores de ajuste								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Grupo de carriles	Flujo de saturación ideal SO (veh/hr/c)	Número de carriles (N)	Ancho de carril (fA). Tabla N°10	Vehículos pesados (fPV) Tabla N°11	Pendientes de acceso (fP). Tabla N°12	Por estacionamiento (fE). Tabla N°13	Parada de autobuses (fB). Tabla N°14	Tipo de zona (fL). Tabla N°15	Giros a la derecha (FMD). Tabla N°16	Giros a la izquierda (FMI). Tabla N°17	Flujo de saturación S (veh/hr)
1	MI	1900	2	1.017	0.933	0.982	1	1	0.90	1	0.883	2814
	MF											
	MD											
2	MI	1900	2	0.989	0.974	1.013	1	1	0.90	1	0.952	3177
	MF											
	MD											
3	MI	1900	2	1.017	0.960	0.990	1	1	0.90	1	0.746	2466
	MF											
	MD											
4	MI	1900	2	0.989	0.996	0.985	1	1	0.90	1	0.871	2890
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°67. Formulario modelo de análisis y capacidad rotonda av. Roberto Romero.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado VI (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Relación XI=VI/CI [3/7]	Grado de saturación crítico XC
1	MI	768	2814	0.27	0.51	1435	0.54	*
	MF							
	MD							
2	MI	563	3177	0.18	0.37	1176	0.48	*
	MF							
	MD							
3	MI	1118	2466	0.45	0.51	1258	0.89	*
	MF							
	MD							
4	MI	509	2890	0.18	0.37	1069	0.48	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de Xc Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°68. Formulario de modelo de análisis de N. S. rotonda av. Roberto Romero.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $X_i=vi/ci$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{1i} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles C_i (veh/hr)	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso d_A (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.54	0.51	35	4.41	1435	0.33	1.256	5.95	B	6.00	B
	MF											
	MD											
2	MI	0.48	0.37	35	6.42	1176	0.25	1.000	6.67	B	7.00	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.89	0.51	35	5.85	1258	5.90	1.256	14.76	B	15.00	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.48	0.37	35	6.42	1069	0.27	1.000	6.69	B	7.00	B
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia

3.7. PLANTEAMIENTO DE OPTIMIZACIÓN DE LOS SEMÁFOROS.

Se realizó la optimización de los semáforos en dos rotondas, donde el nivel de servicio es mayor a C, se notó que el congestionamiento de acuerdo a los tiempos de demora es superior, para ello se planteó nuevos ciclos y nuevos tiempos de fases.

3.7.1. Redimensionamiento de tiempos de ciclos y fases.

Figura N°24. Vol. críticos diseño de tiempo de semaforización rotonda la Torre Petrolera.



Fuente: Elaboración propia.

Calle principal: Av. Circunvalación (acceso 1).

Calle secundaria: Av. Froilán Tejerina (acceso 2).

Calculo del tiempo de ciclo.

Distancia de frenado:

$$D = \frac{V * t}{3.6} + \frac{V^2}{254 * (f + i)}$$

V=36.7 km/hr.

t= 2.5 seg.

f= 0.4

i=0.034

$$D = \frac{36.7 * 2.5}{3.6} + \frac{36.7^2}{254 * (0.4 + 0.034)} = 37.70 \text{ metro}$$

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

$$C = 7.2 * \frac{37.70}{36.7} = 7.40 \text{ seg.}$$

Como el tiempo calculado es menor al mínimo requerido, asumiremos:

C=56 seg

Tiempos de fase amarilla.

$$Ta = \frac{D}{V} + \frac{a}{V}$$

$$Ta = \frac{37.70}{36.7} + \frac{7.50}{36.7} = 1.23 \text{ seg.}$$

Como el tiempo calculado es menor al mínimo, vamos a asumir:

ta= 2 segundos

ta'= 2segundos

Tiempos de fase verde.

Volumen C/ Principal

VA= 1042 veh/hr.

Volumen C/ Secundaria

VB= 823 veh/hr.

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

$$\frac{tVA}{tVB} = \frac{1042 * 2}{823 * 2}$$

$$\frac{tVA}{tVB} = 1.27$$

$$tVA = 1.27 * tVB$$

$$C = tVA + tVB + ta + ta!$$

$$56 = tVA + tVB + 2 + 2$$

$$52 = tVA + tVB$$

$$52 = 1.27 * tVB + tVB$$

$$52 = 2.27 * tVB$$

$$tVB = \frac{52}{2.27} = 22.90 \approx \mathbf{23 \text{ seg.}}$$

$$tVA = 1.27 * 22.90 = 29.08 \approx \mathbf{29 \text{ seg.}}$$

PRINCIPALSECUNDARIO

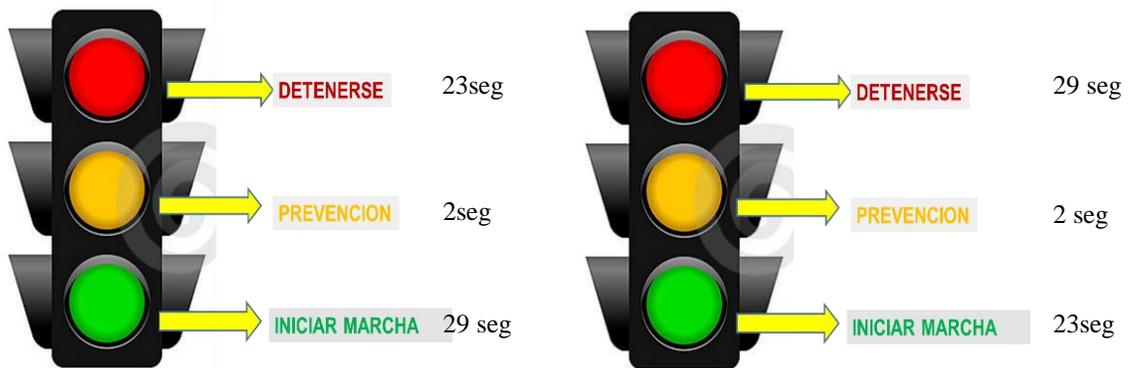


Tabla N°69. Nuevo diseño de tiempos de ciclo y fases rotonda la Torre Petrolera.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	2	23	29	56
2	2	2	29	23	56
3	2	2	23	29	56
4	2	2	29	23	56

Fuente: Elaboración propia.

3.7.2. Recalculo de la capacidad y nivel de servicio.

Se realizó el recalcu con el nuevo tiempo de ciclo y tiempo de fase para la rotonda la Torre Petrolera, puesto que su nivel de servicio salió mayor a C. Con estos nuevos resultados se procedió al nuevo cálculo de su capacidad y de su nivel de servicio.

Tabla N°70. Formulario modelo del nuevo análisis y capacidad rotonda la Torre Petrolera.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo demanda ajustado V_i (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (VI/S) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Capacidad del grupo de carriles c_i (veh/hr) [4*6]	Relación $X_i=vi/ci$ [3/7]	Grado de saturación crítico X_c
1	MI	1288	2693	0.48	0.52	1400	0.92	*
	MF							
	MD							
2	MI	1018	3194	0.32	0.41	1310	0.78	*
	MF							
	MD							
3	MI	1270	3036	0.42	0.52	1579	0.80	*
	MF							
	MD							
4	MI	1120	3221	0.35	0.41	1321	0.85	*
	MF							
	MD							

(* No se hace el cálculo de X_c Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°71. Formulario de modelo del nuevo análisis y N. S. rotonda la Torre Petrolera.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $X_i=vi/ci$	Relación de verde (g/C)	Longitud del ciclo C (seg)	Demora uniforme $d1i$ (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr)	Demora incremental $d2i$ (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) $[6+8]*9$	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de Servicio del Acceso Tabla N°6
1	MI	0.92	0.52	56	9.40	1400	7.33	1.240	20.75	C	21	C
	MF											
	MD											
2	MI	0.78	0.41	56	10.90	1310	2.18	1.017	13.30	B	14	B
	MF											
	MD											
3	MI	0.80	0.52	56	8.40	1579	2.14	1.240	13.10	B	14	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.85	0.41	56	11.37	1321	3.89	1.017	15.52	C	16	C
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°72. Nuevo diseño de tiempos de ciclo y fases rotonda La Hollada.

Acceso	Tiempo en segundos.				
	Amarillo de ida	Amarillo de vuelta	Rojo	Verde	Ciclo
1	2	2	12	30	46
2	2	2	30	12	46
3	2	2	12	30	46
4	2	2	12	30	46

Fuente: Elaboración propia.

Resultado del nuevo cálculo de la capacidad y nivel de servicio de la rotonda La Hollada.

Tabla N°73. Formulario modelo nuevo análisis y capacidad rotonda La Hollada.

Formulario de ajuste de capacidad.								
1	2	3	4	5	6	7	8	9
Acceso	Movi. Por grupo de carriles	Flujo de demanda ajustado VI (veh/hr)	Flujo de saturación S (veh/hr)	Relación de flujo (vi/s) [3/4]	Relación de verde (g/C)	Cap. del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Relación XI=VI/CI [3/7]	Grado de saturación crítico Xc
1	MI	1407	2927	0.48	0.65	1903	0.74	*
	MF							
	MD							
2	MI	540	2549	0.21	0.26	663	0.81	*
	MF							
	MD							
3	MI	1297	3133	0.41	0.65	2037	0.64	*
	MF							
	MD							
4	MI	735	3405	0.22	0.26	886	0.83	*
	MF							
	MD							

(*) No se hace el cálculo de Xc Porque no hay $X \geq 1$

Fuente: Elaboración propia.

Tabla N°74. Formulario modelo del nuevo análisis y N. S. rotonda La Hollada.

Grupo de carriles		1ª término de la demora				2ª término de la demora		Demora del grupo		Demora totales y niveles de servicio		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Acceso	Mov. Por grupos de carriles	Relación $XI=VI/CI$	Relación de verde (g/C)	Longitud del Ciclo C (seg)	Demora uniforme d_{li} (seg/veh)	Capacidad del grupo de carriles CI (veh/hr) [4*6]	Demora incremental d_{2i} (seg/veh)	Factor de ajuste por efecto de la progresión FP Tabla N°18	Demora ajustada para el grupo de carriles día (seg/veh) [6+8]*9	Nivel de servicio del grupo de carriles Tabla N°6	Demora en el acceso dA (seg/veh)	Nivel de servicio del acceso Tabla N°6
1	MI	0.74	0.65	46	4.13	1903	1.11	1.22	6.39	B	7	B
	MF											
	MD											
2	MI	0.81	0.26	46	12.13	663	5.21	1.00	17.34	C	18	C
	MF											
	MD											
3	MI	0.64	0.65	46	3.67	2037	0.50	1.22	5.10	B	6	B
	MF											
	MD											
4	MI	0.83	0.26	46	12.21	886	4.71	1.00	16.92	C	17	C
	MF											
	MD											

Fuente: Elaboración propia.

3.8. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

Analizando los datos obtenidos de volúmenes de vehículos de las rotondas estudiadas, se determinó la modificación de los ciclos y fases de los semáforos en dos rotondas.

La relación volumen-capacidad (V/C) es menor a 1 por lo tanto es aceptable para el estudio.

El nivel de servicio estimado en el presente proyecto es nivel C, cuyo rango de retraso está entre 15 y 25 segundos por vehículo, puesto que se tiene un número significativo de vehículos parados.

3.8.1. Rotonda del Hito (mástil).

El resultado obtenido en esta rotonda cumple con la relación volumen-capacidad (V/C), todo el acceso nos da una relación < 1 , y el nivel de servicio está en el rango de estudio, esto nos indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación de vehículos, los valores se pueden observar en la siguiente tabla.

Tabla N°75. Análisis situación actual de la capacidad rotonda del Hito (Mástil).

Acceso	Flujo de demanda ajustada v_i (veh/hr)	Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles
1	844	1376	0.63
2	1219	1875	0.65
3	776	1308	0.59
4	835	1830	0.46

Fuente: Elaboración propia.

3.8.2. Rotonda la Torre Petrolera.

Los resultados obtenidos en esta rotonda cumple con la relación volumen capacidad (V/C), todos los accesos nos da una relación < 1 , pero los accesos 1 y 4 son muy críticos sus valores están próximos a 1, y el nivel de servicio de estos dos accesos sobrepasaron el rango permitido (D), lo que nos quiere decir que la demanda actual en estos dos accesos excede la capacidad, hay fallas actuales, el tiempo verde no está repartido

adecuadamente, los otros dos accesos si cumplen con el nivel de nivel de servicio porque están en el rango de estudio que es el nivel de servicio C.

Por lo que se tuvo que cambiar las fases y el ciclo actual de los semáforos y se rediseño los nuevos tiempos de fase y ciclo de los semáforos de la rotonda.

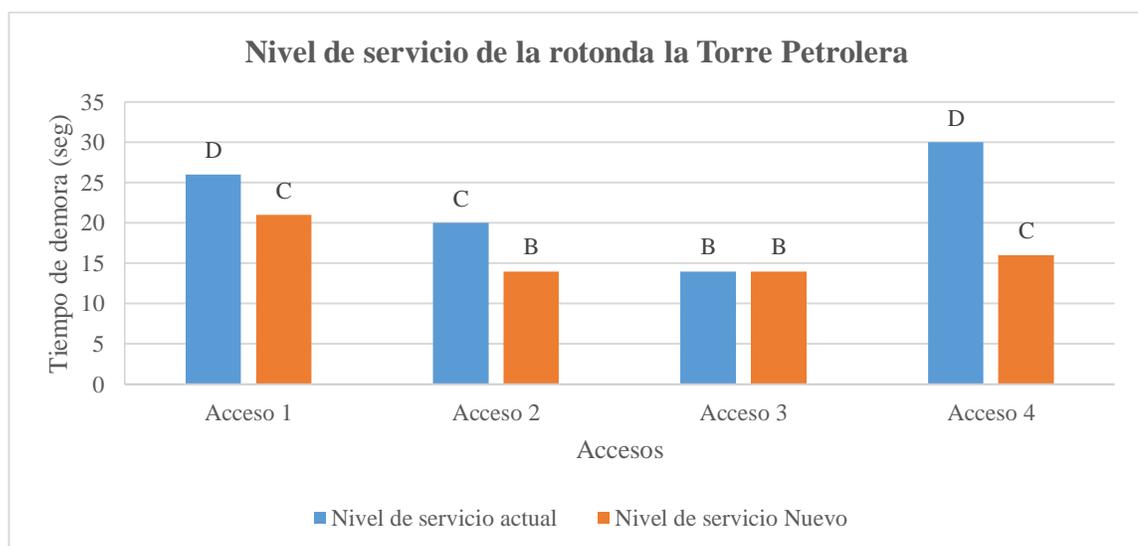
Tabla N°76. Análisis situación actual y nueva capacidad rotonda Torre Petrolera.

Acceso	Flujo de demanda ajustada v_i (veh/hr)	Actual		Nueva	
		Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles	Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles
1	1288	1347	0.96	1400	0.92
2	1018	1150	0.89	1310	0.78
3	1270	1518	0.84	1579	0.80
4	1120	1160	0.97	1321	0.85

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°76 se puede observar el cambio en la capacidad vehicular que se realizó al cambiar las fases y ciclo de los semáforos, la capacidad nueva con la capacidad actual, la relación volumen capacidad (V/C) baja en los cuatro accesos llegando a cumplir las condiciones dadas para la circulación de vehículos en la rotonda.

Figura N°25. Histograma N. S. actual y nuevo rotonda la Torre Petrolera.



Fuente: Elaboración propia.

Al cambiar el tiempo de ciclo y el nuevo cambio de fases de la rotonda el nivel de servicio mejoró debido a que los accesos 1 y 4 eran de congestión y la relación volumen-capacidad (V/C) eran altos, bajan de un nivel de servicio D a un nivel de servicio C, y el acceso 2 baja de un nivel de servicio C a un nivel de servicio B, y el acceso 3 mantiene su nivel de servicio B, bajando un poco las demoras en la rotonda de la Torre Petrolera.

3.8.3. Rotonda La Hollada.

Los resultados obtenidos en esta rotonda cumple con la relación volumen-capacidad (V/C), en tres accesos nos dio una relación < 1 , pero el acceso 1 es muy crítico porque su valor es ≤ 1 , y su nivel de servicio nos dio D, esto nos quiere decir que la demanda actual en este acceso excede la capacidad, y hay fallas actuales, el tiempo verde no está repartido adecuadamente, los otros tres accesos si cumplen la relación, porque sus niveles de servicio están en el rango de estudio que es el nivel de servicio B.

Por lo que se tuvo que cambiar el ciclo actual y se rediseño los nuevos tiempos de fase y ciclo del semáforo de la rotonda la Hollada.

Tabla N°77. Análisis situación actual y nueva capacidad rotonda La Hollada.

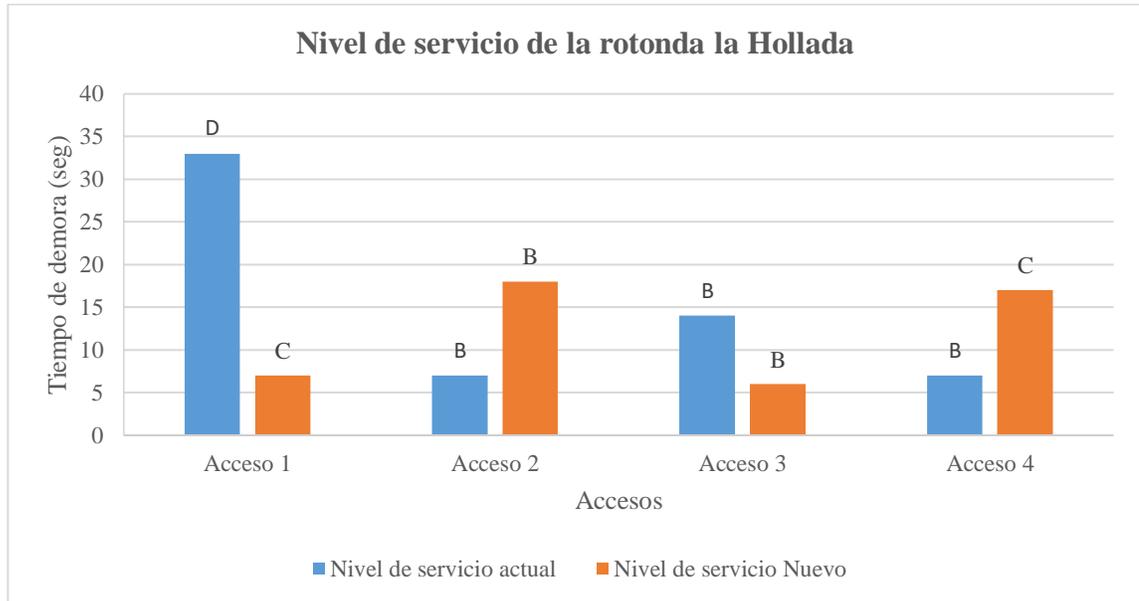
Acceso	Flujo de demanda ajustada v_i (veh/hr)	Actual		Nueva	
		Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles	Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles
1	1407	1405	0.99	1903	0.74
2	540	1097	0.49	663	0.81
3	1297	1504	0.86	2037	0.64
4	735	1465	0.50	886	0.83

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla N°77 se puede observar el cambio en la capacidad vehicular que se realizó al cambiar el ciclo y cambiar el tiempo de fases, la capacidad nueva con la capacidad actual, la relación volumen-capacidad (V/C) baja en los accesos 1 y 3 y sube un poco en

los accesos 2 y 4, llegando a cumplir las condiciones dadas para la circulación de vehículos en la rotonda.

Figura N°26. Histograma N. S. actual y nuevo rotonda La Hollada.



Fuente: Elaboración propia.

Al cambiar el tiempo de ciclo y el nuevo cambio de fases de la rotonda el nivel de servicio mejoró, puesto que el acceso 1 era de congestionamiento y la relación volumen-capacidad, (V/C) eran altos, baja de un nivel de servicio D a un nivel de servicio B, y el acceso 2 era de un nivel de servicio B y este sube a un nivel de servicio C, y lo mismo pasa con el acceso 4, y el acceso 3 mantienen su nivel de servicio B, bajando un poco las demoras en la rotonda de la Hollada.

3.8.4. Rotonda del Avión.

Esta rotonda no cuenta con semaforización, es por ello que se realizó otro procedimiento de cálculo, los resultados obtenidos en esta rotonda nos indica que existe gran congestión vehicular porque el flujo es inestable, con los datos de aforo obtenidos en la rotonda se pudo evidenciar que existe una gran urgencia de instalación de sistemas de semáforos debido a que son considerados como el método más importante a aplicar para actuar sobre el control de tráfico.

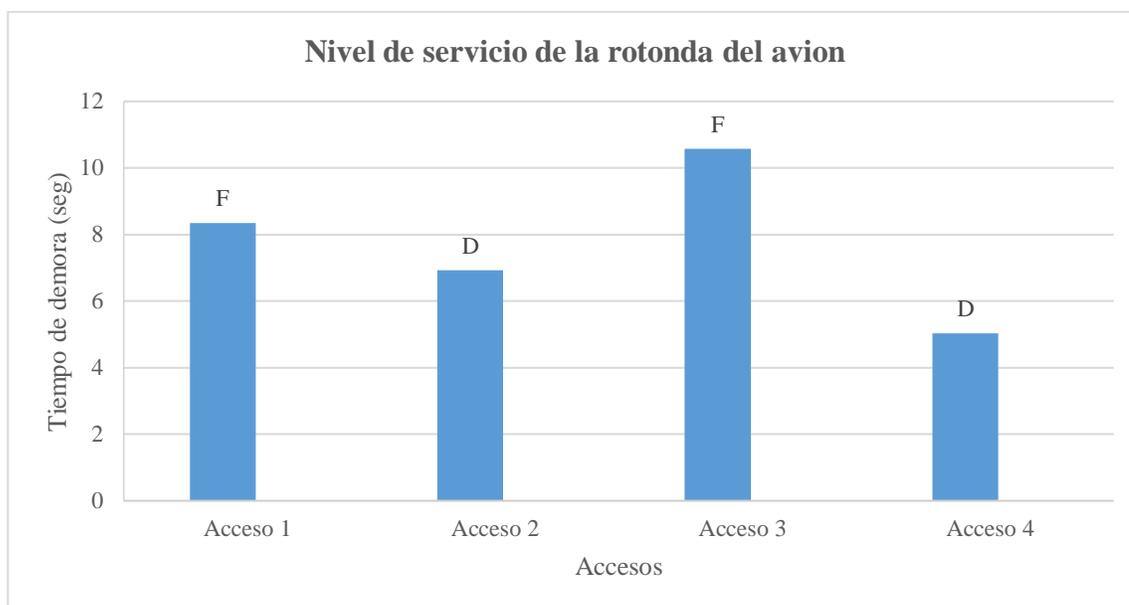
Tabla N°78. Análisis de la capacidad y Nivel de Servicio rotonda del Avión.

Acceso	Volumen total horario (veh/hr)	Capacidad Real (veh/hr)	Relación V/C	Nivel de servicio
1	965	845	1.14	F
2	391	638	0.61	D
3	1179	824	1.43	F
4	478	719	0.66	D

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de servicio en esta rotonda está en el rango (D y F), esto nos indica que existe demoras de los conductores, lo que dificulta la circulación de vehículos donde las demoras son altas y las velocidades son lentas para la circulación se nota el embotellamiento y caos vehicular.

Figura N°27. Histograma N. S. actual rotonda del Avión.



Fuente: Elaboración propia.

En la figura N°35 se puede apreciar que los accesos están en un nivel de servicio F, y la relación son muy altas, esto nos indica que los movimientos no son adecuados para esta rotonda.

Con la implementación de un sistema de semáforos en esta rotonda se mejoró la capacidad vehicular y por ende su nivel de servicio, como se muestra en la tabla,

podemos probar que los sistemas de semáforos son considerados como el método más importante a aplicar para actuar sobre el control de tráfico en una rotonda, esto nos indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación de vehículos donde las demoras son muy aceptables en todos sus accesos.

Tabla N°79. Análisis situación actual y nueva capacidad rotonda del Avión.

Acceso	Volumen total horario (veh/hr)	Actual (Sin Semáforo)		Nueva (Con Semáforo)	
		Capacidad Real (veh/hr)	Nivel de Servicio	Capacidad Real Nueva (veh/hr)	Nivel de Servicio
1	965	845	F	1788	B
2	391	638	D	719	B
3	1179	824	F	1647	B
4	478	719	D	662	C

Fuente: Elaboración propia.

3.8.5. Rotonda de Juan XXIII.

El resultado obtenido en esta mini rotonda cumple con la relación volumen-capacidad (V/C), todo el acceso nos da una relación < 1 , esto quiere decir que sus movimientos son adecuados al ciclo y la distribución de verde es apropiada para la circulación de vehículos, en esta mini rotonda solo tenemos tres accesos es diferente a las demás rotondas que se encuentran en la avenida circunvalación.

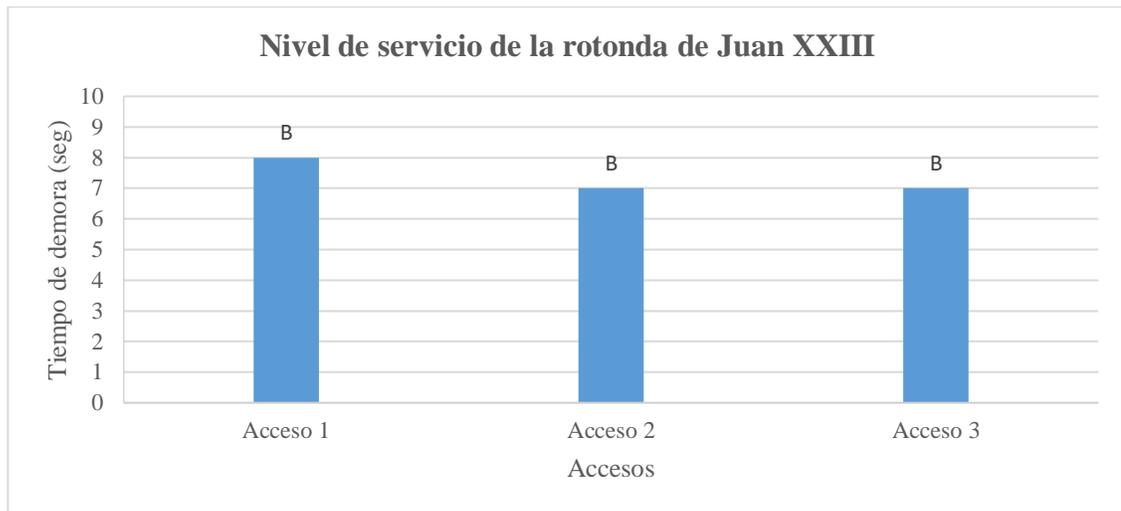
Tabla N°80. Análisis situación actual de la capacidad rotonda de Juan XXIII.

Acceso	Flujo de demanda ajustada v_i (veh/hr)	Capacidad de grupo de carriles c_i (veh/hr)	Relación $X=v_i/c_i$ del grupo de carriles
1	996	1588	0.63
2	909	1648	0.55
3	537	1211	0.44

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de servicio que se obtuvo en esta rotonda fue B en los tres accesos, esto nos indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación de vehículos donde las demoras son muy aceptables en los tres accesos.

Figura N°28. Histograma N. S. actual rotonda de Juan XXIII.



Fuente: Elaboración propia.

3.8.6. Rotonda av. Roberto Romero.

Esta rotonda no cuenta con semaforización, al igual que la anterior rotonda señalada se realizó otro procedimiento de cálculo, los resultados obtenidos en esta rotonda no cumplen con la relación volumen-capacidad (V/C), nos indica que existe congestión y caos vehicular, se pudo evidenciar que existe una gran urgencia de instalación de sistemas de semáforos debido a que son considerados como el método más importante a aplicar para actuar sobre el control de tráfico.

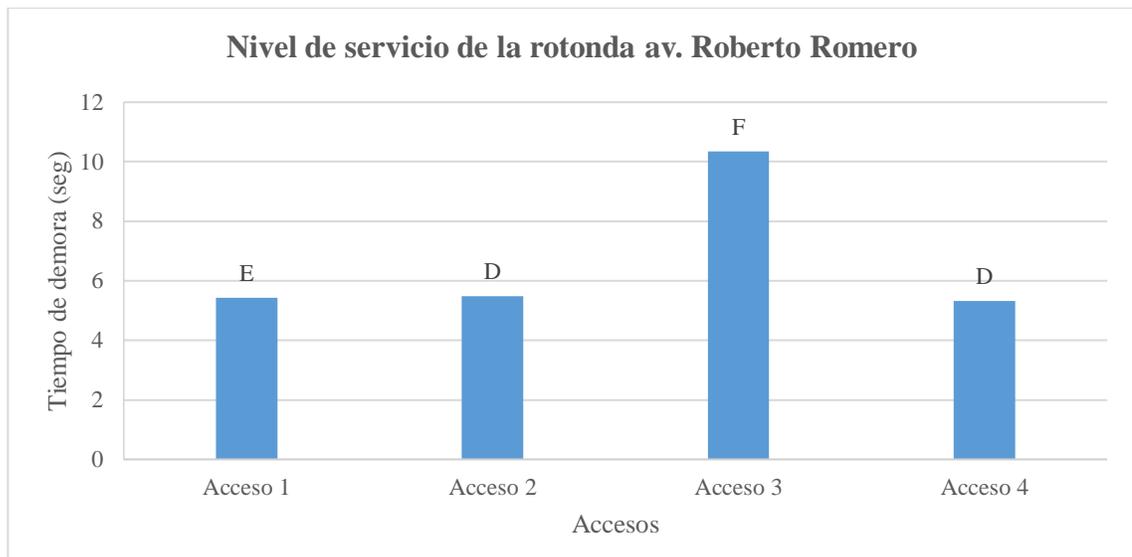
Tabla N°81. Análisis de capacidad y N. S. rotonda av. Roberto Romero.

Acceso	Volumen total horario (veh/hr)	Capacidad Real (veh/hr)	Relación V/C	Nivel de servicio
1	622	855	0.73	E
2	455	765	0.59	D
3	905	668	1.36	F
4	412	623	0.66	D

Fuente: Elaboración propia.

El nivel de servicio que tiene esta rotonda esta entre (E y F), esto nos indica las demoras de los conductores, lo que dificulta la circulación donde las demoras son altas y las velocidades son muy bajas para dicha circulación.

Figura N°29. Histograma N. S. actual rotonda av. Roberto Romero.



Fuente: Elaboración propia.

Con la implementación de un sistema de semáforos en esta rotonda se mejoró la capacidad vehicular y por ende su nivel de servicio, como se muestra en la tabla, podemos probar que los sistemas de semáforos son considerados como el método más importante a aplicar para actuar sobre el control de tráfico en una rotonda, esto nos indica la aceptación de las demoras de los conductores, facilitando la circulación de vehículos donde las demoras son muy aceptables en todos sus accesos.

Tabla N°82. Análisis situación actual y nueva capacidad rotonda Roberto Romero.

Acceso	Volumen total horario (veh/hr)	Actual (Sin Semáforo)		Nueva (Con Semáforo)	
		Capacidad Real (veh/hr)	Nivel de Servicio	Capacidad Real Nueva (veh/hr)	Nivel de Servicio
1	622	855	E	1435	B
2	455	765	D	1176	B
3	905	668	F	1258	B
4	412	623	D	1069	B

Fuente: Elaboración propia.

3.8.7. Efecto de los peatones en el trabajo realizado

Los accidentes de tránsito son la primera causa de mortalidad en las ciudades entre personas de 5 a 14 años, y la segunda entre 15 a 44 años. El 39% de las personas que fallecen por traumatismos causados por el tránsito son peatones, ciclistas o motociclistas, en tanto el 47% son ocupantes de vehículos. Las defunciones de peatones y los traumatismos que sufren tienen consecuencias sociales y económicas enormes para la familia.

En la ciudad de Tarija no es la excepción debido al crecimiento del parque automotor, se viene presentando un alto índice de congestión y de accidentalidad en las principales vías, la avenida circunvalación se tornó en una zona comercial al estar próxima a varios mercados y es una vía de entrada y salida hacia otros departamentos.

Por lo que podemos proponer algunas soluciones y recomendaciones para mejorar el tránsito de peatones y conductores:

Los peatones deben caminar por las aceras, en lo posible evitar caminar sobre las vías, menos si es de noche.

De existir una senda peatonal, siempre se debe cruzar por ella. De no existir demarcación, el lugar apropiado para el cruce es la esquina, nunca a la mitad.

Con el semáforo en verde, se puede cruzar, si esta en rojo o titilando, hay que esperar en la acera.

No hay que iniciar el cruce si hay vehículos atascados en la avenida, por más que el semáforo lo indique, ya que estos pueden arrancar en cualquier momento.

Al cruzar la avenida, hay que hacerlo con el tiempo necesario: quedarse parado en el medio es muy peligroso.

Al cruzar una vía hay que mirar hacia ambos lados, si un vehículo acaba de pasar, hay que asegurarse de que no viene uno del otro lado.

Es recomendable que discapacitados, personas mayores y niños estén acompañados de un adulto.

Nunca salir de manera intempestiva de entre dos vehículos estacionados para cruzar la calle.

Si se sufre un accidente y es necesario frenar el vehículo, hay que mantenerse fuera de la vía y señalizar el accidente para avisar a los demás conductores. Recuerda evitar cambiar una llanta en dirección al flujo vehicular.

Si circulas de noche como peatón, como recomendación podrías llevar alguna prenda con material reflectante (chaleco, brazaletes, zapatillas, etc.).

Fijar los límites de velocidad de 30km/hr o menos en zonas de alta densidad reduce el riesgo colisiones y los límites generales de velocidad en las calles de las ciudades no deben superar los 50km/hr.

Diseñar sistemas de transporte que alimenten el uso de los diferentes modos de transporte y enfatizan la importancia de la seguridad peatonal.

Lo más importante la aplicación más estricta de las leyes de tránsito.

3.9. PROPUESTAS DE SOLUCIÓN AL PROBLEMA.

Como medidas de bajo costo que pudieran ser implantadas de forma inmediata se plantean las siguientes:

- **Semaforización sistemática de las rotondas:** Los sistemas de semáforos son considerados como el método más importante a aplicar para actuar sobre el control de tráfico en una rotonda.
- **Regulación de los tiempos de fase en semaforización existente:** La buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de los mismos son herramientas fundamentales para tratar de resolver los problemas de congestión de tráfico y sobresaturación de vehículos
- **Señalización adecuada de todos los accesos de las rotondas:** La circulación vehicular y peatonal, necesariamente, requiere ser guiada y regulada para que pueda llevarse a cabo de manera segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito.
- **Provisión y colocado de tachones:** Se colocarán los tachones para canalizar los accesos antes de llegar a las rotondas.

3.9.1. Diseño.

3.9.2. Señales a implementar.

Tabla N°83. Señales horizontales a implementar.

Líneas longitudinales
Líneas de separación de carriles.
Líneas transversales
Líneas parada, ingreso a la rotonda
Líneas cruce peatonal tipo cebra, ingreso a la rotonda.
Flechas
Flechas direccionales, ingreso y dentro de la rotonda.

Fuente: Elaboración propia

Tabla N°84. Señales verticales a implementar.

Señales preventivas	Cantidad	
Rotonda	24	24
Señales reglamentarias	Cantidad	
Prohibido estacionar antes y después de las rotondas	48	96
Pare en la línea de parada	24	
Velocidad máxima, antes de la rotonda	24	
Señales informativas	Cantidad	
Estación de servicio	1	2
Parada de autos	1	
Total, señales		122

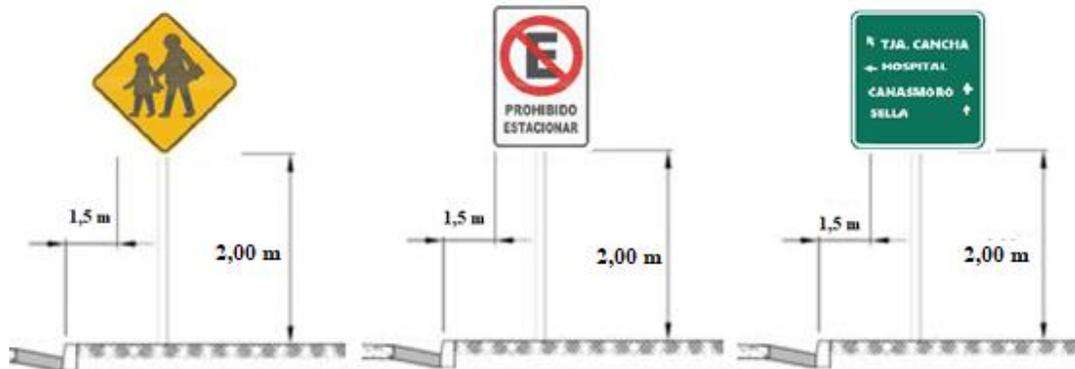
Fuente: Elaboración propia.

3.9.3. Localización de la señalización a implementar.

Se adjuntan planos en anexos en los cuales se muestra la solución que se propone en cuanto a la señalización correspondiente, cabe recalcar que las señales como, sendas peatonales, líneas de carril, líneas de eje, pasos peatonales están normados según indica la norma de la Administradora Boliviana de Carreteras ABC. Las flechas de viraje que

se colocan en el plano ya mencionado, están de acuerdo a las dimensiones que nos proporcionan la Secretaría de Movilidad Urbana de la Ciudad de Tarija.

Figura N°30. Ejemplo de señales verticales a implementar.



Fuente: Elaboración propia.

3.9.4. Presupuesto general.

Tabla N°85. Ítems de obra.

Ítem N°	Descripción
1	Pintado de señal horizontal
2	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)
3	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)
4	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)
5	Canalización de los accesos mediante tachones.
6	Instalación de semáforos.

Fuente: Elaboración propia.

3.9.5. Especificaciones técnicas.

Descripción: El trabajo consistirá en la ejecución de un sistema de señalización horizontal y vertical, llevada a cabo de acuerdo con esta especificación y las instrucciones integrantes del "Manual Técnico para el Control del Tránsito" utilizado. Comprenderá la instalación de placas y pintura de fajas en la calzada. La ubicación, forma y tipo, obedecerán al diseño de la señalización vertical.

La señalización horizontal consistirá en la colocación de fajas de pintura reflectada en la superficie de la calzada. Las fajas serán intermitentes en el eje central del pavimento con sectores continuos en aquellas zonas que sea prohibido el ultra pasaje. Cuando se establezca demarcación en los bordes del pavimento, las fajas serán continuas.

Las fajas discontinuas constarán de segmentos de 3.00 m. de longitud espaciados cada 5.00 m, excepto cuando se especifique de otra manera en el diseño.

Los tachones se colocarán como canalizadores antes de cada acceso de la rotonda, estos consisten en una elevación longitudinal. Esta operación comprende la provisión y colocación de tachones reflectantes para la demarcación de pavimentos.

Pintado de señal horizontal.

Materiales: Los materiales incorporados al trabajo deberán cumplir con pruebas para composición, tiempo de secado, consistencia, oxidación, características de fijación, visibilidad y durabilidad. La pintura será de color blanco y amarillo sobre la que se aplicarán las micro esferas de vidrio convenientemente graduadas. La pintura deberá ligarse adecuadamente con los micros esferas de vidrio, de tal manera que produzcan máxima adhesión, refracción y reflexión. El espesor de la película húmeda de pintura aplicada será de 0,038 cm., la que deberá secar suficientemente dentro de una hora después de aplicada de tal manera que no se ensucie bajo el tráfico. El color, opacidad y firmeza de la pintura será igual al de la muestra. Cuando esté seca, mostrará un terminado blanco (o amarillo en su caso), opaco y fijo sin tendencia al color gris o pérdidas de color cuando se la exponga a la luz directa del día por siete horas.

Equipo: La naturaleza, capacidad y cantidad de equipo a ser utilizada depende del tipo y dimensiones del servicio.

Ejecución: El trabajo se efectuará por trabajadores competentes y empleando los materiales, métodos y equipo adecuados. La pintura para la demarcación se aplicará estando, la superficie del pavimento limpia y seca, mediante equipo mecánico. La proporción de la aplicación será de un balde de 18 litros para 25 m². Los glóbulos se aplicarán en la proporción de 12,5 kg por cada balde de 18 litros.

Control por el ingeniero: El control se efectuará siguiendo estrictamente las normas establecidas. Previamente a la iniciación de los trabajos se controlarán las condiciones de limpieza de las superficies a pintar, condiciones del equipo y experiencia del personal.

Medición: Las fajas de demarcación para la señalización horizontal serán medidas por metro cuadrado (m²), terminada y aceptada.

Implementación de Señales verticales.

Materiales: Las chapas de acero de las placas para señales serán de 2 mm de espesor para las señales cuyo lado mayor no sobrepase 0.90 m. obedeciendo la especificación ASTM-A366. La pintura para las placas obedecerá a las especificaciones AASHTO M-70 y M-72.

Ejecución: Todas las estructuras para el sostén de las señales deberán construirse de modo que se mantengan fijas y resistan la acción de la intemperie. Las señales serán mantenidas siempre en un poste único. Las estructuras de sostén de las señales deberán estar perfectamente verticales y colocadas a las alturas fijadas por el diseño. El relleno de sus fundaciones deberá ejecutarse con hormigón de dosificación 1:3:4 perfectamente consolidado.

Soportes metálicos: Los postes para el sostén de las señales serán metálicos de diámetro igual a 3 pulg. Colocados a una profundidad no menor a 0.45 m.

Chapas para señales: Las chapas para señales serán metálicas, en planchas de acero laminadas en frío, caliente. Previamente las chapas serán desoxidadas, fosfatadas y preservadas contra la oxidación. El acabado será efectuado con esmalte sintético en los colores convencionales. Las letras, fajas, flechas y designaciones serán ejecutadas en película reflectante. Las chapas serán fijadas en los soportes metálicos por medio de pernos galvanizados con rosca y dos arandelas de presión de 3/8" x 3" en cada poste.

Control por el ingeniero: El control se efectuará siguiendo estrictamente las normas establecidas. Igualmente, se verificará que los letreros de señalización, soportes y seguros cumplan con las especificaciones.

Medición: La señalización vertical será medida por pieza de señal de tráfico ejecutada, instalada y aceptada, de acuerdo al tipo de placa.

Provisión y colocado de tachones.

Materiales: Por lo general estos dispositivos son plásticos o metálicos, entre otros materiales. Al menos la cara que enfrenta al tránsito debe ser retro reflectante. Los tachones deben ser del tipo reflector prismático, el área reflectante debe estar moldeada de material metacrilato o policarbonato, su base plana.

Los tachones deberán cumplir con las siguientes exigencias:

Resistencia a la compresión: La tacha deberá soportar un peso de 2727 Kg sin quebrarse o deformarse significativamente. Entendiendo como deformación significativa 3,3 mm.

Resistencia al desprendimiento: El tachón deberá tener una resistencia al desprendimiento mayor o igual a 3,4 MPa.

Dimensiones: Los tachones deberán ser de las siguientes medidas 25x15x5 cm.

Adhesivos: Los tachones se deberán adherir con el adhesivo que recomiende el fabricante en función del tipo y estado del pavimento. En todo caso, el adhesivo deberá asegurar un tiempo de secado que no sobrepase 25 min; así mismo, después de transcurridas 12 horas las tachas no deberán experimentar desplazamientos o movimientos al ser golpeadas por los vehículos. Cuando no se cumplan estos requisitos se deberá cambiar el adhesivo.

Equipo: Se deberá disponer del equipo necesario para preparar la superficie del pavimento y para el transporte y colocación de los tachones, así como para la limpieza de la superficie luego de terminados los trabajos.

Ejecución: Los tachones se ubicarán de acuerdo a los detalles del proyecto y los colores deberán ajustarse a la siguiente pauta:

Color Rojo. Líneas que no se deben traspasar

Color Blanco. Líneas que se pueden cruzar

Color Amarillo. Islas y reservas centrales.

El área del pavimento donde se colocará la tacha deberá estar libre de polvo, compuestos de curado, grasa, aceite, pintura o cualquier otra materia extraña que pudiere afectar negativamente la acción ligante del adhesivo. Para estos efectos, la superficie indicada se deberá limpiar. El adhesivo se deberá preparar de acuerdo con las instrucciones del fabricante, considerando que las cantidades requeridas dependen de la textura de la superficie del pavimento. En todo caso, no se deberá preparar más mezcla adhesiva que la que se pueda utilizar en 10 minutos. La mezcla adhesiva se deberá aplicar mediante una espátula a la base o a la superficie del pavimento, en una cantidad tal, que cubra totalmente la superficie de contacto, sin presentar huecos, más un leve exceso.

Los tachones se deberán colocar en su posición tan pronto como sea posible, con un procedimiento que asegure que, respecto del eje del camino, no sufrirá desviaciones mayores que 2 mm, medidos en los extremos. Una vez instalada la tacha se deberá presionar hasta que el pegamento salga por los bordes. Todo exceso de adhesivo se deberá limpiar y retirar inmediatamente. No se aceptará que el pegamento fluya sobre la cara reflectante del tachón. Los tachones deberán ser protegidos de golpes por un lapso mínimo de 30 minutos después de colocados. Además, durante el periodo que dure el proceso de endurecimiento del pegamento, se deberá tomar todas las precauciones necesarias para evitar que el tránsito pase sobre los tachones. Para esto, se deberá colocar conos, barreras.

No se deberá colocar los tachones en las siguientes condiciones:

Cuando la temperatura del aire o la del pavimento sea igual o inferior a 10 °C.

Cuando la humedad relativa del aire sea superior al 80%.

Cuando la superficie del pavimento esté húmeda.

Antes de 14 días de haber sido entregado al tránsito un pavimento nuevo.

Antes de la demarcación de los pavimentos.

Control por el ingeniero: El control de los trabajos en ejecución, control de la calidad, geometría, la aplicación de una técnica adecuada y acabado de acuerdo a planos y proyecto. El control se efectuará siguiendo estrictamente las normas establecidas por estas especificaciones. Previamente a la iniciación de los trabajos se controlarán las

condiciones de limpieza de las superficies a la colocación de los tachones, condiciones del equipo y experiencia del personal.

Medición: Se cuantificará por unidad colocada, y la medición se efectuará de acuerdo al número de tachones requeridos por el proyecto y aprobados.

3.9.6. CÓMPUTOS MÉTRICOS.

Tabla N°86. Cómputos métricos señalización horizontal.

Rotondas	Línea de parada	Paso de peatón	Separador de carriles	Línea discontinua	Flechas direccionales	Área total
El Mástil	14.28	55.2	81	22.8	19.89	193.17
Torre Petrolera	13.2	54	72	13.2	24.31	176.71
La Hollada	11.64	43.2	63	11.1	22.1	151.04
Del Avión	12.32	50.4	72	9.9	24.31	168.93
Juan XXIII	8.48	32.4	57.6	4	13.26	115.74
Roberto Romero	11.6	57.6	63	15	37.57	184.77

Fuente: Elaboración propia

Nota: Los cómputos métricos para la señalización vertical y canalización de los accesos a cada rotonda se encuentran en los planos.

Tabla N°87. Cómputos métricos.

Ítem N°	Descripción	Unid.	Cantidad
1	Pintado de señal horizontal	m ²	990.36
2	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	Pza.	24
3	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	Pza.	96
4	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	Pza.	2
5	Canalización de los accesos mediante tachones	Pza.	480

Fuente: Elaboración propia

3.9.7. COSTO DE LA OBRA.

Tabla N°88. Presupuesto general.

Ítem	Descripción	Unid.	Cant.	P. U. (bs)	Costo ítem
1	Pintado de señal horizontal	m ²	990.36	124,73	123.527,60
2	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	pza	24	966,19	23.188,56
3	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	pza	96	1.276,50	122.544
4	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	pza	2	1.190,30	2.380,6
5	Provisión y colocado de tachones	pza	480	175,73	84.350,4
Costo (bs) =	355991.16	Trecientos cincuenta y cinco mil novecientos noventa y uno con dieciséis bolivianos.			
Costo \$us. =	50.855,88	Cincuenta mil ochocientos cincuenta y cinco con ochenta y ocho.			

Fuente: Elaboración propia.

CAPITULO IV
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES

CAPITULO IV

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES.

- En este trabajo se determinó la capacidad vehicular y el nivel de servicio en la “Avenida Circunvalación”, a partir de las condiciones de comportamiento actual de la circulación vehicular y el control de semaforización en las rotondas que componen la misma, de manera que se pudo evaluar las condiciones actuales y se planteó acciones para mejorar las condiciones de capacidad y nivel de servicio en el área de estudio.
- Se realizó el aforo diario y continuo de todas las rotondas de la avenida Circunvalación, concluyendo, que sus horas picos son desde las 07:00 a 08:00 AM – 12:00 a 13:00 PM y 18:00-19:00 PM, siendo la rotonda de mayor volumen de tráfico la Torre Petrolera, donde se alcanza un volumen vehicular de 3804 veh/hr.
- Se realizó el aforo de volúmenes de tráfico en cada uno de los accesos de las seis rotondas que se encuentran en la avenida circunvalación, conforme se establece en la siguiente tabla:

Rotondas	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Media
Del Hito	682	985	629	675	743
Torre petrolera	1046	819	1027	912	951
La Hollada	1137	435	1052	591	804
Del Avión	965	391	1179	478	754
Juan XXIII	807	732	426	-	655
Roberto Romero	622	455	905	412	599

- Se determinó la capacidad vehicular y el nivel de servicio y las condiciones de comportamiento actual de circulación vehicular considerando las rotondas con y sin semáforos, como se puede observar en la siguiente tabla.

Rotondas	Capacidad vehicular veh/hr					Nivel de servicio
	Acceso 1	Acceso 2	Acceso 3	Acceso 4	Media	
Rotondas con sistema de semaforización						
Del Hito	1376	1875	1308	1830	1598	C
Torre petrolera	1347	1150	1518	1160	1294	D
La Hollada	1405	1097	1504	1465	1368	D
Juan XXIII	1588	1648	1211	-	1483	B
Rotondas sin sistema de semaforización						
Del Avión	845	638	824	719	757	D
Roberto Romero	855	765	668	623	728	D

- Se realizó la medición de tiempos, ciclos y fases conforme a la determinación de colores de los semáforos existentes en las rotondas en estudio.

Acceso	Rotonda del Hito				
	Amarillo ida	Amarillo vuelta	Rojo	verde	Ciclo
1	2	0	20	14	36
2	2	0	16	18	36
3	2	0	20	14	36
4	2	0	16	18	36
Acceso	Rotonda la Torre Petrolera				
1	2	0	22	26	50
2	2	0	30	18	50
3	2	0	22	26	50
4	2	0	30	18	50
Acceso	Rotonda la Hollada				
1	2	0	20	20	42
2	2	0	22	18	42
3	2	0	20	20	42
4	2	0	22	18	42
Acceso	Rotonda de Juan XXIII				
1	2	0	18	20	40
2	2	0	18	20	40
3	2	0	22	16	40

- Se realizó el análisis comparativo entre la semaforización y la capacidad vehicular en dos rotondas donde se observa el congestionamiento, de acuerdo a los tiempos de demora, lo cual se estableció la optimización de los tiempos, fases y ciclos de los semáforos para mejorar la capacidad vehicular y por ende el nivel de servicio.

Rotonda la Torre Petrolera										
Acceso	Sistema actual					Sistema nuevo				
	Amarillo ida	Amarillo vuelta	Rojo	verde	Ciclo	Amarillo ida	Amarillo vuelta	Rojo	verde	Ciclo
1	2	0	22	26	50	2	2	23	29	56
2	2	0	30	18	50	2	2	29	23	56
3	2	0	22	26	50	2	2	23	29	56
4	2	0	30	18	50	2	2	29	23	56
Rotonda la Hollada										
Acceso	Sistema actual					Sistema nuevo				
	Amarillo ida	Amarillo vuelta	Rojo	verde	Ciclo	Amarillo ida	Amarillo vuelta	Rojo	verde	Ciclo
1	2	0	20	20	42	2	2	12	30	46
2	2	0	22	18	42	2	2	30	12	46
3	2	0	20	20	42	2	2	12	30	46
4	2	0	22	18	42	2	2	30	12	46

Análisis de la capacidad vehicular rotonda la torre petrolera				
Acceso	Actual		Nueva	
	Capacidad	Nivel de servicio	Capacidad	Nivel de servicio
1	1347	D	1400	C
2	1150	C	1310	B
3	1518	B	1579	B
4	1160	D	1321	B
Análisis de la capacidad vehicular rotonda la Hollada				
1	1405	D	1903	C
2	1097	B	663	B
3	1504	B	2037	B
4	1465	B	886	C

- Realizado el inventario vial se pudo identificar todos los elementos del tramo, su condición y estado en que se encuentra la avenida circunvalación, se pudo verificar la falta de señalización vertical y horizontal; a continuación, se muestra en una tabla los resultados obtenidos.

Elemento	Condición			Total
	Buena	Regular	Mala	
Superficie de rodadura		x		Regular
Señalización vertical			116	116 señales verticales
Señalización horizontal			x	Mala
Cordón		x		regular
Boca tormentas		8		8 boca tormentas
puente		2		2 puentes

- Se determinó las soluciones al problema sobre la congestión vehicular que existe en las distintas rotondas de la avenida Circunvalación, como la implementación de señales verticales, horizontales, semaforización de rotondas, regulación de los tiempos de fase en semáforos existentes y la canalización de los accesos en las entradas en las rotondas donde se identifica dicho problema, con el fin de organizar el tránsito vehicular; en la siguiente tabla se puede observar los cálculos métricos.

Ítem	Descripción	Unid.	Cantidad
1	Pintado de señal horizontal	m ²	990.36
2	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	Pza.	24
3	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	Pza.	96
4	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	Pza.	2
5	Canalización de los accesos mediante tachones	Pza.	480

- Se determinó el costo total de la obra, para dar solución al problema de congestión vehicular en la zona de estudio se muestran la siguiente tabla:

Ítem	Descripción	Unidad	Cant.	P. U. (bs)	Costo ítem
1	Pintado de señal horizontal	m ²	990.36	124,73	123.527,60
2	Señal vertical preventiva (0,60 m x 0,60 m)	Pza.	24	966,19	23.188,56
3	Señal vertical restrictiva (0,60 m x 0,90 m)	Pza.	96	1.276,50	122.544
4	Señal vertical informativa (0,70 m x 0,70 m)	Pza.	2	1.190,30	2.380,6
5	Provisión y colocado de tachones	Pza.	480	175,73	84.350,4
Costo	Trecientos cincuenta y cinco mil novecientos noventa y uno con dieciséis bolivianos.	355.991,16 Bs			

- Las soluciones con medidas de bajo costo mejoran los parámetros de tránsito, y ayudaran a la disminución de los niveles de congestión, pero no eliminaran por completo los factores de riesgo confirmados.
- Los factores geométricos se encuentran involucrados en el 60% de los accidentes especialmente por un exceso del radio de deflexión, radio de entrada, radio de salida, ancho del carril de circulación y ancho de carril de entrada.
- Las rotondas son puntos críticos en la ciudad de Tarija tanto en su nivel de accidentabilidad, como en el congestionamiento; por lo que un mal diseño de la misma genera un perjuicio sustancial a los usuarios, reflejándose en un aumento de accidentes y demoras excesivas en los vehículos.

4.2. RECOMENDACIONES.

- Promover campañas de concientización para todos los conductores que transitan la avenida Circunvalación, debido a que la congestión vehicular no se da únicamente por la geometría y señalización de las vías, sino también por la falta de cultura por parte de los conductores y peatones que entorpecen el tráfico correcto y normal.
- En la semaforización existente, es importante implementar combinaciones de tiempos ciclos y tiempos de fases, conforme al movimiento vehicular que se produce en las rotondas, debido a que el aumento vehicular es creciente, lo que ocasiona el constante congestionamiento vehicular por la falta de su capacidad para proseguir la marcha con la regularidad esperada.
- Se recomienda la optimización y regulación de los semáforos en dos rotondas con alto nivel de congestionamiento, la Torre Petrolera y la Hollada, asimismo una buena coordinación de la red de semáforos de la ciudad y la optimización de los ciclos y fases de los mismos, pues constituyen las herramientas fundamentales para tratar de resolver los problemas de congestión de tráfico y sobresaturación de vehículos.
- Realizado el aforo de peatones en todos los accesos, no se recomienda la instalación de semáforos peatonales adicionales a los vehiculares, pues las condiciones, en cuanto a la cantidad de peatones por hora no son suficientes, ya que la intersección óptima para un semáforo peatonal debe ser mayor a 150 en áreas no escolares y mayor a 250 en áreas escolares, y el presente caso no cumple con lo señalado.
- Se recomienda que, para la circulación vehicular y peatonal, se establezcan guías de regulación a fin que las mismas puedan llevarse a cabo de forma segura, fluida, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos, pues a través de la señalización se indica a los conductores y peatones la forma correcta y segura de transitar por la avenida, evitando riesgos y demoras innecesarias.

- Se recomienda la canalización de los carriles mediante la implementación de tachones, pues a través de estos se puede brindar mayor seguridad vial a conductores favoreciendo la efectividad del transporte público, disminuyendo los tiempos de recorrido de los mismos y evitando congestiones vehiculares y maniobras de sobrepaso.
- Ejecutar de forma inmediata las medidas de bajo costo, que son factibles de enfrentar por los administradores y que en gran medida pueden mitigar los riesgos observados.
- Es importante que las entidades competentes, exijan el cumplimiento de los parámetros geométricos en los diseños de rotondas, de tal forma que se comiencen a generar intersecciones con características homogéneas, las cuales serán de fácil percepción y aceptación por los usuarios.