

## **CAPÍTULO I**

### **1. INTRODUCCIÓN**

#### **1.1. ANTECEDENTES**

Debido al aumento de la demanda de transporte y del tráfico vehicular particularmente en la ciudad de Tarija se ha generado, más congestionamientos, demoras, accidentes y problemas ambientales, es por eso que bajo el nombre de Ingeniería de Tráfico nace una nueva rama de la Ingeniería Civil que trata precisamente del aspecto funcional del camino, llámese calle o carretera.

Al realizarse mejoramientos o aperturas en vías rurales y urbanas por lo general no se realiza un estudio real de los parámetros del comportamiento del tráfico. Esto hace que en el futuro estas vías se vean congestionadas por peatones y conductores, que se encuentran en serias dificultades para transitar estas vías, estas dificultades generan una problemática de tráfico que disgusta a conductores, peatones y a la población en general.

En comparación con otros tipos de intersecciones, las rotondas han demostrado ofrecer seguridad además de otros beneficios y son las más utilizadas, la principal ventaja es su versatilidad. Pueden ser de utilidad para una gran variedad de objetivos y pueden adoptar innumerables configuraciones diferentes en función de la necesidad concreta de cada emplazamiento. Considerando lo importantes que son las rotondas, realizar un estudio y análisis de las mismas nos ayudaría a conocer su funcionalidad, usos actuales y restricciones.

Con este estudio se pretende solucionar uno de los problemas diarios que más aqueja y amenaza la calidad de vida de la población de Tarija, brindando una mejor comodidad a los conductores como a los peatones que circulan por rotondas con gran afluencia de tráfico vehicular.

## **1.2.- JUSTIFICACIÓN: SITUACIÓN PROBLÉMICA**

La ciudad de Tarija en los últimos años ha sufrido un gran crecimiento poblacional y como consecuencia de esto también el parque automotor de la ciudad ha crecido considerablemente, es por esto que sus vías urbanas cuenta con niveles de servicios bajos, llegando incluso en algunas ocasiones a congestionarse en horas picos, siendo las intersecciones o nudos los puntos de conflicto más urgentes de solucionar.

Como consecuencia de la construcción de la Universidad Domingo Savio y crecimiento de los barrios aledaños a la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, es una realidad evidente el aumento de la circulación de vehículos en horarios específicos ocasionando la formación del congestionamiento de tráfico vehicular, que se pueden observar diariamente en colas de espera, demoras, accidentes, mal uso o uso inadecuado que se les da a los vehículos particulares y recorrido saturado de la líneas de transporte público.

Todo indica que seguirá agravándose al pasar de los años, constituyendo un peligro esto debido a la insuficiente capacidad que afecta a la transitabilidad y niveles de servicio, ausencia del sistema de semaforización y señalización en lugares necesarios y el poco respeto a la educación vial de los usuarios hacia las normas de tránsito. Generalmente estos factores hacen que se genere una sobre demanda del flujo vehicular sobre todo en las denominadas horas pico o punta que es el momento en donde se acentúa más este problema.

El estudio que se plantea es el “Estudio y Evaluación del comportamiento del tráfico vehicular en la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces” donde se quiere realizar una evaluación para así dar soluciones para el mejoramiento de los niveles de servicio de la vía, brindando una mejor y continua circulación y haciéndola cómoda, confiable y segura para el conjunto de usuarios.

### **1.3.- OBJETIVOS**

#### **1.3.1.- OBJETIVO GENERAL**

“Realizar el estudio y evaluación del comportamiento del tráfico vehicular en la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces”

#### **1.3.2.- OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Recopilar información general, coherente y adecuada de los fundamentos teóricos necesarios de la ingeniería de tráfico para el estudio del tema.
- Establecer las horas pico de tráfico vehicular en la rotonda.
- Realizar aforos del flujo vehicular en los accesos de la rotonda.
- Determinar volúmenes de tráfico vehicular en los accesos.
- Determinar velocidades de tráfico vehicular en los accesos.
- Efectuar un estudio de la capacidad y el nivel de servicio de la rotonda.
- Realizar un estudio de la semaforización y señalización.
- Analizar el congestionamiento vehicular en la rotonda.
- Analizar y evaluar las características geométricas de la rotonda.
- Elaborar un análisis del funcionamiento de la rotonda.
- Determinar conclusiones y recomendaciones del estudio y evaluación en la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces.

## **1.4.- METODOLOGÍA Y TÉCNICAS**

### **1.4.1.- METODOLOGÍA**

Recopilación de toda la bibliografía básica necesaria, consiste en la averiguación de información acerca de la ingeniería de tráfico, estudios sobre características y funcionamientos de rotondas.

Se realizarán mediciones y aforaciones en cada uno de los accesos de la rotonda de forma manual, el período con que se efectuará los aforos se establece en tres horas al día en horas pico. Se requiere de una persona con un lápiz anotando en una hoja, todos los movimientos y/o clasificación de los vehículos.

Una vez obtenido todos los parámetros necesarios, que son los volúmenes y velocidades de los accesos, se procederá al cálculo de los factores que son la capacidad, nivel de servicio, semaforización y congestionamiento con sus respectivas formulas a utilizar.

Se hará un análisis de cada uno de los factores aplicando la bibliografía referida al tema, para así plantear medidas que se ajusten a la realidad de la zona de estudio, y de esta manera contar con posibles soluciones para ser aplicadas en un futuro.

### **1.4.2.- TÉCNICAS**

Debido a que se tiene un conocimiento básico de cuáles son los procedimientos para llegar a obtener la información en la ejecución del estudio, la realización del mismo no representaría una gran dificultad, ni tampoco significaría un gasto económicamente elevado, ó en la necesidad de contar con laboratorios para realizar ensayos y verificaciones que se encuentren dentro del estudio en sí.

La obtención de datos y valores necesarios de instituciones y otros (volúmenes, semaforización, señalización, congestionamiento, etc.) serán realizados por el proyectista.

La bibliografía con la que se cuenta en el medio no es muy amplia por eso será necesario recurrir a estudios hechos para otros países y observar si las metodologías se ajustan a nuestro medio.

### **1.5.- MEDIOS**

Los medios necesarios para la realización de esta investigación son totalmente accesibles, el factor económico a invertir son mínimos.

En la parte teórica se procederá con la utilización de fuentes de información como libros, documentación específica del tema, artículos de revistas, páginas de internet y otras fuentes de información.

En la parte práctica se hará la aplicación de fórmulas y tablas específicas para los diferentes datos obtenidos en el área de estudio para realizar los cálculos correspondientes.

### **1.6.- ALCANCE**

El alcance del presente trabajo se elaborará un estudio del comportamiento del tráfico vehicular de la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, desde el punto de vista de la Ingeniería de Tráfico.

Se realizará el conteo de volúmenes, medición de velocidades, semaforización, congestionamiento, colas de espera, señalización, determinación de demoras, análisis del diseño geométrico y otros factores que puedan intervenir en el estudio.

Una vez analizados los factores y/o parámetros de tráfico, se verificarán los resultados con el análisis respectivo y se recomendarán ciertas medidas para reducir el nivel de servicio y aumentar la capacidad que presta la rotonda, dicha medidas serán tomadas de la bibliografía con la que se cuenta.

Por último en base al análisis y resultados obtenidos del estudio podremos citar algunas conclusiones, además de brindar las recomendaciones necesarias para la posible aplicación de este trabajo en un futuro y pueda mejorar el funcionamiento de la rotonda.

## CAPÍTULO II

### 2. LA INGENIERÍA DE TRÁFICO Y SUS VARIABLES

#### 2.1. Enfoque General de la Ingeniería de Tráfico

La Ingeniería de Tráfico es una rama de la Ingeniería Civil que se ocupa de estudiar, analizar y buscar soluciones al problema de transporte. Trata sobre la planificación, diseño y operación de tráfico en las calles, carreteras y autopistas, sus redes, infraestructuras y su relación con los diferentes medios de transporte consiguiendo una movilidad segura, eficiente y conveniente tanto de personas como de mercancías.

En la Ingeniería de Tráfico en vez de construirse nueva infraestructura, se introduce elementos dinámicos o estáticos (Señales de tráfico, semáforos, sensores, etc.), para regular y dirigir el tráfico, maximizando la capacidad de la vía especialmente en lugares congestionados.

La Ingeniería de Tráfico analiza lo siguiente:

- **Las Características del Tráfico**, Se utilizan diversas magnitudes que reúnen las características de los vehículos y usuarios. Estas magnitudes son: la velocidad, el volumen, la densidad, la separación entre vehículos sucesivos, intervalos entre vehículos, tiempos de recorrido y demoras, origen y destino del movimiento, la capacidad de las calles y carreteras, se analizan los accidentes, el funcionamiento de pasos a desnivel, terminales, intersecciones canalizadas, etc. Por otro lado se estudia al usuario en todas las reacciones para maniobrar el vehículo como ser: rapidez de reacción para frenar, para acelerar, su resistencia al cansancio, etc.
- **La Reglamentación del Tráfico**, Se debe establecer los reglamentos del tráfico, como ser: la responsabilidad y licencias de los 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, el control policial en intersecciones, sanciones relacionadas con accidentes, etc.

- ***El Señalamiento y los Dispositivos de Control***, Su función principal es la de determinar los proyectos, construcción, conservación y uso de las señales.

- ***La 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 el 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.

- ***La Administración***, Para tener buenos resultados se debe considerar varios aspectos tales como: económicos, políticos, fiscales, de relaciones públicas, de sanciones, etc.

### **2.1.1. Solución al Problema de Tráfico**

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

- ***Diferentes tipos de vehículos en la 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 del usuario***; Legislación y reglamentos no acordes a la evolución del transporte, falta de educación vial.

Descritos los factores que intervienen en el problema del tránsito, se plantean a continuación los tres tipos de solución que se pueden dar al problema del tránsito:

- ***Solución Integral***, Dadas las características del vehículo moderno se plantea construir nuevos tipos de vialidades que sirvan a este vehículo, es decir, que se busca el equilibrio de la oferta y la demanda, este tipo de solución es casi imposible de aplicar en las ciudades actuales porque equivaldría a destruir todo lo existente y construir las vialidades con especificaciones modernas.
- ***Solución Parcial de Alto Costo***, Esta solución consiste en realizar cambios necesarios en las 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.
- ***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.

## **2.1.2. Elementos del Tráfico**

### **2.1.2.1. Usuario**

Es muy importante tener en cuenta el comportamiento del usuario para la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte automotor.

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.

## **Peatón**

Es considerado como peatón a toda la población en general, son todas aquellas personas desde un año hasta cien años de edad. Prácticamente todos somos peatones, por lo tanto, a todos nos interesa este aspecto. También puede decirse, que el número de peatones en un país casi equivale al censo de la población.

En la mayoría de los casos las calles y carreteras son compartidos por los peatones y vehículos, excepto en la 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 necesario conocer las características del movimiento de los peatones y la influencia que tienen ciertas características como ser la edad, sexo, motivo de recorrido, etc.

El comportamiento de los peatones es menos predecible que el de los conductores. Además es mucho más difícil regular el movimiento de los peatones que el de los vehículos. Esto es especialmente cierto en zonas urbanas donde los peatones tienden a considerar a los vehículos como intrusos en su propio terreno, y a pensar que las leyes de tráfico refieren exclusivamente a los vehículos. También es cierto que la mayoría de los reglamentos de tráfico conceden poca atención a los peatones, y la policía no suele sancionarlos dadas las dificultades que esto acarrea.

## **Conductor**

El Conductor es considerado de forma individual o colectiva aquella persona que maneja un vehículo motorizado, este es el elemento más importante en la circulación viaria. El movimiento de los vehículos en la carretera depende fundamentalmente de ellos, y la calidad de circulación es el resultado de su mayor o menor habilidad para adaptar el movimiento de sus vehículos a las características de la carretera y de la circulación. La forma de conducir de

cada uno de ellos depende de innumerables variables que incluyen sus aptitudes, sus conocimientos, sus reacciones físicas y psicológicas.

Normalmente el conductor pretende desplazarse de un punto a otros con seguridad, comodidad y rapidez; para conseguirlo tiene que estar atento a las características de la carretera y al estado de la circulación, con objeto de tomar las decisiones adecuadas en los momentos precisos.

Se desarrolla así un proceso continuo de recepción de datos, análisis de los mismos y toma de decisiones. La recepción de las informaciones se realiza a través de los sentidos, la atención del conductor debe dividirse entre los distintos estímulos sensoriales presentes, la mayor parte de los estímulos son visuales y se reacción se verá dificultada si disminuye la visibilidad. Esta disminución puede ser debida a factores externos (niebla, lluvia, falta de luz, obstrucciones en el campo visual, etc.) o a factores propios del conductor (defectos de visión, sueño, efecto del alcohol u otras sustancias, distracción, etc.).

El conductor debe analizar la situación percibida y adoptar las decisiones que crea convenientes, estas serán más acertadas cuanto más sencilla sea la situación y mayor sea la experiencia y habilidad del conductor. En sentido contrario influirán condiciones físicas o psíquicas anormales como el cansancio, el sueño, la ansiedad, las preocupaciones, el efecto de drogas, etc. Una vez analizada la situación la reacción depende tanto del conductor como del vehículo, el conductor debe accionar los mandos necesarios (volante de dirección, acelerador, pedal del freno, etc.) y necesita estar familiarizado con ellos para realizar esta operación rápidamente y sin errores. Para que el vehículo realice los movimientos deseados es necesario que los mandos actúen correctamente y con una demora corta.

### **2.1.2.2. Vehículo**

El Vehículo ha sido el elemento de mayor evolución en relación al tiempo, cambiando sus características para acomodarse al trazo urbano.

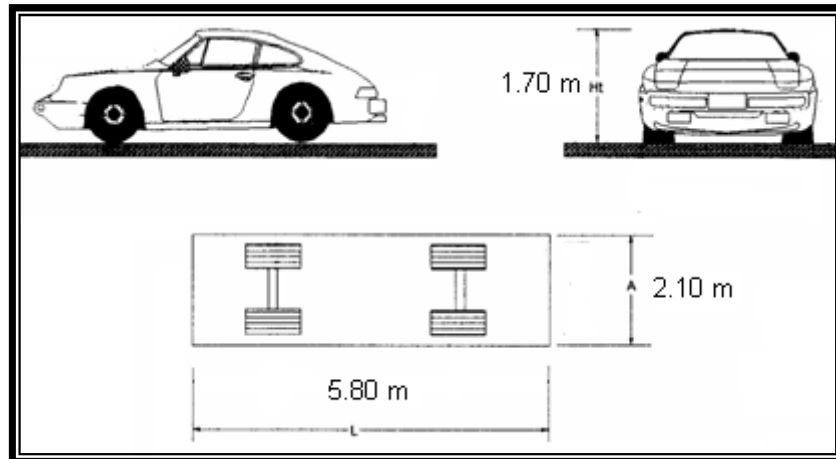
En ciertos países, la incorporación de mayor cantidad de vehículos no sólo ha mejorado el transporte, ya que también ha elevado el nivel económico general del país, por lo que se puede afirmar que la relación de habitantes por vehículo es un indicador para apreciar el progreso de un determinado territorio.

Para que la circulación sea segura, económica y cómoda para conductores y pasajeros, al proyectar las carreteras es necesario tener en cuenta las características de los vehículos. Estas características pueden ser muy diferentes de unos vehículos a otros, ya que actualmente circulan tipos muy variados. Para simplificar su estudio es conveniente agruparlos en varias categorías constituidas por vehículos de características parecidas. Los criterios de clasificación pueden variar según la finalidad perseguida. Así, es posible diferenciarlos según el sistema de propulsión, la finalidad de transporte realizado, su tamaño, peso y movilidad, etc.

El elemento vehículo tiene algunas características que influyen en el comportamiento del flujo vehicular, algunas de ellas son las siguientes:

Características del vehículo	Automóviles <b>VP</b>	Autobuses y camiones <b>CO</b>	Autobuses interurbanos <b>O</b>	Camión semi – remolque <b>SR</b>
Ancho total; m =	2.10	2.60	2.60	2.60
Largo total; L =	5.80	9.40	12.20	16.80
Radio mínimo de la rueda externa delantera; m =	7.30	12.80	12.80	13.70
Radio mínimo de la rueda interna trasera; m =	4.70	8.70	7.10	6.00

**Cuadro 2.1. Datos Básicos de los Vehículos Tipo**



**Figura 2.1. Vehículo Tipo Ligero**

### **Dimensiones**

Son datos fundamentales para el diseño de las carreteras. Determinadas características geométricas de la carretera y de sus instalaciones auxiliares, como los estacionamientos, condicionan las dimensiones de los vehículos que pueden utilizarlas. Recíprocamente, estas dimensiones hacen necesarias unas características geométricas mínimas en las vías.

El ancho de los vehículos está relacionado con el ancho de los carriles y con la capacidad vehicular de la vía.

La longitud es la dimensión más variable, influye sustancialmente en trayectorias curvas por el efecto del radio de curvatura.

La altura es una dimensión también muy variable y está influenciada sobre todo por los pasos a desnivel, señalización vertical, etc.

### **Potencia**

La potencia es la cantidad de esfuerzo necesaria para poner en movimiento a un vehículo, la potencia de los vehículos a combustión interna está ligada al número de giros que se produce en el par motor siendo una relación proporcional entre el número de giros y la potencia del vehículo.

## **Radio de Giro**

Se define como radio de giro a la trayectoria que sigue el vehículo al girar su eje delantero, de tal manera que tenga una trayectoria circular que marque el espacio necesario para cambiar de sentido en un ángulo de 180 grados o para girar el vehículo en una trayectoria curva; normalmente se tiene un radio de giro mínimo que marca la rueda trasera derecha y un radio de giro máximo que marca la parte externa delantera del lateral izquierdo del vehículo.

## **Velocidad**

La velocidad de los vehículos es un elemento fundamental en el comportamiento del flujo vehicular. En la actualidad las velocidades dadas por los fabricantes a los vehículos son altas, sin embargo, el resto de las condiciones tanto internas como externas hacen que los vehículos circulen por las calles y carreteras a velocidades menores. Esta característica de la velocidad puede causar distorsiones en la circulación, generando colas de congestionamiento cuando son bajas y accidentes cuando son altas.

## **Resistencia**

Un vehículo en circulación cualquiera sea el tipo va a tener resistencia, las más importantes son las siguientes:

- **Resistencia al Aire;** Un vehículo en movimiento encuentra como fuerza inversa y de sentido contrario al aire lo que obliga que la potencia debe aumentar para vencer dicha resistencia.
- **Resistencia a la Fricción;** Cuando un vehículo se encuentra en circulación se presenta una resistencia entre la capa de rodadura y las llantas, esta depende esencialmente del tipo de rodadura.
- **Resistencia a la Pendiente;** Cuando un vehículo en movimiento pasa de de una trayectoria plana a una rampa con pendiente.

### **2.1.2.3. Vía**

El tercer elemento fundamental del tráfico es la vialidad o la vía por el que se mueven los vehículos. La 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 en 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.

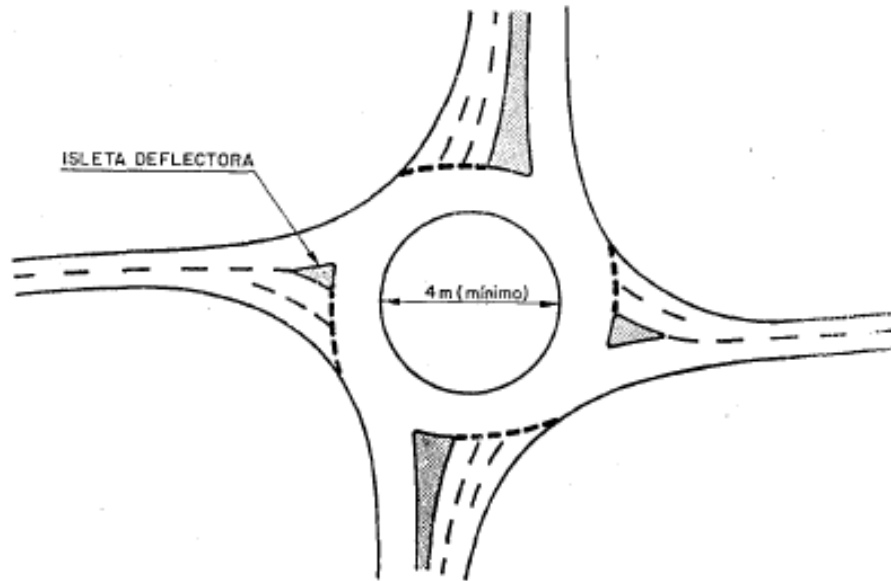
## **2.2. Introducción a las Intersecciones Giratorias**

Las rotondas (también conocidas como intersecciones giratorias o glorietas) son un tipo de intersección que se caracteriza por una geometría especial derivada de la forma en que se comunican los tramos que confluyen en ella, ya que lo hacen a través de una calzada anular en la que se establece una circulación giratoria en un solo sentido alrededor de una isleta central.

Este tipo de intersección aparece por primera vez a principios del siglo XX como solución a los problemas de congestión del tráfico (del que los automóviles tan solo eran una pequeña proporción) que se daban en las ciudades europeas más importantes. La geometría de estas glorietas permite que se puedan adaptar a multitud de situaciones y, gracias a su particular modo de funcionamiento, implican una reducción en el número de conflictos entre las trayectorias de los vehículos usuarios de la intersección, mejorando la capacidad y la seguridad de ésta en beneficio de una mayor fluidez en el tráfico.

### **2.2.1 Definición de Rotonda**

Se entiende como rotonda o glorieta toda aquella intersección dotada de un obstáculo central y rodeada por una calzada anular en la que se establece una circulación giratoria sobre la que se unen varias calles, que se rige por una especial regla de prioridad según la cual los vehículos que pretendan entrar en la calzada anular deben ceder el paso a los que ya se encuentran en ella.



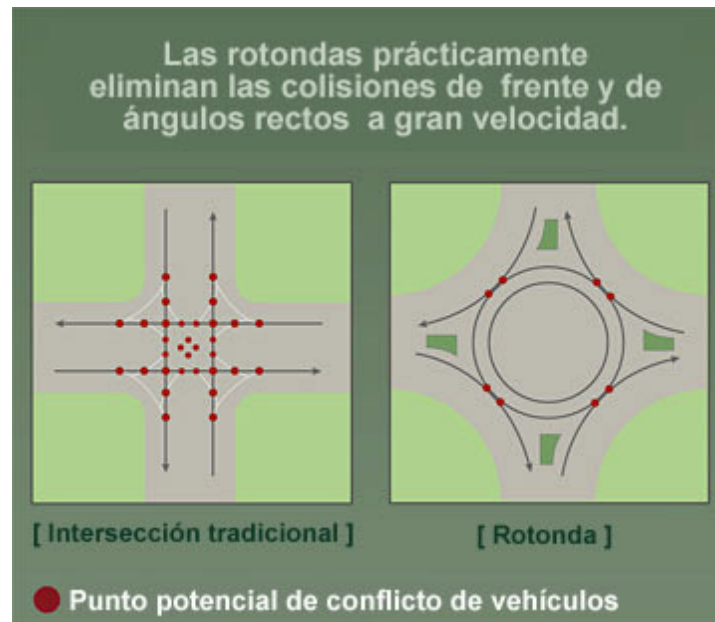
**Figura 2.2. Intersección Giratoria**

### 2.2.2 Consideraciones para la Implantación de Rotondas

En comparación con otros tipos de intersecciones, las rotondas han demostrado ofrecer seguridad además de otros beneficios

Las rotondas:

- Mejoran la seguridad
  - Reducción de muertes en más del 90%
  - Reducción de lesiones del 76%
  - Reducción de todo tipo de colisión del 35%
  - Las velocidades más bajas generalmente son más seguras para los peatones



**Figura 2.3. Reducción de los Puntos de Conflicto en una Intersección de Cuatro Ramales**

- Reducen la congestión
  - Eficacia durante horas de mayor afluencia vial, así como otras horas de menor tráfico.
  - Generalmente significan menos demoras,
- Reducen la contaminación y el gasto de combustible
  - Menos paradas y aceleraciones forzadas, menos tiempo en detenimiento.
- Ahorran dinero
  - Por lo general, no se requiere instalar, accionar y mantener ningún equipo de señalización
  - Las rotondas más pequeñas pueden requerir menos situaciones de *derechos de paso* que las intersecciones tradicionales.
  - Suelen necesitar menos pavimento.
- Complementan otros valores comunes de la comunidad
  - Operación más silenciosa.
  - Son funcionales y estéticamente agradables

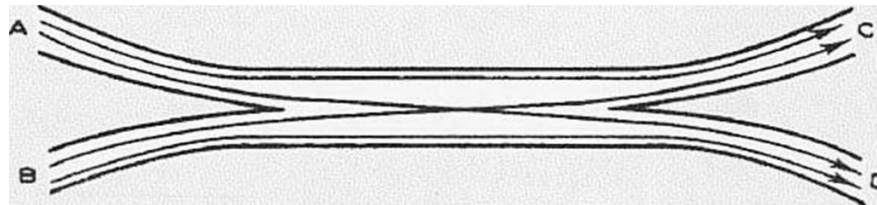
### 2.2.3 Categorías de Rotondas

Se pueden establecer numerosas clasificaciones distintas en función del aspecto de la rotonda que se desee destacar, se enumeran unas cuantas:

En función del modo de explotación o de funcionamiento:

#### **Rotondas Convencionales que Funcionan por Trenzado**

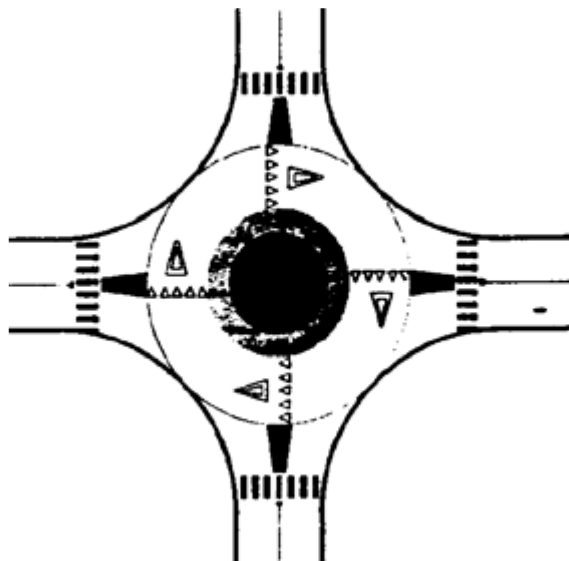
No existe ninguna regla de prioridad, de manera que los vehicular entrantes y los que ya circulan por la intersección puedan entrecruzar sus trayectorias sin apenas modificar sus condiciones de marcha. Las longitudes de trenzado deben ser suficientemente generosas, lo que lleva a que este tipo de rotondas tengas un tamaño considerable.



**Figura 2.4. Carriles de Trenzado**

#### **Rotondas Convencionales con Prioridad a la Derecha (Prioridad a las Entradas)**

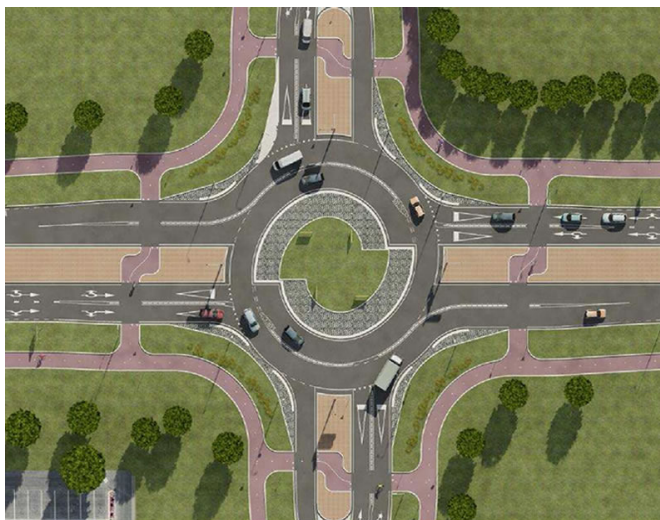
Son rotondas que tiene la prioridad a la derecha, esto quiere decir que la prioridad lo tienen los vehículos entrantes respecto a los que ya circulan por la calzada anular y por ende las rotondas tienden a ser más grandes.



**Figura 2.5. Esquema de Rotonda con Prioridad a las Entradas**

### **Rotondas Modernas con Prioridad en el Anillo**

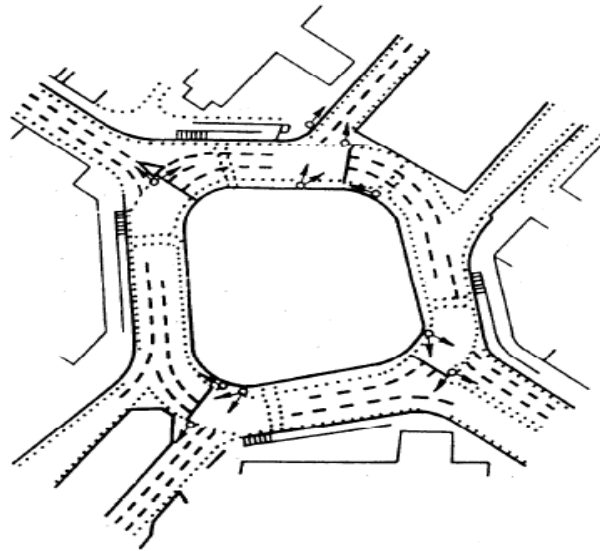
La adopción de la regla de prioridad de los vehículos que circulan por la calzada anular frente a aquellos que pretenden entrar en ella desde los ramales permitió reducir el tamaño de las rotondas, haciéndolas más compactas.



**Figura 2.6. Esquema de Rotonda con Prioridad al Anillo**

## Rotondas Semaforizadas

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



**Figura 2.7. Rotonda Semaforizada**

Pero hay que señalar que desde el momento en que se adopta un sistema de este tipo la rotonda deja de funcionar como tal para pasar a ser una intersección convencional entre dos vías de una sola dirección.

Según los diámetros exterior e interior:

## Grandes Rotondas

Son aquellas de diámetro interior muy superior a los 20 metros y diámetro exterior de más de 40 metros. Es utilizada especialmente fuera del centro habitado.



**Figura 2.8. Grandes Rotondas**

### **Rotondas Compactas**

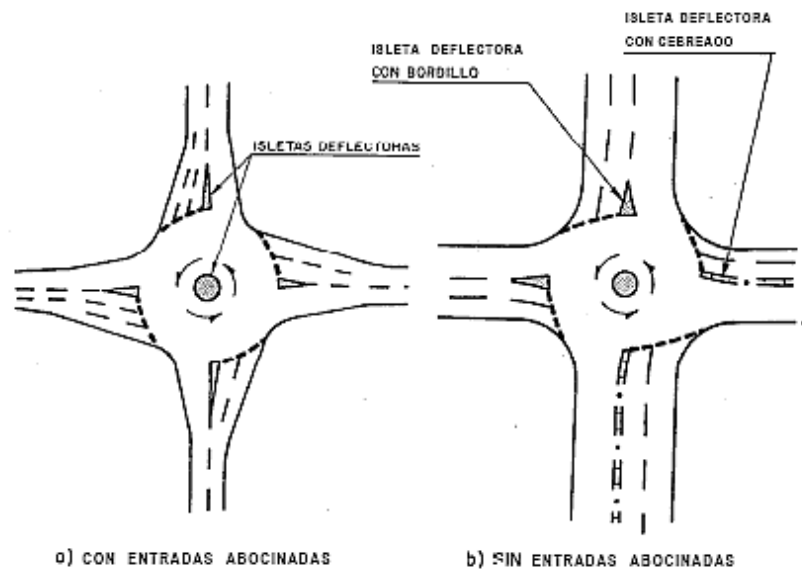
Estadísticamente parece la rotonda más segura, o sea presenta como tipología menos accidentes con respecto a las otras. Su diámetro interior oscila entre los 4 y los 20 metros, mientras que el diámetro exterior no suele ser menor que 24 m. ni exceder de los 40 m.



**Figura 2.9. Rotondas Compactas**

## Mini-Rotondas

Su uso se da mayoritariamente en zonas fuertemente urbanizadas con edificaciones consolidadas, en las que el espacio disponible escasea. Tienen un diámetro interior inferior a 4 metros y un diámetro exterior que no es mayor de 24 metros (comúnmente el diámetro de este tipo de glorietas oscila en torno a los 20 metros).



**Figura 2.10. Típica Mini-Rotonda**

### 2.3.- Factores del Tráfico

El comportamiento de tráfico se estudia por medio de unas variables que recogen los aspectos más importantes del mismo, ya que esto le será útil para saber las características del tránsito y poder tomar unas medidas de solución para el buen funcionamiento del tráfico vehicular.

### **2.3.1. Planificación**

Los aforos son muestras de los volúmenes actuales de un número de vehículos que pasan por un punto, entran a una intersección o usan una parte del carril tratando de contar con intersecciones que se observa donde existe mayor flujo vehicular, así también la posibilidad de que tengan problemas de circulación por algún motivo.

En el presente estudio la ubicación de los puntos de aforo para la obtención de datos de volúmenes de circulación en los diferentes accesos, se toma en cuenta el poder obtener estos datos con la mayor exactitud y que demuestren la circulación real.

#### **2.3.1.1. Métodos de Aforo**

Existen dos métodos de aforo: el mecánico y manual.

##### **2.3.1.1.1. Mecánico**

Estos aforos se refieren a que están basados en el uso de controladores o registradores automáticos que permiten aforar la cantidad de vehículos que pasan por una sección definida entre las formas más usadas están:

- Membrana eléctrica
- Bucles
- Los pares de bucles
- Sensores

➤ **Membranas Eléctricas.-**

Una membrana eléctrica es un dispositivo que se coloca transversalmente a la calle en el punto que se va hacer el aforo, esa membrana está conectada en serie a un contador que por cada impulso abarca una unidad lo que quiere decir que cada vehículo de dos ejes va a producir dos impulsos y por lo tanto las lecturas se van a tener en el contador dividido por dos, nos dará el número de vehículos registrados en el período establecido.

Este sistema es bueno para realizar sólo aforos de cantidad de vehículos, no nos proporciona información sobre la composición vehicular ni tampoco las particulares de aquellos vehículos que llevan más de dos ejes por lo tanto podrá distorsionarse la información, pero la ventaja es que requiere de poco personal que sólo realice los conteos en lapsos de tiempo determinado.

➤ **Bucles Electromagnéticos.-**

El bucle electromagnético es otro dispositivo que se utiliza para el aforo del tráfico que consiste en colocar un lazo en el carril de aforo que está conectado a un contador automático cuyo laso produce en su interior un campo electromagnético el cual actúa para movilizar el contador ante la presencia de un vehículo, este sistema es mucho más moderno que el de la membrana eléctrica que tenía las mismas ventajas pero sufría el mismo defecto de no poder darnos información sobre la composición vehicular aunque se tenía la posibilidad de colocar bucles calibrados continuos cuya calibración estaba con relación al peso, por lo tanto algunos bucles registraban a los vehículos livianos y otros a los pesados.

➤ **Par de Bucles Electromagnéticos.-**

Este tipo de dispositivos se construye en un par de bucles juntos de tal manera que sólo un bucle accione un vehículo liviano y el par de bucles sólo era accionado por un vehículo pesado por la longitud y peso esta modificación permite obtener información sobre el volumen con composición de tráfico.

### ➤ **Sensores**

El avance tecnológico de la electrónica y la informática ha permitido que se pueda usar sensores de diversos tipos que actúan ante la presencia de los vehículos que son registrados por contadores automáticos que están ya conectados a un sistema informático la posibilidad de los videos de los rayos láser, radares y programas informáticos permite con todo este sistema no sólo registrar la cantidad de vehículos que pasa por una sección sino información sobre la composición vehicular intervalos entre vehículos densidad, velocidad, etc. Por supuesto estas grandes centrales de tráfico tienen una inversión económica muy alta que no es accesible en todas las ciudades.

Cualquiera sea la forma de realizar el aforo lo que debe interesar al ingeniero de tráfico es que obtenga una información lo más cierta posible y que sea la mínima necesaria para realizar sus estudios.

#### **2.3.1.1.2. Manual**

Los aforos manuales son realizados definiéndose puntos en la carretera o calle estudiada sobre la sección transversal de la misma, por la cual se debe realizar el conteo de vehículos que pasan en tiempos determinados horarios o diarios.

Para ello es necesario que el aforador tenga definido si el aforo solamente va a tener el objetivo de determinar cantidad o además de ello se va a determinar la composición vehicular o alguna característica especial que se requiera de la forma como por ejemplo la cantidad de vehículos públicos.

Para realizar un aforo manualmente se debe preparar una planilla de campo y un esquema de gabinete.

La periodicidad con que se debe realizarse los estudios, son estudios determinados o puntuales de un proyecto o son parte de un control permanente de tráfico lo ideal es estudiar los volúmenes de tráfico todos los días del año, y en los días por lo menos 12 a 15 horas al día, sin embargo esto implica tener un buen equipo de aforadores y procesadores de datos lo

cual no siempre es disponible en las instituciones relacionadas a este tema, por ello se establece que para estudios cortos debe ser de 3 horas del día generalmente horas pico, horas críticas y durante tres meses, si se quiere acortar la duración de los registros a un mes se tendrá que aumentar las horas y días de aforo.

La ventaja de un registro manual está en que no sólo se puede hacer un conteo de los vehículos numérico sino con composición vehicular e inclusive con características especiales para un proyecto especial no es posible para un aforo automático.

La desventaja es que se requiere mucho personal y por lo tanto mayor costo económico lo que restringe el uso del trabajo de aforo manual.

### **2.3.1.2. Período de Aforo**

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

- Permanente
- Periódicos
- De tiempo específico

#### **➤ Aforos Permanentes**

Son aquellos que se realizan generalmente con contadores automáticos que han sido instalados en una sección de la carretera que se van registrando diariamente los volúmenes para luego procesarlos, tener las variaciones semanales, mensuales y anuales.

Este tipo de recuento sólo es factible en aquellas carreteras de mucha importancia por ejemplo en la actualidad debido a la tendencia de tener carreteras en concesión se hace necesario el registro permanente de los volúmenes de tráfico.

Esto obviamente obliga a tener un presupuesto destinado al registro de valores de tráfico.

### ➤ **Aforos Periódicos**

Cuando no se puede disponer de equipo permanente para toda la red vial que realice el trabajo del recuento de volúmenes.

Se debe establecer que es muy útil realizar recuentos periódicos en ciertas épocas del año que nos den valores contables y significativos cuya correlación nos permita adoptar como valores promedio del año.

Estos recuentos periódicos se realizan en ciertas épocas del año y a lo sumo tienen un tiempo de un mes y por un máximo de tres veces al año.

### ➤ **Aforos de Tiempo Específico**

Son aquellos que se realizan en un determinado sector del trazo urbano generalmente entre 5 y 30 días las 24 horas y proyectarlas a volúmenes diarios mensuales y anuales.

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

### **2.3.2. Volumen**

Se llama volumen de tráfico al número o cantidad de vehículos que pasa a través de una sección fija de la vía en un tiempo menor a una hora, se puede expresar en unidades de [veh/hora] teniendo en cuenta que no representa exactamente el número de vehículos por hora.

Los volúmenes de tránsito para su cálculo están clasificados de acuerdo al lapso de tiempo determinado, este lapso puede ser un año, un mes, una semana, un día o una hora; esta medición puede realizarse en cualquier vía en forma manual o automática.

Los volúmenes más importantes son:

### **2.3.2.1. Tránsito Promedio Horario (TPH)**

Es el número de vehículos que pasan por un punto determinado cada hora de las 24 horas del día. Si este registro corresponde a un año será el Tránsito Promedio Horario Anual (TPHA).

Los volúmenes horarios a diferencia de los volúmenes diarios dentro de los estudios de ingeniería de tráfico son más significativos porque nos muestran las características de circulación en cuanto al número de vehículos en cada hora correspondiente a un día y en todo el transcurso de un año, eso permite trabajar estadísticamente y formar polígonos de frecuencia, histogramas, determinar horas pico, determinar variaciones horarias, etc.

Si bien es más importante tener información del tráfico horario, también es cierto que resulta más costoso obtener esta información debiendo tenerse mayor personal, mayores puntos de aforo y por lo tanto un mayor costo.

### **2.3.2.2. Tránsito Promedio Diario (TPD)**

Es el número de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera o calle en un período de tiempo, si ese período de tiempo es de un día o 24 horas el volumen determinado recibe el nombre de Tránsito Diario, si ese conteo o aforo es realizado por varios días el valor promedio es conocido como Tránsito Promedio Diario (TPD).

Normalmente se estipula que un estudio de volúmenes de tráfico completo debe tener un tiempo de duración de registro de un año, por lo tanto los valores de Tránsito Diario que se obtengan serán de Tránsito Promedio Diario Anual (TPDA).

### 2.3.3. Velocidad

Es la relación entre la distancia recorrida por un vehículo y el tiempo que tarda en recorrer dicha distancia.; es decir, para un vehículo representa su relación de movimiento, generalmente expresada en (km/h). La velocidad en un tramo de carretera varía mucho de un vehículo a otro. Incluso cuando se estudia la velocidad de un solo vehículo se ve que ésta no permanece constante aunque el conductor pretenda mantenerla fija. Por otra parte es más interesante estudiar valores medios de la velocidad que seguir con detalle la evolución de los distintos vehículos que circulan por un tramo; estos valores medios pueden obtenerse de distintas formas y con resultados diferentes.

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

Donde:

v = velocidad constante (km/hr)

d = distancia recorrida (km)

t = tiempo de recorrido (hr)

### Tipos de Velocidad

En este mismo concepto existen diferente tipos de velocidades entre las cuales, las más importantes son:

#### 2.3.3.1. Velocidad de Punto

Conocida también como velocidad instantánea, es la velocidad de un vehículo a su paso por un punto específico de una vía. Esta velocidad está considerado a flujo libre, es decir, que un vehículo para imprimir una velocidad no tiene influencia de ningún elemento externo y por ello su comportamiento es independiente. Para medir esta velocidad se utiliza una sección de calle o carretera definida por una distancia fija que puede variar entre 25, 50, 70, 100 metros,

en cuyo espacio se mide el tiempo que tarda el vehículo en recorrer libre de toda interferencia externa.

La velocidad de punto no es una velocidad de diseño ni en calles ni en carreteras, pero es una velocidad cuya referencia nos da las velocidades máximas posibles que se puedan presentar tanto en calles como en carreteras.

La relación que nos permite determinar la velocidad de un punto es la siguiente:

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

Donde:

VP = Velocidad de Punto (m/s)

d = Distancia de recorrido (m)

t = Tiempo de recorrido (s)

### 2.3.3.2. Velocidad de Recorrido Total

Esta velocidad no es más que el cociente que resulta de dividir la distancia recorrida por un vehículo entre el tiempo total que se empleó en recorrer dicha distancia. En ese tiempo están incluidos todos los tiempos en que el vehículo se haya detenido ante la presencia de agentes externos o demoras operacionales como; reducciones de velocidad, paradas por la vía, el tránsito y los dispositivos de control. No incluye aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc. Esta velocidad sirve principalmente para comparar condiciones de fluidez del tráfico.

$$VR = \frac{dr}{(tc + td)}$$

Donde:

VR = velocidad de recorrido total (km/hr)

tc = tiempo de circulación ( hr )

td = tiempo de demoras ( hr )

dr = distancia de recorrido total (km )

### 2.3.3.3. Velocidad de Crucero

La velocidad de crucero también es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo efectivamente en movimiento. Del tiempo de recorrido se deberán descontar todos aquellos tiempos en que el vehículo se hubiera detenido por cualquier causa.

Esta velocidad de crucero permite hacer una comparación y análisis con las velocidades de punto ya que ambos tienen la misma concepción, son velocidades de vehículos en movimiento, su diferencia está que el uno tiene un entorno de flujo libre y el otro tiene un entorno de vehículos en flujo de circulación.

La relación que permite determinar la velocidad de crucero es la siguiente:

$$VC = \frac{dr}{tc}$$

Donde:

VC= Velocidad de crucero

dr = Distancia de recorrido total

tc = Tiempo de circulación

### 2.3.3.4. Velocidad Directriz

Llamada también velocidad de proyecto o velocidad de diseño, es aquella a la cual, un conductor de habilidad media con razonable atención puede recorrer el camino con entera seguridad, es decir, es aquella velocidad máxima segura que puede mantenerse en un tramo de una vía. La velocidad de directriz sirve para relacionar las características geométricas de una carretera como el alineamiento horizontal, vertical, distancia de visibilidad, de frenado, peraltes, radios de curvatura, etc.

### **2.3.3.5. Velocidad de Circulación Media**

Es aquella que se mide a objeto de determinar la velocidad de circulación media de tramos de carretera o conjunto de calles de un área urbana, cuyo comportamiento respecto a la velocidad se quiera determinar.

### **2.3.3.6. Velocidad Percentil**

La velocidad percentil es una velocidad fraccionaria que se la determina de cualquier velocidad anterior, de manera estadística tomando fractiles o percentiles, los más usados son 75%, 80%, 85%, cuyo valor nos refleja con mayor certeza la velocidad medida o determinada.

### **2.3.4. Densidad**

Se define la concentración o densidad de tráfico como el número de vehículos que ocupan una longitud específica de una vía en un momento dado. Por lo general se expresa en unidades de vehículos por kilómetro (veh/km).

Se puede medir la densidad de tráfico de un tramo de una vía con la ayuda de una fotografía aérea, en la cual se contaría fácilmente las cantidades de vehículos; también es posible calcular la densidad en función de la intensidad y velocidad.

$$I = V * D$$

Donde:

I= intensidad de circulación, en veh/h

V= velocidad media de recorrido, km/h

D= densidad, en veh/km

Está claro que cualquier tramo de vía tiene una densidad máxima, esta situación se da cuando los vehículos están totalmente parados y sin espacios de separación entre ellos; por lo tanto, si se tuviera en el tramo vehículos de una misma longitud, entonces, la densidad o concentración máxima se obtendría como el inverso de la longitud del vehículo.

## 2.4. Capacidad

Se define la capacidad vehicular como el número de vehículos máximo que pasa por una sección de una calle o carretera en un período de tiempo que puede ser normalmente horario o diario y que razonablemente puede esperarse que pase por dicho tramo de camino o calle.

El intervalo de tiempo utilizado en la mayoría de los análisis de capacidad es de 15 minutos, debido a que se considera que este es el intervalo más corto durante el cual puede presentarse el flujo estable.

### 2.4.1. Capacidad en Vías Interrumpidas

Cuando se habla de capacidad en vías interrumpidas, se refiere específicamente a la capacidad de calles o arterias dentro de una ciudad. Estas vías poseen características de circulación que obedecen a interrupciones en períodos de tiempo o en longitudes determinadas dadas por las intersecciones, las cuales originan interrupción de tráfico.

En la determinación de capacidad se tiene como premisa que las intersecciones serán semaforizadas o en su caso accionadas por un agente de tráfico que regula la circulación.

La determinación de la capacidad en este tipo de vías está dada por una capacidad teórica, una capacidad práctica y una capacidad real en función de factores de reducción.

**Capacidad Básica o Teórica.-** La capacidad Teórica ha sido estudiada en función a condiciones ideales como ser ancho de carril, visibilidad, velocidad de diseño, ciclo de semáforo, etc. Esas condiciones y tomando en cuenta las diferentes zonas de un área urbana la forma de estacionamiento cerca de la intersección es que se han establecido ábacos que nos proporcionan una capacidad básica ideal o teórica.

**Capacidad Práctica.-** La Capacidad Práctica es un concepto de que por diferentes razones no siempre se van a mantener las condiciones ideales en la circulación por lo tanto se debe colocar un factor de seguridad de por lo menos el 10 % con referencia a la capacidad teórica.

**Capacidad Real.-** La Capacidad Real es el producto de la capacidad práctica por una serie de factores que reducen la capacidad de una intersección como ser el % de vehículos pesados, los movimientos de giro y las condiciones de estacionamientos cercanos a la intersección.

### **Factores de Influencia**

En la capacidad existen varios factores que influyen y reducen la capacidad de las calles, de entre ellas la mayoría de las normas han hecho énfasis de las tres más importantes que son:

- Vehículos Pesados
- Movimientos de giro (izquierda y derecha)
- Estacionamientos

Entre los externos están las características físicas, tales como la anchura de los carriles, la distancia libre lateral, la anchura de acotamientos, las pendientes, etc.

### **2.4.2. Capacidad de una Rotonda Urbana**

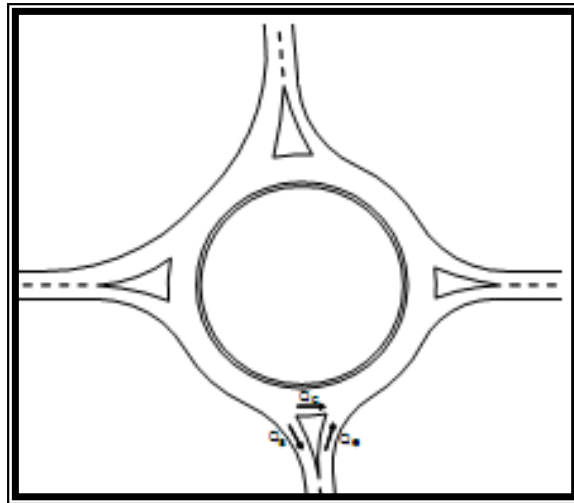
#### **El método CETUR-89 (Francia)**

El CETUR (Centre d'Etudes des Transports Urbains, ahora CERTU) propone un método simplificado para el cálculo de la capacidad de una entrada en una glorieta, preferiblemente en medio urbano, que se inspira en los estudios del CETE d'Aix.

Al parecer ésta es una fórmula particularmente bien adaptada a la estimación de la capacidad de las rotondas compactas con una vía de circulación por entrada y una anchura media para el anillo de circulación (habitualmente utilizadas en medio urbano).

El método CETUR-89 consiste en una mejora de la tradicional regla de los 1500 que indica que para que una entrada de una rotonda funcione correctamente la suma de los tráficos entrante y molesto debe ser inferior a 1500 vehículos por hora.

Para el cálculo de la capacidad de cada entrada, se utiliza la fórmula del CETUR 1989:



**Figura 2.11. Método CETUR-89 (Francia)**

$$Q_e = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

Donde:

$Q_e$ = Es la capacidad de una entrada en vehículos/hora.

$Q_c$ = Es el tráfico que circula por la calzada anular enfrente de la entrada (tráfico molesto), en vehículos/hora.

$Q_s$ = Es el tráfico que sale por el mismo brazo, en vehículos/hora.

## 2.5. Nivel de Servicio

Para medir la calidad del flujo se usa el concepto de Nivel de Servicio. Es una medida cualitativa del efecto que pueden tener en la capacidad muchos factores tales como la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tráfico, la libertad de maniobras, la seguridad, los costos de operación, etc.

A cada nivel de servicio corresponde un Volumen de Servicio, que será el máximo número de vehículos por unidad de tiempo (casi siempre por hora), que pasara mientras se conserve dicho nivel.

De los factores que afectan el nivel de servicio distinguimos los internos y los externos. Los internos son aquellos que corresponden a variaciones en la velocidad, en el volumen, en la composición del tráfico, en el porcentaje de movimientos de entrecruzamientos o direccionales, etc. Entre los externos están las características físicas tales como la anchura de carriles, la distancia libre lateral, la anchura de hombreras, las pendientes, etc.

### 2.5.1. Nivel de Servicio A

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



**Figura 2.12. Nivel de Servicio A**

### 2.5.2. Nivel de Servicio B

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



**Figura 2.13. Nivel de Servicio B**

### 2.5.3. Nivel de Servicio C

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



**Figura 2.14. Nivel de Servicio C**

#### **2.5.4. Nivel de Servicio D**

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



**Figura 2.15. Nivel de Servicio D**

### 2.5.5. Nivel de Servicio E

Representa una operación a menores velocidades que en el nivel de servicio D, con volúmenes que se acercan, a la capacidad del tramo. Al llegar a esta, las velocidades, normalmente pero no siempre, son de cerca de 50 Km/h. El flujo es inestable y pueden ocurrir paradas de duración momentánea.



**Figura 2.16. Nivel de Servicio E**

### 2.5.6. Nivel de Servicio F

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



**Figura 2.17. Nivel de Servicio F**

## **2.6. Semaforización**

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

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

### **2.6.1. Componentes del Semáforo**

Los semáforos vehiculares están constituidos por los siguientes elementos.

#### **➤ Cabeza**

Se denomina cabeza de un semáforo al elemento que contiene las señales luminosas; esta cabeza contiene un número determinado de caras en las diversas direcciones que a su vez contienen a las señales luminosas o focos.

La cabeza normalmente es un armazón metálico hueco que contiene a los reflectores de cada una de las caras y a los cables que están conectados, en algunos casos llevan además unas viseras sobre cada una de las señales luminosas, para evitar el reflejo del sol y mantener una buena visibilidad de la señal.

### ➤ Cara

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

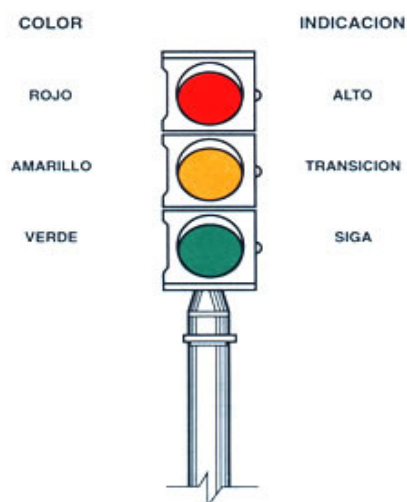
### ➤ Focos

Son lentes ópticos formados cada uno de ellos por una lámpara, un reflector cóncavo para concentrar el haz luminoso en una sola dirección, un vidrio difusor circular de calor y viseras arriba y a los costados eventualmente.

Los focos de cada cara están ubicados en un eje vertical de la siguiente manera; Rojo en la parte superior, por debajo de este se ubica el amarillo o ámbar y por último el verde.

Existen señales adicionales como giros a la izquierda o derecha, paso de peatones; estos pueden ir por debajo de la señal verde o a un costado.

### Colores del Semáforo



**Figura 2.18. Colores del Semáforo**

**Color Rojo,** Significa que tanto los vehículos como los peatones que se encuentran frente a un semáforo con luz roja deberán detenerse y esperar que la luz cambie a color verde antes de proseguir su marcha.

**Color Amarillo,** Significa precaución ya que la luz roja está a punto de encenderse y por lo tanto vehículos y peatones deberán detenerse. El conductor deberá detener su vehículo en forma suave evitando frenar bruscamente.

**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.

### ➤ Postes

Estos son los componentes de sustentación de los semáforos, ayudan a ubicar al semáforo a una altura adecuada para facilitar su visibilidad tanto a los conductores de los vehículos como a los peatones

### Ubicación

De acuerdo a las características físicas de la intersección y al número de carriles que puede presentarse en cada acceso pueden existir varias formas de ubicación de semáforos.

**Semáforos Individuales;** Estos semáforos van ubicados en la entrada de cada acceso a 60 cm. como mínimo del cordón de la acera, cuya altura puede variar de 2.40 – 4.50 m. dependiendo de la visibilidad existente. Si bien desde el punto de vista operacional estos pueden resultar los más eficientes resultan antieconómicos debido a que cada poste soporta una cabeza de semáforo de una sola cara.

**Semáforos con Ménsula Corta;** Cuando la visibilidad en la intersección no permite una buena ubicación del semáforo, se recurre a estructuras metálicas tipo ménsula, que soportan la cabeza del semáforo un poco más al interior de la calzada y por lo tanto es más visible.

***Semáforos con Ménsula Larga;*** Cuando los semáforos van a tener más de una cara y se quiere que estas sean igualmente visibles a cada acceso, se recurre a la utilización de estructuras metálicas tipo ménsula pero que abarquen hasta  $1/3$  a  $2/3$  de la intersección de tal manera que sea visible a todos los accesos, si bien la estructura se encarece un poco más, se equilibra por el número de caras que pueda tener la cabeza del semáforo.

***Semáforos Colgantes;*** Este tipo de semáforos se recomienda en intersecciones en las cuales se va a tener 4 accesos que puedan dar origen a 4 caras de la cabeza del semáforo, que tienen que ser igualmente visibles, para ello se busca un punto que será geométricamente concéntrico en la intersección y se coloca el semáforo soportado por cables que están anclados en las paredes de la intersección.

## **2.6.2. Tipos de Semáforos**

### **Semáforos de Tiempo Fijo**

Se utilizan en intersecciones donde los flujos de tránsito son relativamente estables, que no ocasionen demoras o congestionamientos excesivos. Por su sencillez este tipo de semáforos ha sido hasta ahora el más utilizado en las zonas urbanas, especialmente cuando se emplean varios semáforos próximos entre sí.

Los semáforos de tiempo fijo, tienen una coordinación más precisa con los semáforos adyacentes que en el caso de semáforos accionados por el tránsito, por otro lado, no presentan detectores que informan sobre el número de vehículos que llegan por los accesos. Finalmente el costo del equipo de tiempo fijo es menor que la del equipo accionado por el tránsito y su conservación es más sencilla.

### **Semáforos Accionados por el Tráfico**

Estos semáforos reciben información del número de vehículos que llegan por los accesos a través de detectores que se instalan en dichos accesos. Teniendo en cuenta las intensidades de tráfico el regulador del semáforo decide si debe o no cambiar la fase. Existen limitaciones de

duración máxima y mínima de cada fase para evitar largas esperas, estas duraciones se adaptan automáticamente a las variaciones del tráfico a través del regulador.

Los semáforos accionados por el tráfico son ideales para intersecciones en carreteras.

### **Semáforos con Control Centralizado**

Este tipo de semáforos reciben órdenes de un ordenador central, que es el encargado de controlar todos los semáforos de una zona. Este ordenador recibe información del tráfico por medio de detectores colocados en lugares estratégicos y decide lo que conviene realizar en cada momento. Estos semáforos son utilizados en grandes zonas urbanas.

#### **2.6.3. Términos Básicos o Parámetros de Tiempo**

Ya sea que la distribución de los tiempos en un semáforo se realice por métodos manuales o computacionales, se necesita conocer los principios básicos que la sustentan.

- **Indicación de Señal;** Se refiere al encendido de una de las luces del semáforo o una combinación de varias luces al mismo tiempo.

- **Ciclo o Longitud de Ciclo;** Tiempo necesario para que el disco indicador efectúe una revolución completa o secuencia completa de todas las indicaciones de señal del semáforo.

- **Movimiento;** Maniobra o conjunto de maniobras de un mismo acceso que tienen el derecho de paso simultáneamente y forman una misma fila.

- **Intervalo;** Cualquiera de las diversas divisiones del ciclo, durante la cual no cambian las indicaciones de señal del semáforo.

- **Fase;** Es parte del ciclo asignada a cualquier combinación de uno o más movimientos que reciben simultáneamente el derecho de paso, durante uno o más intervalos. Es la selección y ordenamiento de movimientos simultáneos. Una fase puede significar un solo movimiento

vehicular, un solo movimiento peatonal, o una combinación de movimientos vehiculares y peatonales. Una fase comienza con la pérdida del derecho de paso de los movimientos que entran en conflicto con los que lo ganan. Un movimiento pierde el derecho de paso en el momento de aparecer la indicación amarilla.

- ***Secuencia de Fases***; Orden predeterminado en que ocurren las fases del ciclo.

- ***Reparto***; Porcentaje de la longitud del ciclo asignado a cada una de las diversas fases.

- ***Intervalo de despeje***; Tiempo de exposición en el intervalo amarillo del semáforo que sigue al intervalo verde. Es un aviso de precaución para pasar de una fase a la siguiente.

- ***Intervalo todo rojo***; Tiempo de exposición de una indicación roja para todo el tránsito que se prepara a circular. Es utilizado en la fase que recibe el derecho de paso después del amarillo de la fase que lo pierde, con el fin de dar un tiempo adicional que permita a los vehículos, que pierden el derecho de paso, despejar la intersección antes de que los vehículos, que lo ganan, reciban verde. Se aplica sobre todo en aquellas intersecciones que sean excesivamente anchas. También puede ser utilizado para crear una fase exclusiva para peatones.

- ***Intervalo de cambio de fase***; Intervalo que puede consistir solamente en un intervalo de cambio amarillo o que puede incluir un intervalo adicional de despeje todo rojo.

## **2.7. Señalización**

La señalización es el parámetro de la Ingeniería de Tráfico cuyo objetivo es estudiar, analizar y disponer de señales que coadyuven al ordenamiento vehicular en calles y carreteras.

Las señales son símbolos, figuras y palabras pintadas en tableros colocados en postes que transmiten un mensaje visual a los conductores de vehículos. En vías de dos sentidos, las señales están colocadas a la derecha del sentido de avance de los vehículos y de cara al conductor para ser visibles claramente, sin distraer su atención. En vías de un solo sentido y

con más de un carril, las señales están colocadas a la derecha e izquierda del pavimento y su significado es aplicable a los vehículos que circulan por dichos carriles. Estas señales tienen la característica de ser visibles durante el día y por la reflexión de las luces de los vehículos, también durante la noche.

### **2.7.1. Tipos de Señalización**

La señalización básicamente se divide en señalización vertical y horizontal.

#### **2.7.1.1. Señalización Vertical**

Es aquella que está colocada en postes verticales sobre la superficie del pavimento en lugares adecuadamente ubicados (para una buena visibilidad del conductor) y que sean permanentes en el tiempo.

Por su significado, las señales verticales se clasifican en tres grupos, manteniéndose una igualdad de formas y colores en cada uno de ellos.

#### **Significado de Formas y Colores**

Es fácil diferenciar los grupos de señales por su forma y color. Las formas de las señales son CIRCULARES, CUADRADAS y RECTANGULARES y sus colores son ROJO, AMARILLO, AZUL y VERDE.

Las señales compuestas básicamente por una orla circular roja significan una restricción o prohibición y pertenecen al grupo de las señales RESTRICTIVAS. Las señales de PARE y CEDA EL PASO son las únicas señales restrictivas que tienen forma distinta para resaltar su importancia.

Las señales compuestas básicamente por un cuadrado amarillo en forma de rombo, significan una prevención y pertenecen al grupo de las señales PREVENTIVAS.

Las señales compuestas por un rectángulo significan una información y pertenecen al grupo de las señales INFORMATIVAS. Estas señales tienen dos colores básicos; el color azul que significa información general y el color blanco o verde que significa información de identificación y destinos de las carreteras.

### Señales Restrictivas



**Figura 2.19. Colores de Señales Restrictivas**

Se dividen en señales de advertencia y/o peligro, de restricción y prohibición e indican órdenes, limitaciones o prohibiciones impuestas por leyes y ordenanzas. Su cumplimiento es obligatorio e inexcusable.

Sirven para limitar, obligar o prohibir determinadas situaciones en el tránsito y también para instruir al conductor sobre cómo proceder en uno u otro caso, en el lugar en que estén ubicadas.

Existen dos formas para estas señales: circulares y triangulares (triángulo equilátero invertido). Sin embargo, hay algunas exclusivas, como la de "PARE", cuya forma es un octágono regular de 75 cm. entre sus lados paralelos, la señal de "CEDA EL PASO" es un triángulo equilátero invertido de 80 cm. de lado.

Las señales de reglamentación tienen un fondo de color blanco y franja roja. Cuando están atravesadas por una banda diagonal, PROHIBEN. Cuando no, OBLIGAN o RESTRINGEN.

## Señales Preventivas



**Figura 2.20. Color de Señal Preventiva**

Avisan con antelación sobre la proximidad de una circunstancia o variación de las condiciones de la ruta, que puede resultar sorpresiva o peligrosa para el conductor o los peatones.

No son de carácter obligatorio pero es preciso dejarse guiar por su información para no incurrir en riesgos o comportamientos que atenten nuestra seguridad.

También se les denomina señales genéricas de Prevención y son romboidales, de color amarillo, con una línea negra perimetral y figura también negra.

En algunos países el triángulo equilátero sobre su base, de fondo blanco y línea roja es una señal preventiva que advierte sobre una situación de máximo peligro.

Estas señales están colocadas antes del lugar donde existe peligro para dar tiempo al conductor a su reacción.

## Señales Informativas



**Figura 2.21. Colores de las Señales Informativas**

Este tipo de señales verticales no transmiten órdenes ni previenen sobre irregularidades o riesgo en la vía pública y carecen de consecuencias jurídicas.

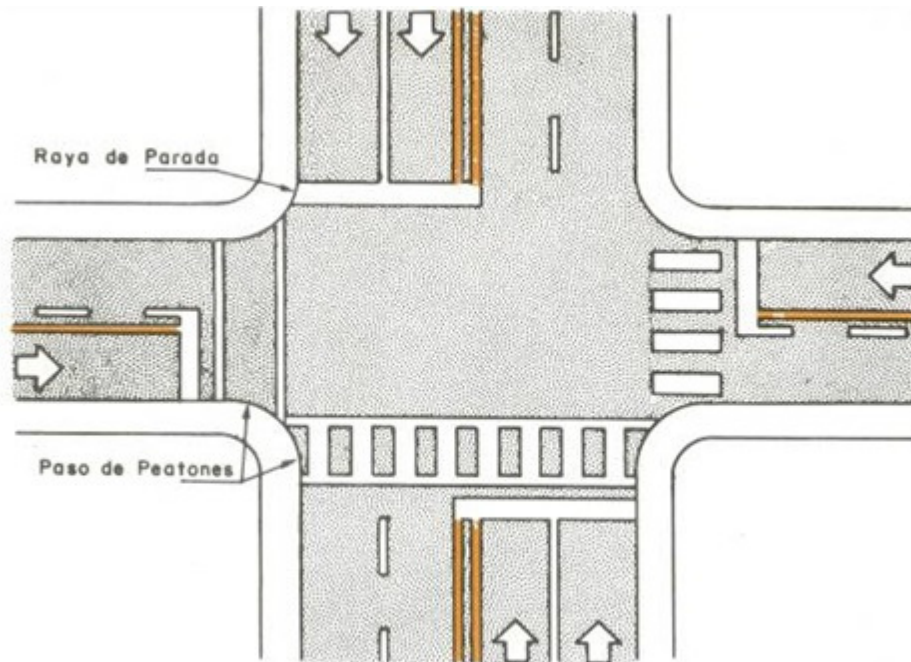
Están destinadas a identificar, orientar y hacer referencia a lugares, servicios o cualquier otra información útil para el viajero. Se colocan al costado de la vía de circulación (verticales) en forma similar a las preventivas en zona rural. La forma de estas señales por lo general es un rectángulo de posiciones y dimensiones variables.

Cuentan con varios fondos. Por ejemplo, el fondo azul se utiliza para señales de carácter institucional, histórico y de servicios. El color blanco como fondo es el que se usa para señales educativas o para anuncios especiales.

### **2.7.1.2. Señalización Horizontal**

Consiste en marcas viales pintadas sobre la superficie del pavimento o con elementos que sobresalen muy poco de este pavimento, de manera que el conductor pueda visualizarlas y que estas sirvan para organizar el flujo vehicular.

Las marcas son rayas, símbolos y letras pintadas sobre la superficie del pavimento y sobre obstáculos que sobresalen de la calzada; sirven para dirigir y orientar a los usuarios que transitan por calles y caminos. Estas marcas tienen la finalidad de indicar ciertos riesgos, peligros y prohibiciones, canalizar el tránsito y complementar las indicaciones de otras señales que controlan el tránsito. Sus características, al igual que las señales las hacen visibles durante el día y la noche, manteniéndose su significado igual en ambos casos.



**Figura 2.22. Ejemplo de Señales Horizontales**

### **Significado de Formas y Colores**

Las marcas se clasifican por su forma y color en tres grupos diferentes:

Las rayas de color amarillo pintadas sobre el pavimento en forma continua, significan una **PROHIBICIÓN**; ningún vehículo deberá rebasar o cruzar estas rayas.

Las rayas de color blanco pintadas sobre el pavimento en forma continua o discontinua significan una **INDICACIÓN**. Los vehículos podrán rebasar o cruzar una raya discontinua en caso de adelantamiento o cambio de carril, debiendo abstenerse de rebasar o cruzar las rayas continuas, excepto cuando estas están colocadas a través de la calzada, indicando una precaución.

Las rayas de color blanco pintadas sobre el pavimento en forma oblicua significan **PELIGRO**. Los vehículos podrán continuar su marcha, pero el conductor deberá tomar precaución para detectar el peligro existente que se aproxima.

Algunas de las marcas que se tiene comúnmente en las calles son de diferentes tipos y tienen diferentes significados; su clasificación es la siguiente:

- **Rayas de Parada;** Las rayas blancas de parada son aquellas que están pintadas en la calzada en forma transversal, y sirven para indicar el lugar donde los vehículos deberán detenerse en el caso de una parada obligatoria anunciada por una señal de PARE o por un semáforo.

- **Rayas de Cruces para Peatones;** Las rayas blancas de cruces para peatones son aquellas que están pintadas en la calzada en forma transversal, y sirven para indicar el lugar destinado al cruce de peatones. La zona destinada al cruce de peatones está limitada por dos rayas blancas que cruzan la calzada de lado a lado, o una serie de rayas juntas conocidas como “Cebra” y una raya de parada que indica el lugar donde los vehículos deben detenerse para ceder el paso a los peatones.

- **Marcas de Estacionamiento Permitido;** Las marcas de estacionamiento permitido son aquellas que están pintadas de color blanco sobre la calzada; su objetivo es delimitar los espacios para cada vehículo en zonas donde el estacionamiento está permitido. Su forma y orientación indican el tipo de posición para el estacionamiento, ya sea en línea o en batería.

- **Marcas de Estacionamiento Prohibido;** Las marcas amarillas de estacionamiento prohibido son aquellas que están pintadas sobre los bordillos de las calzadas, en el costado y parte superior de estos, formando una raya continua a lo largo de la zona donde el estacionamiento está prohibido en todo tiempo, tales como: entradas de vehículos, paradas de colectivos, zonas colindantes con esquinas y otras zonas donde se aplique esta prohibición.

- **Marcas Indicadoras de Peligro;** Las marcas indicadoras de peligro son aquellas que están pintadas sobre obstáculos que sobresalen de la calzada o adyacentes a ella, con el objeto de indicar al conductor la existencia de un peligro que constituye un riesgo para el tránsito. Estas marcas están pintadas sobre la cara del obstáculo o sobre una señal colocada en los obstáculos y están constituidas por rayas inclinadas de color amarillo y negro sucesivamente.

- **Marcas Limitadoras de Isletas;** Las isletas son pequeños espacios que forman parte de la calzada, y sirven para canalizar y separar el tránsito de una intersección. El contorno de estas isletas puede estar definido por un bordillo elevado unos centímetros por encima del pavimento o estar definido mediante rayas pintadas de color blanco sobre la calzada al mismo nivel del pavimento. Los bordillos sirven de barrera para que los vehículos no puedan invadir la zona dentro de una isleta. Las isletas, ya sea con o sin bordillos deben ser respetadas y ningún vehículo puede ingresar a sus áreas.

## CAPÍTULO III

### 3. APLICACIÓN PRÁCTICA

#### 3.1. Ubicación de la Zona de Estudio

El presente estudio se realizó en la rotonda del Barrio “Germán Busch” que está ubicada entre la Avenida Héroes de la Independencia y Avenida Los Sauces. La rotonda se encuentra en una arteria de mucha importancia para la comunicación de la zona alta y el centro de la ciudad de Tarija.



**Figura 3.1. Zona de Estudio**

Para conocer el funcionamiento del tráfico, es necesario realizar estudios y medidas en los accesos de la rotonda, cuyos datos que se obtengan se utilizarán como base de la evaluación y análisis para la regulación del tráfico.

Las principales características que se estudiaron son: Velocidad de Punto, Volumen vehicular, Capacidad, Nivel de Servicio, Semaforización y Señalización.

### 3.2. Determinación de Horas Pico

#### DETERMINACIÓN DE LAS HORAS PICO

ROTONDA UBICADA ENTRE LA AV. HEROES DE LA INDEPENDENCIA Y AV. LOS SAUCES									
Nº	HORA	ACCESO A		ACCESO B		ACCESO C			TOTAL
		GIROS		GIRO	FRENTE	GIROS		FRENTE	
		IZDA.	DCHA.			IZDA.	DCHA.		
		(Veh.)	(Veh.)	(Veh.)	(Veh.)	(Veh.)	(Veh.)	(Veh.)	
1	07:00 A 08:00	480	40	32	212	144	344	356	1608
2	08:00 A 09:00	640	32	20	148	216	404	136	1596
3	09:00 A 10:00	432	24	8	148	164	372	168	1316
4	10:00 A 11:00	380	52	32	220	156	448	240	1528
5	11:00 A 12:00	452	40	28	248	172	392	256	1588
6	12:00 A 13:00	508	52	28	152	152	576	188	1656
7	13:00 A 14:00	248	12	8	116	100	416	144	1044
8	14:00 A 15:00	560	8	12	160	176	376	156	1448
9	15:00 A 16:00	524	40	16	172	216	360	240	1568
10	16:00 A 17:00	460	36	24	108	160	424	172	1384
11	17:00 A 18:00	440	28	20	144	176	380	140	1328
12	18:00 A 19:00	424	24	8	188	232	444	204	1524
13	19:00 A 20:00	472	68	32	268	272	484	296	1892
14	20:00 A 21:00	524	32	28	88	88	648	136	1544
15	21:00 A 22:00	348	32	20	40	72	416	80	1008

Cuadro 3.1. Determinación de Horas Pico

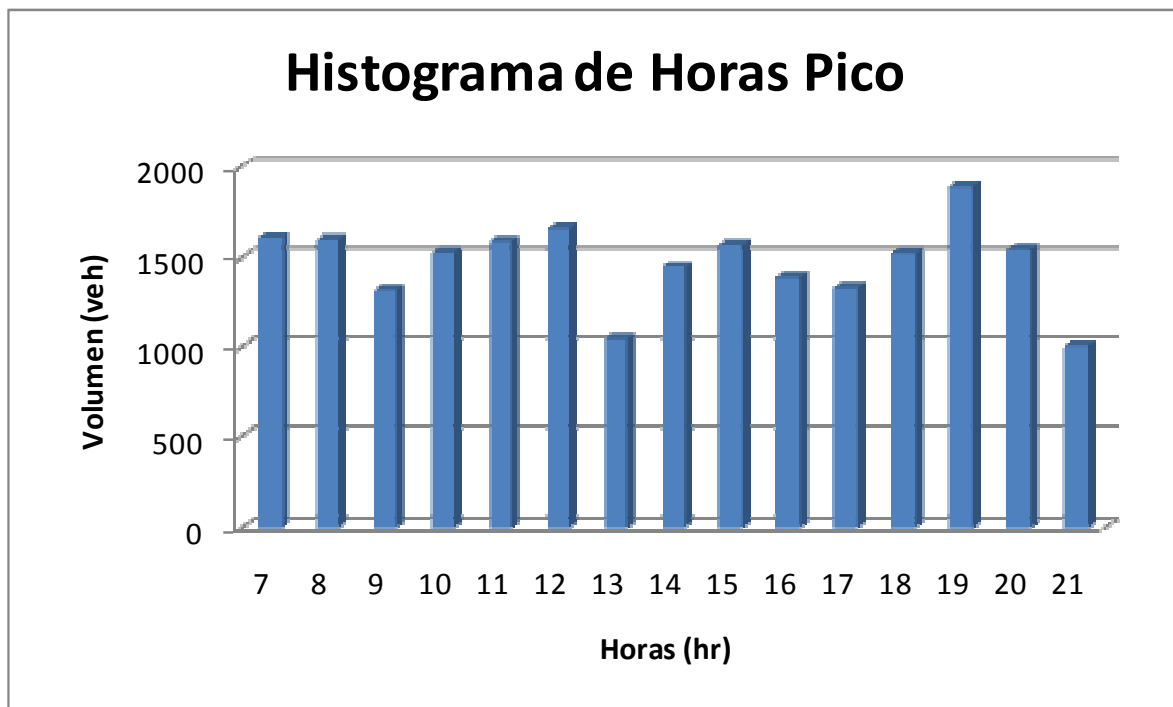


Figura 3.2. Histograma de Horas Pico

Una vez realizado el aforo manual de volúmenes vehiculares obtenemos las siguientes horas pico:

<b>HORAS PICO</b>		
Nº	Hora	Volumen (Veh.)
1	7:00 a 8:00	1608
2	12:00 a 13:00	1656
3	19:00 a 20:00	1892

**Cuadro 3.2. Horas Pico**

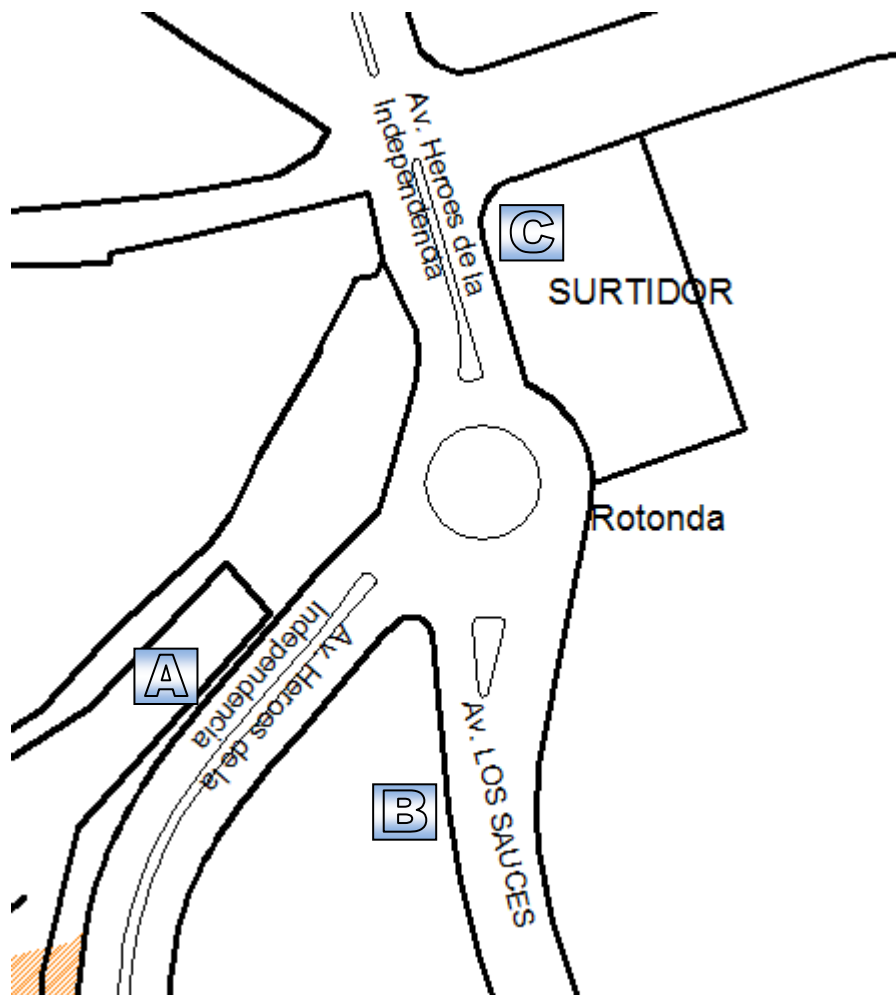
### **3.3. Determinación de Parámetros de Tráfico**

#### **3.3.1 Velocidad de Punto**

El estudio de velocidad de punto que se realizó en la Rotonda, determinó la velocidad de los vehículos en distintos accesos que tiene la Rotonda. Los datos que se requieren para la obtención de la velocidad de punto son dos: la delimitación de la línea base y la toma de tiempos que se emplean los vehículos en recorrer la distancia base.

Para la obtención de la velocidad de punto se empleó el método del cronómetro, debido a que en nuestro medio no se cuentan con los instrumentos necesarios para la aplicación de otros métodos.

En primer lugar se procedió a la ubicación de los puntos de medición, los cuales fueron 3, cada uno en los accesos de la Rotonda, se adoptaron longitudes de líneas bases de 25 m., las cuales se delimitó con marcas de pintura. La toma de los tiempos se realizó con cronómetros con aproximación de centésimas de segundos, en períodos de 15 minutos, en tres horarios al día: a las 7:00 a.m., 12:00 p.m. y a las 19:00 p.m. El estudio tuvo una duración de un mes. Seguidamente presentamos un resumen de la estructura del estudio de velocidad de punto.



**Figura 3.3 Ubicación de Puntos de Aforo de las Velocidades**

El cálculo de las velocidades de punto se realiza de acuerdo con la siguiente fórmula:

$$V = \frac{d}{t} \text{ en (m/s).}$$

O también:

$$V = 3.6 * \frac{d}{t} \text{ en (Km./h)}$$

Donde:

V= Velocidad de punto (m/s)

D= Línea base

T= Tiempo (seg.)

Una vez calculadas las velocidades de los 3 accesos, con las fórmulas anteriormente citadas, se procede a realizar la depuración y calcular el promedio de la velocidad de punto de acuerdo a los períodos de aforo en que se obtuvieron. Posteriormente, con el objeto de tener un valor de velocidad de punto diario se procede a promediar las anteriores velocidades.

### RESUMEN VELOCIDADES PUNTO

**Tabla resumen de los promedios de velocidades punto en la zona de estudio**

ACCESO A													PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL [Km/h]
HORA	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12		
7:00 A 8:00	41.12	42.5	40.37	41.89	42.07	40.24	43.11	40.66	40.07	43.23	42.21	40.8	41.52	40.50
12:00 A 13:00	39.02	38.56	39.14	37.45	39.54	40.02	38.9	38.2	38.63	39.19	38.99	37.97	38.80	
19:00 A 20:00	40.38	41.73	40.79	41.45	40.16	41.76	43.38	40.32	40.23	42.85	40.51	40.49	41.17	

**Cuadro 3.3. Resumen Velocidades de Punto Acceso A**

ACCESO B													PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL [Km/h]
HORA	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12		
7:00 A 8:00	34.78	37.7	34.74	31.96	35.2	35.35	38.67	32.34	34.25	32.79	31.95	33.71	34.45	33.89
12:00 A 13:00	31.51	34.58	31.45	32.54	31.85	32.02	34.85	31.85	31.12	33.39	32.31	30.7	32.35	
19:00 A 20:00	34.9	33.26	36.51	33.93	35.32	37.43	34.3	33.17	36.06	34.87	33.3	35.49	34.88	

**Cuadro 3.4. Resumen Velocidades de Punto Acceso B**

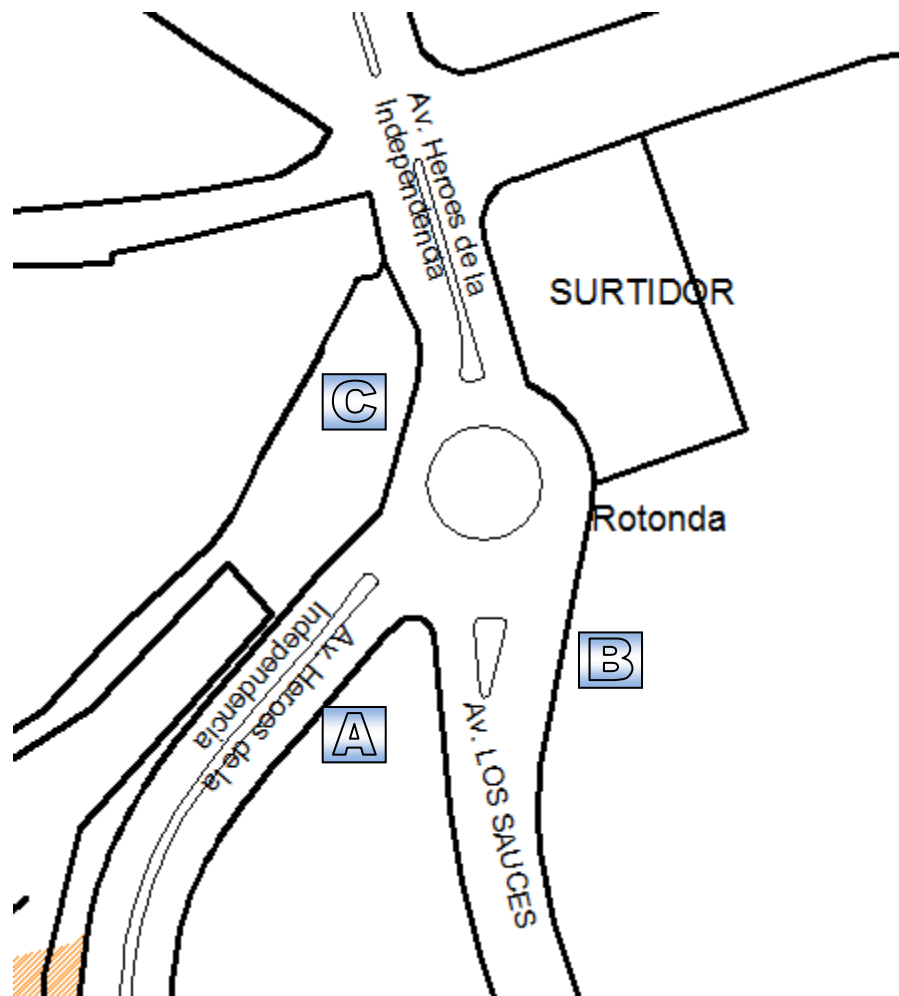
ACCESO C													PROMEDIO	PROMEDIO TOTAL [Km/h]
HORA	Día 1	Día 2	Día 3	Día 4	Día 5	Día 6	Día 7	Día 8	Día 9	Día 10	Día 11	Día 12		
7:00 A 8:00	41.05	40.48	40.41	40.84	41.13	41.23	41.14	40.25	39.77	41.7	41.22	40.18	40.78	42.52
12:00 A 13:00	42.53	45.46	44.42	44.25	43.16	45.59	45.93	42.96	43.75	45.87	43.81	42.89	44.22	
19:00 A 20:00	42.75	44.16	40.22	43.51	43.37	41.15	45.95	42.27	40.22	44.42	42.47	40.24	42.56	

**Cuadro 3.5. Resumen Velocidades de Punto Acceso C**

### 3.3.2. Volumen Vehicular

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

El estudio del volumen vehicular en la Rotonda tuvo como objeto principal el recuento de vehículos en horas pico. El estudio se llevó a cabo en tres horarios al día, a las 7:00 a.m., 12:00 a.m., 19:00 p.m. Para la realización de los conteos se empleó el método manual, debido a la no existencia de contadores automáticos en nuestro medio.



**Figura 3.4. Puntos de Aforos de Volúmenes**

El análisis que se efectúa a los datos de los aforos de volúmenes de tráfico, realizados en los distintos puntos de aforo de la Rotonda, fue para encontrar valores de volúmenes que sean indicadores de las condiciones de operación actuales de los accesos de la Rotonda.

Tabla General de Volúmenes Horarios

HORA AFORO: 07:00 A 8:00 (MAÑANA)	SENTIDO DE CIRCULACIÓN => VEHICULAR	ACCESO A						ACCESO B						ACCESO C														
		SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: RECTO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: RECTO								
		LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS						
LUNES	PÚBLICOS	240	56	0	32	0	0	12	0	0	96	12	0	160	8	0	196	60	0	272	8	0						
	PARTICULARES	204	0	0	8	0	0	4	0	0	52	0	4	24	0	0	96	0	0	60	4	0						
VIERNES	PÚBLICOS	292	60	0	20	0	0	4	0	0	44	8	0	148	4	0	136	32	0	244	4	0						
	PARTICULARES	184	4	8	12	4	4	4	8	0	16	0	4	36	4	0	104	0	0	40	8	8						
SABADO	PÚBLICOS	200	48	0	12	0	0	4	0	0	44	12	0	140	4	0	160	36	0	84	4	0						
	PARTICULARES	96	0	4	8	0	0	0	0	0	16	0	0	32	4	0	116	4	0	40	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	252	68	0	12	0	0	20	0	0	64	12	0	192	12	0	200	60	0	208	4	0						
	PARTICULARES	284	16	0	20	0	0	4	0	0	16	0	4	16	0	0	108	0	0	48	16	8						
VIERNES	PÚBLICOS	272	64	0	32	0	0	12	0	0	96	12	4	168	4	0	144	60	0	188	4	0						
	PARTICULARES	224	4	0	16	0	0	4	0	4	24	0	0	20	12	0	84	0	8	80	4	8						
SABADO	PÚBLICOS	208	40	0	24	0	0	8	0	0	92	8	0	196	0	0	148	32	0	88	4	0						
	PARTICULARES	108	4	0	12	0	0	0	0	0	20	0	4	28	0	0	84	0	0	16	0	4						
LUNES	PÚBLICOS	268	48	0	20	0	0	8	0	0	72	8	0	172	4	0	180	56	0	252	4	0						
	PARTICULARES	216	8	0	12	0	0	4	0	0	24	4	0	20	4	4	116	0	0	44	8	0						
VIERNES	PÚBLICOS	280	76	0	16	0	0	4	0	0	60	4	0	180	4	0	156	48	0	220	4	4						
	PARTICULARES	204	0	4	8	0	0	12	0	0	12	0	4	16	4	0	80	4	4	60	4	0						
SABADO	PÚBLICOS	188	48	0	16	0	0	4	0	0	56	4	0	172	0	0	140	44	0	100	4	0						
	PARTICULARES	92	0	0	8	0	0	0	0	0	24	0	0	20	4	0	120	0	0	48	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	280	72	0	24	0	0	4	0	0	84	4	0	200	8	0	212	64	0	228	4	0						
	PARTICULARES	252	4	0	16	0	0	8	0	0	32	8	4	28	0	0	120	0	4	52	4	4						
VIERNES	PÚBLICOS	260	52	0	20	0	0	4	0	0	76	0	0	156	4	0	132	44	0	212	8	0						
	PARTICULARES	188	4	0	12	0	0	4	0	0	28	4	4	32	8	0	108	4	0	68	4	4						
SABADO	PÚBLICOS	224	36	0	8	0	0	8	0	0	68	4	0	152	4	0	172	40	0	80	4	0						
	PARTICULARES	120	0	0	4	0	0	4	0	0	16	0	0	24	0	0	104	0	0	28	0	0						
VOLUMEN POR SENTIDO	PÚBLICOS	247.00	55.67	0.00	19.67	0.00	0.00	7.67	0.00	0.00	71.00	7.33	0.33	169.67	4.67	0.00	164.67	48.00	0.00	181.33	4.67	0.33						
	PARTICULARES	181.00	3.67	1.33	11.33	0.33	0.33	4.00	0.67	0.33	23.33	1.33	2.33	24.67	3.33	0.33	103.33	1.00	1.33	48.67	4.33	3.00						
VOLUMEN TOTAL SENTIDO		488.67			31.67			12.67			105.67			202.67			318.33			242.33								
VOLUMEN POR ACCESO	TIPO VEHICULOS	LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS			LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS											
	PÚBLICOS	266.67			55.67			0.00			78.67			7.33			0.33			515.67			57.33			0.33		
	PARTICULARES	192.33			4.00			1.67			27.33			2.00			2.67			176.67			8.67			4.67		
VOLUMEN TOTAL ACCESO		520						118						763														

Cuadro 3.6. Volúmenes Horarios en la Mañana (7:00 a 8: 00)








HORA AFORO: 12:00 A 13:00 (MEDIODÍA)	SENTIDO DE CIRCULACIÓN => VEHICULAR	ACCESO A						ACCESO B						ACCESO C														
		SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: RECTO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: RECTO								
		LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS						
LUNES	PÚBLICOS	248	60	0	12	0	0	4	0	0	60	4	0	108	4	0	192	68	0	92	8	0						
	PARTICULARES	196	12	0	20	4	0	16	0	0	48	12	4	40	12	0	280	8	0	72	0	0						
VIERNES	PÚBLICOS	260	52	0	20	0	0	8	0	0	72	8	0	148	0	0	256	68	0	132	4	0						
	PARTICULARES	156	16	0	24	0	0	28	0	0	36	16	8	20	4	0	292	4	4	52	0	4						
SABADO	PÚBLICOS	188	44	0	16	0	0	8	0	0	64	4	0	116	4	0	204	56	0	108	8	0						
	PARTICULARES	176	8	4	28	0	0	16	0	0	48	0	0	40	4	0	260	0	0	72	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	204	52	0	24	0	0	0	0	0	76	4	0	160	4	0	264	80	0	80	4	0						
	PARTICULARES	148	16	0	16	0	0	8	0	0	32	4	4	32	0	4	324	4	4	40	4	0						
VIERNES	PÚBLICOS	220	64	0	24	0	0	12	0	0	40	4	0	80	0	0	252	60	0	112	0	0						
	PARTICULARES	228	4	8	12	0	0	8	0	0	52	0	4	28	4	0	344	4	0	64	4	4						
SABADO	PÚBLICOS	208	48	0	8	0	0	4	0	0	56	4	0	140	0	0	224	48	0	120	4	0						
	PARTICULARES	140	0	0	8	0	0	8	0	0	40	0	0	48	4	0	280	8	0	48	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	212	68	0	20	0	0	8	0	0	80	4	0	152	4	0	220	88	0	96	4	0						
	PARTICULARES	160	0	0	12	0	0	4	0	0	20	8	4	44	4	0	292	4	0	60	4	4						
VIERNES	PÚBLICOS	232	60	0	28	0	0	12	0	0	60	4	0	92	4	0	272	64	0	140	0	0						
	PARTICULARES	188	8	0	16	0	0	4	4	0	44	8	0	20	8	0	300	8	4	68	8	4						
SABADO	PÚBLICOS	240	52	0	12	0	0	4	0	0	52	8	0	92	0	0	252	68	0	100	4	0						
	PARTICULARES	148	0	0	4	0	0	4	0	0	48	0	0	36	0	0	240	0	0	60	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	244	48	0	16	0	0	16	0	0	68	4	0	128	4	0	252	72	0	128	4	0						
	PARTICULARES	180	4	0	24	0	0	4	0	0	24	0	4	36	8	0	284	8	0	68	0	4						
VIERNES	PÚBLICOS	252	68	0	20	0	0	8	0	0	52	8	0	108	0	0	244	52	0	160	4	0						
	PARTICULARES	164	4	0	8	4	0	20	0	4	56	4	4	32	4	0	328	12	0	48	0	0						
SABADO	PÚBLICOS	220	44	0	12	0	0	0	0	0	60	4	0	108	4	0	228	64	0	104	4	0						
	PARTICULARES	160	0	0	16	0	0	4	0	0	44	0	0	40	0	0	220	0	0	32	0	4						
VOLUMEN POR SENTIDO	PÚBLICOS	227.33	55.00	0.00	17.67	0.00	0.00	7.00	0.00	0.00	61.67	5.00	0.00	119.33	2.33	0.00	238.33	65.67	0.00	114.33	4.00	0.00						
	PARTICULARES	170.33	6.00	1.00	15.67	0.67	0.00	10.33	0.33	0.33	41.00	4.33	2.67	34.67	4.33	0.33	287.00	5.00	1.00	57.00	1.67	2.00						
VOLUMEN TOTAL SENTIDO		459.67			34.00			18.00			114.67			161.00			597.00			179.00								
VOLUMEN POR ACCESO	TIPO VEHICULOS	LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS			LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS											
	PÚBLICOS	245.00			55.00			0.00			68.67			5.00			0.00			472.00			72.00			0.00		
PARTICULARES		186.00			6.67			1.00			51.33			4.67			3.00			378.67			11.00			3.33		
VOLUMEN TOTAL ACCESO		493						132						937														

Cuadro 3.7. Volúmenes Horarios al Medio Día (12:00 a 13:00)

HORA AFORO: 19:00 A 20:00 (NOCHE)	SENTIDO DE CIRCULACIÓN => VEHICULAR	ACCESO A						ACCESO B						ACCESO C														
		SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: RECTO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: RECTO								
		LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS						
LUNES	PÚBLICOS	256	48	0	12	0	0	4	0	0	64	8	0	156	0	4	240	64	0	160	8	0						
	PARTICULARES	188	8	0	20	0	0	8	0	0	52	0	0	52	0	0	216	4	0	120	4	0						
VIERNES	PÚBLICOS	256	52	0	36	0	0	4	0	0	104	4	0	132	0	0	204	56	0	216	4	0						
	PARTICULARES	156	8	4	16	0	0	12	0	0	44	4	4	56	0	0	252	8	0	92	0	4						
SABADO	PÚBLICOS	228	36	0	8	0	0	8	0	0	64	4	0	176	0	0	200	32	0	72	4	0						
	PARTICULARES	112	0	0	12	0	0	4	0	0	36	0	0	44	0	0	232	0	0	24	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	216	44	0	16	0	0	28	0	0	80	8	0	76	0	0	216	56	0	208	8	0						
	PARTICULARES	164	4	0	16	0	0	16	0	4	64	0	0	28	0	4	168	4	4	52	0	0						
VIERNES	PÚBLICOS	268	44	0	24	0	0	24	0	0	104	4	0	152	0	0	196	52	0	268	8	0						
	PARTICULARES	124	4	0	28	0	0	16	0	0	52	0	4	44	0	0	216	8	4	88	4	0						
SABADO	PÚBLICOS	216	40	0	12	0	0	8	0	0	68	8	0	168	0	0	212	40	0	80	8	0						
	PARTICULARES	120	0	0	12	0	0	8	0	0	44	0	0	48	4	0	240	0	0	28	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	240	60	0	12	0	0	8	0	0	72	4	0	92	0	0	220	48	0	180	4	0						
	PARTICULARES	212	4	0	24	0	0	4	0	0	40	4	4	36	4	0	228	8	0	108	4	4						
VIERNES	PÚBLICOS	228	48	0	28	0	0	20	0	0	84	8	0	160	0	0	216	60	0	224	0	0						
	PARTICULARES	180	0	0	8	4	0	12	0	0	56	4	4	52	0	0	264	4	4	100	4	4						
SABADO	PÚBLICOS	204	40	0	16	0	0	8	0	0	56	4	0	152	0	0	228	36	0	64	4	0						
	PARTICULARES	108	0	0	12	0	0	4	0	0	32	0	0	44	4	0	220	0	0	24	0	0						
LUNES	PÚBLICOS	232	68	0	28	0	0	12	0	0	92	8	0	108	0	0	228	72	0	196	8	0						
	PARTICULARES	156	8	0	12	0	0	8	0	0	32	12	0	44	0	0	180	4	4	84	4	0						
VIERNES	PÚBLICOS	212	52	0	20	0	0	4	0	0	68	4	0	140	0	0	188	64	0	252	4	0						
	PARTICULARES	204	4	4	24	0	0	16	0	4	48	4	4	48	4	0	244	4	0	84	0	4						
SABADO	PÚBLICOS	240	48	0	8	0	0	4	0	0	72	4	0	124	4	0	196	40	0	88	4	0						
	PARTICULARES	128	8	0	4	0	0	4	0	0	48	0	0	52	4	0	204	0	0	32	0	0						
VOLUMEN POR SENTIDO	PÚBLICOS	233.00	48.33	0.00	18.33	0.00	0.00	11.00	0.00	0.00	77.33	5.67	0.00	136.33	0.33	0.33	212.00	51.67	0.00	167.33	5.33	0.00						
	PARTICULARES	154.33	4.00	0.67	15.67	0.33	0.00	9.33	0.00	0.67	45.67	2.33	1.67	45.67	1.67	0.33	222.00	3.67	1.33	69.67	1.67	1.33						
VOLUMEN TOTAL SENTIDO		440.33			34.33			21.00			132.67			184.67			490.67			245.33								
VOLUMEN POR ACCESO	TIPO VEHICULOS	LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS			LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS											
	PÚBLICOS	251.33			48.33			0.00			88.33			5.67			0.00			515.67			57.33			0.33		
	PARTICULARES	170.00			4.33			0.67			55.00			2.33			2.33			337.33			7.00			3.00		
VOLUMEN TOTAL ACCESO		474						153						920														

Cuadro 3.8. Volúmenes Horarios en la Noche (19:00 a 20:00)

## Volúmenes Totales

TOTAL	SENTIDO DE CIRCULACIÓN => VEHICULAR	ACCESO A						ACCESO B						ACCESO C														
		SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: RECTO			SENTIDO: GIRO IZQUIERDO			SENTIDO: GIRO DERECHO			SENTIDO: RECTO								
																												
TIPO DE VEHICULO	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS	LIVIANOS	MEDIANOS	PESADOS							
VOLUMEN POR SENTIDO	PÚBLICOS	235.78	53.00	0.00	18.56	0.00	0.00	8.56	0.00	0.00	70.00	6.00	0.11	141.78	2.44	0.11	205.00	55.11	0.00	154.33	4.67	0.11						
	PARTICULARES	168.56	4.56	1.00	14.22	0.44	0.11	7.89	0.33	0.44	36.67	2.67	2.22	35.00	3.11	0.33	204.11	3.22	1.22	58.44	2.56	2.11						
% VOLUMEN POR SENTIDO	PÚBLICOS	50.94	11.45	0.00	55.67	0.00	0.00	49.68	0.00	0.00	59.49	5.10	0.09	77.57	1.34	0.06	43.74	11.76	0.00	69.45	2.10	0.05						
	PARTICULARES	36.41	0.98	0.22	42.67	1.33	0.33	45.81	1.94	2.58	31.16	2.27	1.89	19.15	1.70	0.18	43.55	0.69	0.26	229.77	10.05	8.30						
<b>VOLUMEN TOTAL SENTIDO</b>		462.89			33.33			17.22			117.67			182.78			468.67			222.22								
<b>% VOLUMEN TOTAL SENTIDO</b>		93.28			6.72			12.77			87.23			20.92			53.64			25.44								
VOLUMEN POR ACCESO	TIPO DE VEHICULO	LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS			LIVIANOS			MEDIANOS			PESADOS			LIVIANOS			MEDIANO			PESADOS		
	PÚBLICOS	254.33			53.00			0.00			78.56			6.00			0.11			501.11			62.22			0.22		
	PARTICULARES	182.78			5.00			1.11			44.56			3.00			2.67			297.56			8.89			3.67		
% VOLUMEN POR ACCESO	PÚBLICOS	51.25			10.68			0.00			58.24			4.45			0.08			57.36			7.12			0.03		
	PARTICULARES	36.83			1.01			0.22			33.03			2.22			1.98			34.06			1.02			0.42		
<b>VOLUMEN TOTAL ACCESO EN LA INTERSECCION</b>		496						134						873														

**Cuadro 3.9. Volúmenes Totales Rotonda Ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces**

### 3.3.3. Capacidad y Nivel de Servicio

El estudio de la capacidad de los accesos de la Rotonda está basado en un análisis comparativo entre el volumen de tráfico que circula por cada vía y el volumen de servicio de la misma, lo cual nos permite determinar el nivel de servicio a que está operando y poder establecer la fecha probable en que la vía quedará saturada.

Para el cálculo de la capacidad y de los niveles de servicio se cuenta con los siguientes ábacos:

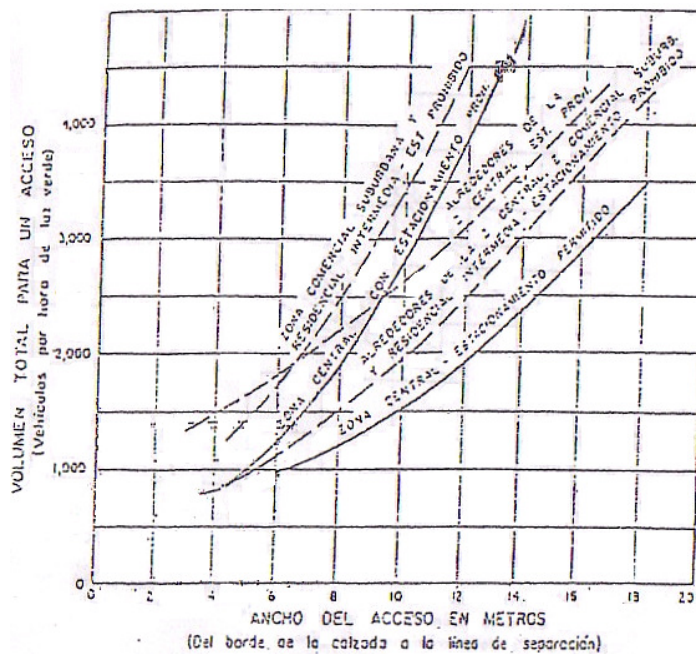


Figura 3.5. Ábaco para el Cálculo de la Capacidad

NIVELES DE SERVICIO Y VOLÚMENES DE SERVICIO MÁXIMOS PARA ENTRADAS DE INTERSECCIONES AISLADAS INDEPENDIENTES		
NIVEL DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE TRANSITO	FACTOR DE CARGA
A	Flujo Libre	0,0
B	Flujo Estable	≤ 0,10
C	Flujo Estable	≤ 0,30
D	Próximo al Flujo Inestable	≤ 0,70
E	Flujo Inestable	≤ 1,0
F	Flujo Forzado	-b

Cuadro 3.10. Nivel de Servicio

## Cálculo de la Capacidad

ROTONDA UBICADA ENTRE LA AV. HEROES DE LA INDEPENDENCIA Y AV. LOS SAUCES

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD EN LOS ACCESOS DE LA ROTONDA

DATOS	ACCESO A	ACCESO B	ACCESO C
% GIRO IZQUIERDA (GI)	93.28	12.77	20.92
% GIRO DERECHA (GD)	6.72	0.00	53.64
% RECTO	0.00	87.23	25.44
% VEHÍCULOS PESADOS (VP)	0.22	2.06	0.45
% VEHÍCULOS MEDIANOS (VM)	11.69	6.67	8.14
% VEHÍCULOS LIVIANOS	88.09	91.27	91.42
% VEHÍCULOS PÚBLICOS	61.93	62.77	64.50
% VEHÍCULOS PARTICULARES	38.07	37.23	35.50
VOLUMEN V EN EL ACCESO (Veh/h)	496	134	873
ANCHO DE CARRIL (m)	7.50	8.00	7.50
PARADAS ANTES INTERSECCIÓN	NO	NO	SI
PARADAS DESPUES INTERSECCIÓN	SI	SI	SI
ESTACIONAMIENTO PERMITIDO	NO	NO	NO
ZONA	INTERMEDIA	INTERMEDIA	INTERMEDIA
NUMERO DE SENTIDOS	1	1	1
NUMERO DE CARRILES EN EL ACCESO	2	2	2

Cuadro 3.11. Datos para Cálculo de la Capacidad en los Accesos

FÓRMULAS PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD

CAPACIDAD REAL	CAPACIDAD PRÁCTICA	FACTOR DE VP	FACTOR DE GI	FACTOR DE GD
$C_{Real} = C_{Pract} \cdot f_{Red}$	$C_{Pract} = C_{Teo} \cdot 0.9 \cdot f_P \cdot f_{VP} \cdot f_{GI} \cdot f_{GD}$	$f_{VP} = 1 - \frac{(\%VP - 10)}{100}$	$f_{GI} = 1 - \frac{(\%GI - 10)}{100}$	$f_{GD} = 1 - \frac{(\%GD - 10)}{100} \cdot 0.5$

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD EN LOS ACCESOS

CAPACIDAD DEL LOS ACCESOS	ACCESO	CAPACIDAD IDEAL	CAPACIDAD PRÁCTICA	CAPACIDAD REAL	FACTOR DE PARADAS ANTES INT.	FACTOR DE PARADAS DESP. INT.	FACTOR GIRO IZQUIERDA	FACTOR GIRO DERECHA	FACTOR DE VEH. PESADOS
1227	A	2100	1890	1360.80	1.000	0.900	0.800	1.000	1.000
	B	2200	1980	1732.68	1.000	0.900	0.972	1.000	1.000
	C	2100	1890	1227.34	0.900	0.900	0.891	0.900	1.000

## Cálculo del Nivel de Servicio

CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

$$NS = \frac{V}{C_{REAL}}$$

NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA ENTRADAS DE INTERSECCIONES AISLADAS INDEPENDIENTES		
NIVEL DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE TRANSITO	FACTOR DE CARGA
A	Flujo Libre	0,0
B	Flujo Estable	? 0,10
C	Flujo Estable	? 0,30
D	Próximo al Flujo Inestable	? 0,70
E	Flujo Inestable	? 1,0
F	Flujo Forzado	-b

**Cuadro 3.12. Niveles de Servicio**

ACCESO	VOLUMEN	CAPACIDAD	NIVEL DE SERVICIO	NS	NIVEL DE SERVICIO DE LOS ACCESOS
A	496	1360	0.365	D	<b>E</b>
B	134	1732	0.077	B	
C	873	1227	0.711	E	

## Capacidad de una Rotonda Urbana

### El método CETUR-89 (Francia)

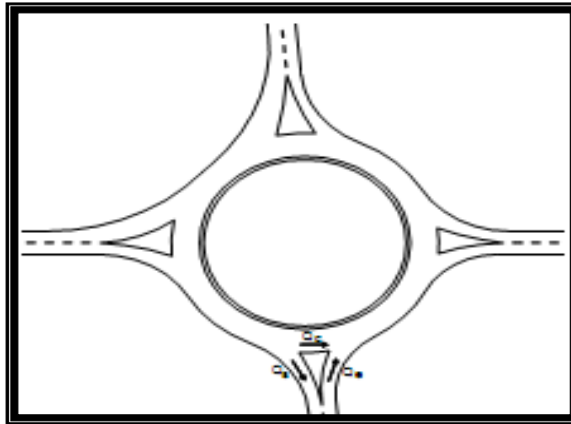
El CETUR (Centre d'Etudes des Transports Urbains, ahora CERTU) propone un método simplificado para el cálculo de la capacidad de una entrada en una glorieta, preferiblemente en medio urbano, que se inspira en los estudios del CETE d'Aix.

Al parecer ésta es una fórmula particularmente bien adaptada a la estimación de la capacidad de las rotondas compactas con una vía de circulación por entrada y una anchura media para el anillo de circulación (habitualmente utilizadas en medio urbano).

El método CETUR-89 consiste en una mejora de la tradicional regla de los 1500 que indica que para que una entrada de una rotonda funcione correctamente la suma de los tráficos entrante y molesto debe ser inferior a 1500 vehículos por hora.

## CALCULOS DE LA CAPACIDAD DE LA ROTONDA

Para el cálculo de la capacidad de cada entrada, se utiliza la fórmula del CETUR 1989:



$$Q_e = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

Donde:

$Q_e$  = es la capacidad de una entrada en vehículos/hora

$Q_c$  = es el tráfico que circula por la calzada anular enfrente de la entrada (tráfico molesto), en vehículos/hora

$Q_s$  = es el tráfico que sale por el mismo brazo, en Vehículos/hora.

### ACCESO A

Datos:

$$Q_c = 405.00$$

$$Q_s = 485.89$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (405 + 0,2 \cdot 485.89)$$

$$Q_e = 1082 < 1500 \text{ O.K.!!!}$$

### ACCESO B

Datos:

$$Q_c = 645.67$$

$$Q_s = 255.56$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (645.67 + 0,2 \cdot 255.56)$$

$$Q_e = 919 < 1500 \text{ O.K.!!!}$$

### ACCESO C

Datos:

$$Q_c = 17.22$$

$$Q_s = 763.33$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (Q_c + 0,2Q_s)$$

$$Q_e = 1500 - 5/6 (17.22 + 0,2 \cdot 763.33)$$

$$Q_e = 1358 < 1500 \text{ O.K.!!!}$$

### **3.3.4. SemafORIZACIÓN**

#### **Determinación de los Tiempos del Semáforo**

Para asegurar un correcto funcionamiento de los semáforos hay que resolver dos problemas principales. En primer lugar, para cada semáforo hay que determinar la duración de ciclo y de cada una de las fases y en segundo lugar cuando existen varios semáforos próximos, es necesario coordinar su funcionamiento para evitar en lo posible que los vehículos se vean obligados a detenerse en los distintos semáforos sucesivos.

La duración de las fases verdes debe ser suficientemente larga como para permitir a un vehículo ponerse en movimiento y atravesar la intersección, por lo que no deberían emplearse fases verdes de menos de 7 segundos. La fase roja no debe ser excesivamente larga para evitar que alguno de los vehículos que esperan se impacienten e intenten cruzar. Por ello no deberían sobrepasarse los 100 segundos de una fase roja. En cuanto al período de luz ámbar, tiene como finalidad permitir que los vehículos que no tienen tiempo para pararse al encenderse la luz roja puedan atravesar la intersección antes de que empiecen a moverse los vehículos en los otros accesos. Suele dársele una duración de 3 a 5 segundos, ya que no conviene que sea muy largo para evitar que los conductores intenten pasar acelerando al máximo.

En una intersección, el flujo total de los vehículos que llega a cada uno de sus accesos debe ser dividido en diferentes fases de movimiento, en las cuales se efectúa un desplazamiento específico de vehículos; estas fases se calculan cuando se instalan semáforos de tiempos fijos la cual consta de un tiempo de ciclo, el cual debe distribuirse entre la fase verde y los períodos de transición.

Para obtener un mínimo de demoras, cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos. Así se logrará admitir un mayor volumen de vehículos en la intersección.

Este estudio contará con dos fases la cual en la fase 1 tendrá el movimiento del acceso A y la fase 2 tendrá los movimientos simultáneos de los accesos B y C.

### Factor de Ajuste de Vehículos Pesados

Si todos los vehículos que salen de una intersección con semáforos son automóviles que continúan de frente, se tendrían las tasas máximas de flujo, a intervalos aproximadamente iguales. Sin embargo, en la mayoría de los casos la situación es más compleja por la presencia de vehículos pesados y movimientos hacia la izquierda y hacia la derecha. Para tener en cuenta estos aspectos, es necesario introducir factores de equivalencia. El factor de equivalencia por efecto de vehículos pesados, se calcula con la siguiente expresión:

$$f_{vp} = \frac{100}{100 + P_C(E_C - 1) + P_B(E_B - 1) + P_R(E_R - 1)}$$

Donde:

$f_{vp}$  = Factor de ajuste por efecto de vehículos pesados

$P_C$  = Porcentaje de camiones

$P_B$  = Porcentaje de autobuses

$P_R$  = Porcentaje de vehículos de recreo

$E_C$  = Automóviles equivalentes a un camión

$E_B$  = Automóviles equivalentes a un autobús

$E_R$  = Automóviles equivalentes a un vehículo recreativo

Los vehículos pesados o comerciales (camiones y autobuses), por su mayor longitud y menor poder de aceleración que los automóviles, necesitan más tiempo para despejar la intersección. Los automóviles equivalentes comúnmente utilizados tanto para camiones,  $E_C$ , como para autobuses,  $E_B$ , varían de 1.4 a 1.6 tomándose un valor medio de 1.5 que supone accesos con predominio de camiones livianos o medianos.

Como resultado de las aplicaciones de la fórmula anteriormente mencionada se obtuvieron los siguientes resultados:

<b>FACTOR DE VEHÍCULOS PESADOS</b>	
<b>ACCESO</b>	<b>Fvp</b>
A	0.94
B	0.97
C	0.96

**Cuadro 3.13. Factor de Vehículos Pesados**

En el anexo 27 se muestra el cálculo completo del Fvp.

### **Flujo de Automóviles Directos**

De igual manera, se requiere tener factores por movimientos de vuelta, puesto que en estas maniobras los vehículos generalmente consumen mayor tiempo que los vehículos que siguen de frente. Estos factores  $E_V$ , que se utilizan para convertir automóviles directos que dan la vuelta a automóviles equivalentes que no dan, varían de 1.4 a 1.6 para vueltas hacia la izquierda y de 1.0 a 1.4 para las vueltas hacia la derecha.

Igualmente los volúmenes horarios de máxima demanda, deben ser convertidos a tasa de flujo,  $q$ , a través del factor de la hora de máxima demanda, FHMD, para el cual, en casos de proyectos y diseño de planes de tiempos del semáforo, se sugiere un valor de 0.95.

De esta manera, los volúmenes horarios mixtos, VHDM, se convierten a flujos de automóviles directos, que no dan la vuelta, equivalentes por hora,  $q_{ADE}$ , mediante la siguiente expresión:

$$q_{ADE} = \frac{VHMD}{FHMD} \left( \frac{1}{f_{VP}} \right) (E_V)$$

Donde:

VHMD = Volumen horario de máxima demanda

FHMD = Factor horario de máxima demanda

$F_{VP}$  = Factor de ajuste de vehículos pesados

$E_V$  = Factor de movimiento direccional

El resultado de la aplicación de la anterior fórmula mencionada obtenemos el flujo de automóviles directos equivalentes para los 3 accesos:

<b>FLUJO DE VEHÍCULOS DIRECTOS EQUIVALENTES</b>	
<b>ACCESO</b>	<b>qADE/h</b>
A	822
B	155
C	1160

**Cuadro 3.14. Flujo de Vehículos Equivalentes**

En el anexo 28 se muestra el cálculo completo del flujo de vehículos equivalentes.

### **Flujo de Saturación**

Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos que cruzan la línea de alto se incrementa rápidamente a una tasa llamada flujo de saturación, la cual permanece constante hasta que la fila de vehículos se disipa o hasta que termina el verde. La tasa de vehículos que cruzan la línea al arrancar es menor durante los primeros segundos, mientras aceleran hasta alcanzar una velocidad de marcha normal. Similarmente, duran el período posterior a la terminación del verde, la tasa de vehículos que cruzan la línea en menos debido a que algunos vehículos disminuyen su velocidad o se detiene.

El flujo de saturación es la máxima tasa de vehículos que cruzan la línea que puede ser obtenida, cuando existen filas y estas aun persisten hasta el final del período verde y se las obtiene de ábacos, de los cuales para este estudio se obtuvo los siguientes flujos de saturación.

<b>FLUJO DE SATURACIÓN</b>		
<b>Acceso</b>	<b>Ancho del acceso(m)</b>	<b>*Flujo (veh/h)</b>
A	7.50	2100
B	8	2200
C	7.50	2100

**Cuadro 3.15. Flujo de Saturación**

\* Valores obtenidos del ábaco en el Anexo 31

### **Longitud de Ciclo**

En base a observaciones de campo y simulaciones de amplio rango de condiciones de tránsito, demostró que la demora mínima de todos los vehículos en una intersección con semáforo, se puede obtener para una longitud de ciclo de:

$$C_0 = \frac{1.5 * L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\gamma} Y_i}$$

Donde:

$C_0$  = Tiempo de ciclo (seg.)

$L$  = Tiempo perdido por ciclo (seg.)

$Y_i$  = Máximo valor de la relación entre el flujo actual y el flujo de saturación para el acceso o movimiento o carril de la fase  $i$

$\gamma$  = Número de fases

Se calculó para dos fases; fase1 el acceso A y fase 2 los accesos B y C, es decir que habrá movimientos simultáneos de todo los accesos comprendidos en cada fase. El valor obtenido con la aplicación de la anterior fórmula es:

$$C_0 = 230 \text{ seg.}$$

En Anexo 30 se muestra la obtención del tiempo de ciclo.

Estas longitudes de ciclo deben estar comprendidas entre 35 a 100 seg., para lo cual el valor obtenido está fuera de este rango y no podemos adoptarlo, por lo tanto utilizamos otro método de asignación de tiempos para la semaforización.

### Método de Asignación de Tiempos

#### CALCULOS DE SEMAFORIZACIÓN

##### Tiempo De Ciclo:

Adoptamos Tiempo de ciclo (tCiclo)= 50s

##### Tiempo Amarillo

Se asume de tiempo amarillo = 3s

##### Tiempo Verde:

#### Acceso A' - Acceso B

Datos:

Va'= 645

Vb=134

$$\boxed{\frac{Va'}{tva'} = \frac{Vb}{tvb}}$$

$$\frac{tvb}{tva'} = \frac{Vb}{Va'} \rightarrow \frac{tvb}{tva'} = \frac{134}{645}$$

$$\frac{tvb}{tva'} = 0.207$$

$$tvb = 0.207 * tva' \quad (I)$$

$$\boxed{ciclo = tva' + tvb + ta + ta}$$

$$tva' + tvb = ciclo - ta - ta$$

$$tva' + tvb = 50 - 3 - 3$$

$$tva' + tvb = 44 \quad (II)$$

Resolviendo las ecuaciones (I) y (II)

$$\left. \begin{array}{l} tvb = 0.207 * tva' \\ tva' + tvb = 44 \end{array} \right\}$$

Donde:  $\boxed{tva' = 36 \text{ seg.}}$

$\boxed{tvb = 8 \text{ seg.}}$

**Tiempo Verde:****Acceso A - Acceso C'**

Datos:

Va= 496

Vc'=404

$$\boxed{\frac{Va}{tva} = \frac{Vc'}{tvc'}}$$

$$\frac{tvc'}{tva} = \frac{Vc'}{Va} \rightarrow \frac{tvc'}{tva} = \frac{404}{496}$$

$$\frac{tvc'}{tva} = 0.814$$

$$tvc' = 0.814 * tva \quad (I)$$

$$\boxed{ciclo = tva + tvc' + ta + ta}$$

$$tva + tvc' = ciclo - ta - ta$$

$$tva + tvc' = 50 - 3 - 3$$

$$tva + tvc' = 44 \quad (II)$$

Resolviendo las ecuaciones (I) y (II)

$$\left. \begin{array}{l} tvc' = 0.814 * tva \\ tva + tvc' = 44 \end{array} \right\}$$

Donde:  $\boxed{tva = 24 \text{ seg.}}$ 

$$\boxed{tvc' = 20 \text{ seg.}}$$

**Tiempo Verde:****Acceso C - Acceso B'**

Datos:

 $V_c = 873$  $V_{b'} = 17$ 

$$\boxed{\frac{V_c}{t_{vc}} = \frac{V_{b'}}{t_{vb'}}$$

$$\frac{t_{vb'}}{t_{vc}} = \frac{V_{b'}}{V_c} \rightarrow \frac{t_{vb'}}{t_{vc}} = \frac{17}{873}$$

$$\frac{t_{vb'}}{t_{vc}} = 0.02$$

$$t_{vb'} = 0.02 \cdot t_{vc} \quad (I)$$

$$\boxed{ciclo = t_{vb'} + t_{vc} + t_a + t_a}$$

$$t_{vb'} + t_{vc} = ciclo - t_a - t_a$$

$$t_{vb'} + t_{vc} = 50 - 3 - 3$$

$$t_{vb'} + t_{vc} = 44 \quad (II)$$

Resolviendo las ecuaciones (I) y (II)

$$\left. \begin{array}{l} t_{vb'} = 0.02 \cdot t_{vc} \\ t_{vb'} + t_{vc} = 44 \end{array} \right\}$$

Donde:

$$\boxed{t_{vb'} = 1 \text{ seg.}}$$

$$\boxed{t_{vc} = 43 \text{ seg.}}$$

**Tiempo Verde:****Acceso A - Acceso C**

Datos:

Va= 496

Vc=873

$$\frac{V_a}{t_{va}} = \frac{V_c}{t_{vc}}$$

$$\frac{t_{vc}}{t_{va}} = \frac{V_c}{V_a} \rightarrow \frac{t_{vc}}{t_{va}} = \frac{873}{496}$$

$$\frac{t_{vc}}{t_{va}} = 1.760$$

$$t_{vc} = 1.760 \cdot t_{va} \quad (I)$$

$$\text{ciclo} = t_{va} + t_{vc} + t_a + t_a$$

$$t_{va} + t_{vc} = \text{ciclo} - t_a - t_a$$

$$t_{va} + t_{vc} = 50 - 3 - 3$$

$$t_{va} + t_{vc} = 44 \quad (II)$$

Resolviendo las ecuaciones (I) y (II)

$$\left. \begin{array}{l} t_{vc} = 1.760 \cdot t_{va} \\ t_{va} + t_{vc} = 44 \end{array} \right\}$$

Donde:

$$t_{va} = 16 \text{ seg.}$$

$$t_{vc} = 28 \text{ seg.}$$

Haciendo el análisis de la semaforización obtenemos que los valores más adecuados son los siguientes:

TIEMPOS DEL SEMÁFORO		
COLOR	FASE 1	FASE 2
ROJO	31	19
AMARILLO	3	3
VERDE	16	28

**Cuadro 3.16. Tiempos del Semáforo**

### 3.3.4.1. Cálculo de la Capacidad y Nivel de Servicio con Semáforo

ROTONDA UBICADA ENTRE LA AV. HEROES DE LA INDEPENDENCIA Y AV. LOS SAUCES

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD EN LOS ACCESOS DE LA ROTONDA

DATOS	ACCESO A	ACCESO B	ACCESO C
% GIRO IZQUIERDA (GI)	93.28	12.77	20.92
% GIRO DERECHA (GD)	6.72	0.00	53.64
% RECTO	0.00	87.23	25.44
% VEHÍCULOS PESADOS (VP)	0.22	2.06	0.45
% VEHÍCULOS MEDIANOS (VM)	11.69	6.67	8.14
% VEHÍCULOS LIVIANOS	88.09	91.27	91.42
% VEHÍCULOS PÚBLICOS	61.93	62.77	64.50
% VEHÍCULOS PARTICULARES	38.07	37.23	35.50
VOLUMEN V EN EL ACCESO (Veh/h)	496	134	873
ANCHO DE CARRIL (m)	7.50	8.00	7.50
PARADAS ANTES INTERSECCIÓN	NO	NO	SI
PARADAS DESPUES INTERSECCIÓN	SI	SI	SI
ESTACIONAMIENTO PERMITIDO	NO	NO	NO
ZONA	INTERMEDIA	INTERMEDIA	INTERMEDIA
NUMERO DE SENTIDOS	1	1	1
NUMERO DE CARRILES EN EL ACCESO	2	2	2

Cuadro 3.17. Datos para cálculo capacidad en los accesos

CÁLCULO DE LA CAPACIDAD EN INTERSECCIONES CON SEMÁFORO

CORRECCIÓN POR HORA VERDE

$$C_{REAL_{FaseVerde}} = C_{REAL} \left( \frac{g}{C} \right)$$

CAPACIDAD REAL DE LA INTERSECCIÓN	CAPACID. REAL	ACCESO	FASE VERDE g (Seg)	TIEMPO DE CICLO C (Seg)	CAPACIDAD DE LA INTERSECCIÓN CORREGIDA POR HORA VERDE	INCIDENCIA DEL SEMAFORO EN LA CAPACIDAD
435	1360	A	16	50	435	32
	1732	B	28	50	969	56
	1227	C	28	50	687	56

### 3.3.4.2. Nivel de Servicio con Semáforo

#### CÁLCULO DE LA RELACIÓN VOLUMEN CAPACIDAD

$$X_i = \frac{V}{C_i}$$

ACCESO	VOLUMEN V (Veh/h)	CAPACIDAD CON SEMÁFORO C <sub>i</sub> (Veh/h)	RELACIÓN VOLUMEN - CAPACIDAD X <sub>i</sub>
A	496	435	1.140
B	134	969	0.138
C	873	687	1.271

#### CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO EN LA INTERSECCIÓN CON SEMÁFORO

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

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

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

ACCESO	CAPACIDAD REAL FASE VERDE (C <sub>i</sub> ) (Veh/h)	RELACIÓN VOLUMEN CAPACIDAD (X <sub>i</sub> )	TIEMPO DE CICLO C (Seg.)	TIEMPO DE FASE VERDE g (Seg.)	TIEMPO DE CICLO / TIEMPO VERDE g <sub>i</sub> /C	DEMORA d <sub>1i</sub> (Seg/veh)	DEMORA d <sub>2i</sub> (Seg/veh)	DEMORA TOTAL d <sub>i</sub> (Seg/veh)
A	435	1.1402	50	16	0.320	13.833	87.367	101.199
B	969	0.1383	50	28	0.560	3.987	0.004	3.992
C	687	1.2707	50	28	0.560	12.755	165.245	178.000

NIVEL DE SERVICIO	CARACTERÍSTICAS DE OPERACIÓN DEL ACCESO	TIEMPO DE DEMORA (Seg/veh)
<b>A</b>	La mayoría de los vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo	<b>d &lt; 5</b>
<b>B</b>	Algunos vehículos comienzan a detenerse	<b>5,1 &lt; d &lt; 15</b>
<b>C</b>	La progresión del tránsito es regular y algunos ciclos empiezan a malograrse	<b>15,1 &lt; d &lt; 25</b>
<b>D</b>	Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en fase roja, longitud de ciclo amplias, relación v/c altas	<b>25,1 &lt; d &lt; 40</b>
<b>E</b>	Límite aceptable de demoras. Las demoras son causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones de v/c altas	<b>40,1 &lt; d &lt; 60</b>
<b>F</b>	Los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, lo que ocasiona congestión y operación saturada	<b>d &gt; 60</b>

**Cuadro 3.18. Nivel de Servicio en Intersecciones Semaforzadas**

ACCESO	NIVEL DE SERVICIO	NIVEL DE SERVICIO DE LA INTERSECCIÓN
A	F	<b>F</b>
B	A	
C	F	

Colocando semáforos en la rotonda observamos que la capacidad se reduce y que el nivel de servicio aumenta de un E a un F.

### **3.3.5. Congestionamiento Vehicular**

La causa fundamental del congestionamiento es la fricción o interferencia entre los vehículos en el flujo de tránsito. Hasta un cierto nivel de tránsito, los vehículos pueden circular a una velocidad relativamente libre, determinada por los límites de velocidad, la frecuencia de las intersecciones, y otras condicionantes. Sin embargo, a volúmenes mayores, cada vehículo adicional estorba el desplazamiento de los demás, ahí es donde comienza el fenómeno del congestionamiento.

Entonces, una posible definición objetiva sería: El congestionamiento es la condición que prevalece si la introducción de un vehículo en un flujo de tránsito aumenta el tiempo de circulación de los demás. Este congestionamiento surge en condiciones en que la demanda se acerca a la capacidad de la infraestructura transitada y el tiempo de tránsito aumenta a un valor muy superior al que rige en condiciones de baja demanda. A medida que aumenta el tránsito, se reducen cada vez más las velocidades de circulación.

#### **3.3.5.1. Determinación del Congestionamiento Vehicular**

##### **Generalidades**

Uno de los objetivos de la ingeniería de tráfico es el de planear, diseñar y operar sistemas viales, de tal manera que las demoras inducidas a los usuarios sean mínimas. En los períodos de máxima demanda, el movimiento vehicular se va tornando deficiente con pérdidas de velocidad, lo que hace que el sistema tienda a saturarse, hasta llegar a funcionar a niveles de congestionamiento con las consiguientes demoras y colas asociadas.

Existen dos métodos de análisis de congestionamiento vehicular que son análisis probabilístico y análisis determinístico.

### 3.3.5.1.1. Análisis Probabilístico

El análisis que se presentará a continuación es sólo para condiciones en “Estado Estacionario”, esto quiere decir, que las relaciones a usar solamente se aplicarán cuando los patrones de llegadas y servicios se sostienen por largos períodos, por tanto, no se puede aplicar a situaciones de máxima demanda en las cuales los flujos de llegadas “ $\lambda$ ” excedan la capacidad en estado estacionario “ $\mu$ ”. Entonces, se dice que  $\lambda < \mu$  para tener condiciones de flujo en estado estacionario.

#### Sistema de Líneas de Espera

Las características de este tipo de líneas de espera son:

- La presencia de una estación de servicio.
- Llegadas de acuerdo a una distribución Poisson.
- Tiempos de servicio exponenciales.
- Disciplina de servicio “El que llega primero es atendido primero”.

Factor de Congestión o Factor de Carga ( $\rho$ ):

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} < 1 \quad (1)$$

Probabilidad de tener exactamente “n” vehículos o unidades en el mismo sistema ( $P_{(n)}$ ):

$$P_{(n)} = \left( \frac{\lambda}{\mu} \right)^n \times \left( 1 - \frac{\lambda}{\mu} \right) \quad (2)$$

Número promedio de unidades en el sistema ( $n$  o  $E_n$ ):

$$E_n = \frac{\rho}{1 - \rho} \quad (3)$$

$$\bar{n} = E_n = \frac{\lambda}{\mu - \lambda} \quad (4)$$

Número promedio de unidades en fila o longitud promedio de la línea de espera ( $Q$  o  $E_m$ ):

$$\boxed{\bar{Q} = E_m = \frac{\rho^2}{1-\rho}} \quad (5)$$

$$\boxed{\bar{Q} = \frac{\lambda^2}{\mu * (\mu - \lambda)}} \quad (6)$$

Tiempo promedio de espera en la fila de espera o tiempo promedio en fila o tiempo de espera (  $t_q$  o  $w_E$  ):

$$\boxed{\bar{t}_q = E_w = \frac{\lambda}{\mu * (\mu - \lambda)}} \quad (7)$$

Tiempo promedio gastado en el sistema (  $t_s$  o  $v_E$  ):

$$\boxed{\bar{t}_s = E_v = \frac{1}{\mu - \lambda}} \quad (8)$$

Porcentaje de utilización del servicio (P):

$$\boxed{P = \frac{\lambda}{\mu} * 100} \quad (9)$$

Porcentaje de encontrar el sistema inactivo (I):

$$\boxed{I = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) * 100} \quad (10)$$

Probabilidad de tener que gastar un tiempo “t” en el sistema ( $P_{(t)}$ )

$$\boxed{P_t = (\mu - \lambda) * e^{(\lambda - \mu) * t}} \quad (11)$$

Probabilidad de tener que gastar un tiempo “t” o menos en el sistema ( $P_{(t_n \leq t)}$  ):

$$\boxed{P_{(t_n \leq t)} = 1 - e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) * (\mu * t)}} \quad (12)$$

Probabilidad de tener que esperar un tiempo “t” o menos en la línea de espera ( $P_{(t_q \leq t)}$ )

$$\boxed{P_{(t_q \leq t)} = 1 - \frac{\lambda}{\mu} * e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) * (\mu * t)}} \quad (13)$$

## CÁLCULO DEL CONGESTIONAMIENTO EN LA ROTONDA

### ANÁLISIS PROBABILÍSTICO DE LINEAS DE ESPERA (CONGESTIONAMIENTO)

#### SISTEMA DE LÍNEAS DE ESPERA CON UNA ESTACIÓN DE SERVICIO

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

ACCESO	FLUJO DE SATURACIÓN S ó $\mu$ (Veh/h)	FLUJO DE SATURACIÓN S ó $\mu$ (Veh/seg)	TASA MEDIA DE LLEGADAS $\lambda$ (Veh/h)	TASA MEDIA DE LLEGADAS $\lambda$ (Veh/seg)	PROBAB. VEH. EN SISTEMA $p(n)$	NRO. PROMEDIO VEH. $n$ (Veh)
A	1360	0.378	496	0.138	0.232	1
B	1732	0.481	134	0.037	0.071	1
C	1227	0.341	873	0.243	0.104	3

$$Q = \frac{\lambda^2}{\mu(\mu - \lambda)}$$

$$t_s = \frac{1}{\mu - \lambda}$$

$$t_q = \frac{\lambda}{\mu * (\mu - \lambda)}$$

$$P = \frac{\lambda}{\mu} * 100$$

ACCESO	LONGITUD PROMEDIO DE LA LÍNEA DE ESPERA Q (Veh)	TIEMPO PROMEDIO GASTADO EN SISTEMA $t_s$ (Seg/veh)	TIEMPO PROMEDIO DE ESPERA EN LA LÍNEA DE ESPERA $t_q$ (Seg/veh)	PORCENTAJE UTILIZACIÓN DE SERVICIO P
A	0.209	4.167	1.520	36.471
B	0.006	2.253	0.174	7.737
C	1.755	10.169	7.236	71.149

$$I = \left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) 100 \quad p(t) = (\mu - \lambda) * e^{-(\lambda - \mu) * t} \quad P(t_s \leq t) = 1 - e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) * \mu * t} \quad P(t_q \leq t) = 1 - \frac{\lambda}{\mu} * e^{-\left(1 - \frac{\lambda}{\mu}\right) * \mu * t}$$

ACCESO	PORCENTAJE SISTEMA INACTIVO I	PROBABILIDAD DE GASTAR UN TIEMPO t EN EL SISTEMA $p(t)$	PROBABILIDAD DE GASTAR UN TIEMPO t O MENOS EN EL SISTEMA $P(t_s \leq t)$	PROBABILIDAD DE GASTAR UN TIEMPO t O MENOS EN LÍNEA DE ESPERA $P(t_q \leq t)$
A	63.529	0.088	0.632	0.747
B	92.263	0.163	0.632	0.928
C	28.851	0.036	0.632	0.651

#### 3.3.5.1.2. Análisis Determinístico

Este análisis consiste en el cálculo preciso del valor de una variable en función de ciertos valores específicos que toman otras variables. Esto es, solamente ocurrirá un valor de la función objetivo para un conjunto dado de valores de las variables de entrada.

Esta situación de congestionamiento, donde los patrones de llegada y servicios son altos, los enfoques a nivel macroscópico son los que más se aproximan a este fenómeno, describiendo la operación vehicular en términos de sus variables de flujo, generalmente tomadas como promedios.

## Análisis de intersecciones con semáforo

La intersección con semáforo es uno de los ejemplos más típicos de un fenómeno de espera, puesto que por la presencia de la luz roja siempre existirá la formación de colas de vehículos. Con el propósito de entender de una manera clara y sencilla.

La capacidad de un acceso a una intersección con semáforo se expresa en términos del flujo de saturación “s”. Cuando el semáforo cambia a verde, el paso de los vehículos a través de la línea de ALTO se incrementa rápidamente a una tasa equivalente al flujo de saturación, la cual se mantiene constante hasta que la cola se disipa o hasta que termina el verde. El flujo de saturación es la tasa máxima de salidas que puede ser obtenida cuando existen colas.

A continuación se detallan algunas relaciones para el cálculo determinístico del congestionamiento:

Tasa de llegadas “ $\lambda$ ” constante para todo el período de estudio.

Tasa de salidas “ $\mu$ ”, igual a “0” cuando el semáforo está en rojo, igual “s” cuando el semáforo está en verde y aun hay cola y “ $\lambda$ ” cuando sin existir cola el semáforo continúa en verde, es decir, los vehículos salen de la intersección a la misma tasa que llegan.

Tiempo para que se disipe la cola después del verde efectivo ( $t_o$ ):

$$t_o = \frac{\lambda * r}{\mu - \lambda} \quad (1)$$

Factor de utilización o intensidad del tránsito ( $\rho$ ), tomando en cuenta  $\mu = s$ :

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (2)$$

Rojo efectivo (r), teniendo en cuenta que C igual a tiempo de ciclo y g verde efectivo:

$$r = C - g \quad (3)$$

Proporción del ciclo con cola ( $P_q$ ):

$$P_q = \frac{r + t_o}{C} \quad (4)$$

Proporción de vehículos detenidos ( $P_s$ ):

$$P_s = \frac{t_o}{\rho * C} \quad (5)$$

Longitud máxima de la cola ( $Q_m$ ):

$$Q_m = \lambda * r \quad (6)$$

Longitud promedio de la cola mientras exista ( $Q_q$ ):

$$Q_q = \frac{\lambda * r}{2} \quad (7)$$

Longitud promedio de la cola por ciclo ( $Q$ ):

$$Q = \frac{r + t_o}{C} * \left( \frac{\lambda * r}{2} \right) \quad (8)$$

Demora máxima que experimenta un vehículo ( $d_m$ ):

$$d_m = r \quad (9)$$

Demora total para todo el tránsito por ciclo ( $D$ ):

$$D = \frac{\lambda * r^2}{2 * (1 - \rho)} \quad (10)$$

Demora promedio del tránsito por ciclo ( $d$ ):

$$d = \frac{r}{2 * C * (1 - \rho)} \quad (11)$$

## CÁLCULO DEL CONGESTIONAMIENTO EN LA ROTONDA

### ANÁLISIS DETERMINÍSTICO DEL CONGESTIONAMIENTO

ACCESO	FLUJO DE SATURACIÓN S ó $\mu$ (Veh/h)	FLUJO DE SATURACIÓN S ó $\mu$ (Veh/seg)	TASA MEDIA DE LLEGADAS $\lambda$ (Veh/h)	TASA MEDIA DE LLEGADAS $\lambda$ (Veh/seg)	LONGITUD DE CICLO C (Seg)	VERDE EFECTIVO g (Seg)
A	1360	0.378	496	0.138	50	16
B	1732	0.481	134	0.037	50	28
C	1227	0.341	873	0.243	50	28

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu}$$

$$r = C - g$$

$$t_o = \frac{\rho * r}{1 - \rho}$$

$$P_q = \frac{r + t_o}{C}$$

$$P_s = \frac{t_o}{\rho * C}$$

$$Q_m = \lambda * r$$

ACCESO	INTENSIDAD DEL TRANSITO $\rho$	ROJO EFECTIVO r (Seg)	TIEMPO DE DISIPACION $t_o$ (Seg)	PROPORCION CICLO CON COLA $P_q$ (Seg)	PROPORCION DE VEHÍCULOS DETENIDOS $P_s$	LONGITUD MAXIMA DE COLA $Q_m$ (Veh)
A	0.365	34	19.519	1.070	1.070	5
B	0.077	22	1.845	0.477	0.477	1
C	0.711	22	54.254	1.525	1.525	6

$$Q_q = \frac{\lambda * r}{2}$$

$$Q = \frac{r + t_o}{C} * Q_q$$

$$d_m = r$$

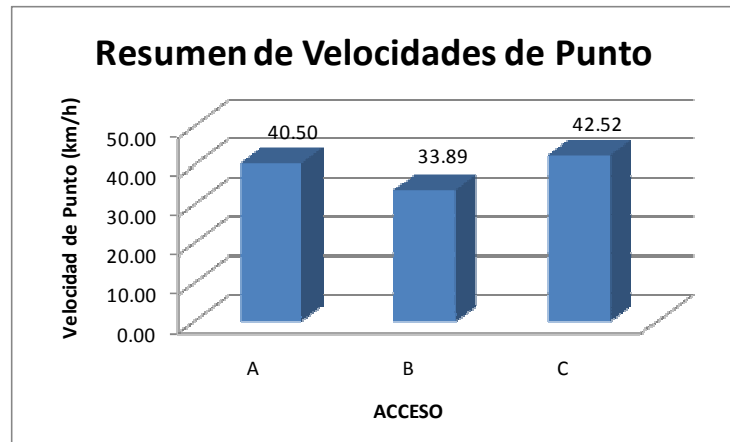
$$D = \frac{\lambda * r^2}{2 * (1 - \rho)}$$

$$d = \frac{r^2}{2 * C * (1 - \rho)}$$

ACCESO	LONGITUD PROMEDIO DE COLA $Q_q$ (Veh)	LONGITUD PROMEDIO DE COLA POR CICLO Q (Veh)	DEMORA MAXIMA DEL VEHÍCULO $d_m$ (Seg)	DEMORA TOTAL POR TODO EL CICLO D (Seg/veh)	DEMORA PROMEDIO DEL TRANSITO POR CICLO d (Seg/veh)
A	2.342	2.507	34	125.352	18.196
B	0.409	0.195	22	9.763	5.246
C	2.668	4.068	22	203.408	16.776

### 3.4. RESUMEN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS OBTENIDOS

#### 3.4.1. Velocidad de Punto

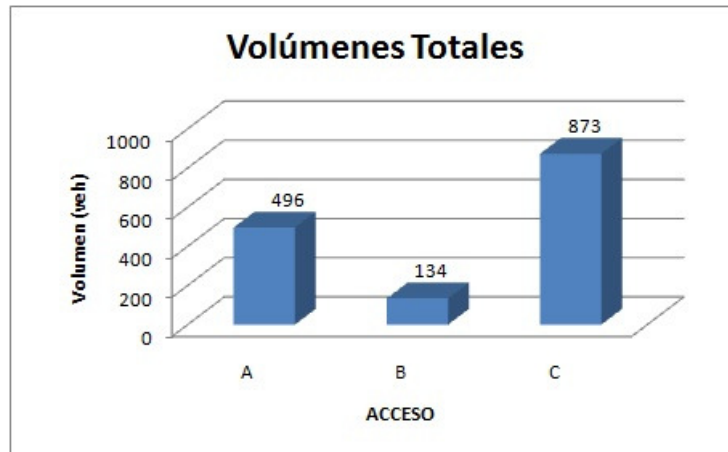


**Figura 3.6. Resumen de Velocidades de Punto**

Las velocidades de punto de los vehículos obtenidos en los tres puntos de aforo en los diferentes accesos, tal como se muestran en el cuadro anterior son altas, esto indica que no hay mucho congestionamiento y que los vehículos pueden transitar con un flujo libre y rápido, pero los mismos pueden ocasionar serios accidentes ya que están por realizar una maniobra al ingresar a la rotonda y por ende deberían reducir la velocidad para la seguridad de los peatones y conductores.

### 3.4.2. Volumen Vehicular

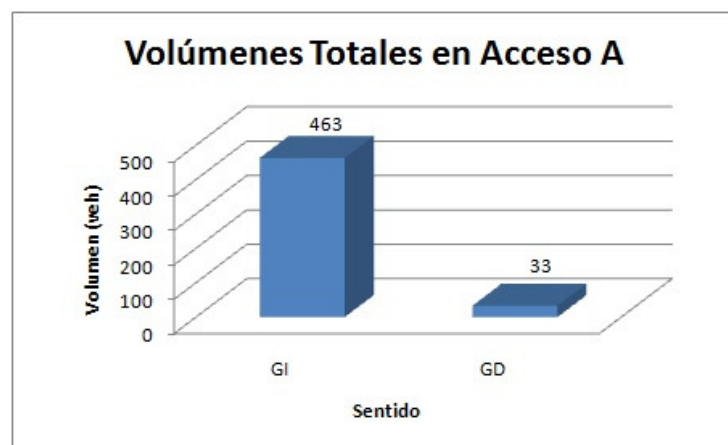
En el siguiente cuadro observamos la relación de volumen de vehículos que circulan en los diferentes accesos de la Rotonda:



**Figura 3.7. Volúmenes Totales**

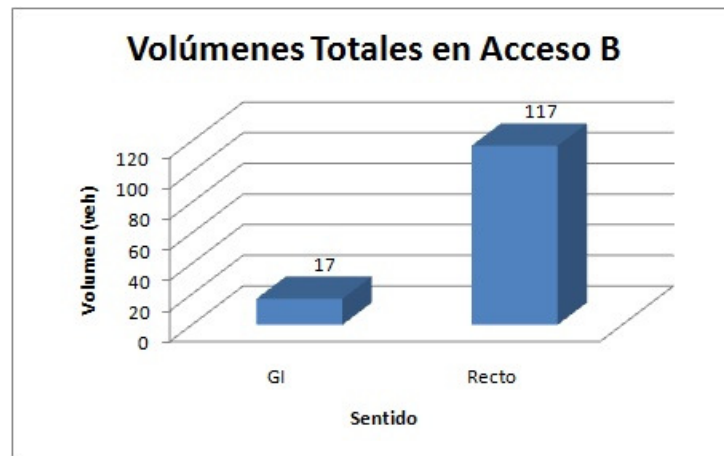
El principal objetivo del estudio de volúmenes de tráfico es el de encontrar valores representativos de las características actuales de cada acceso.

El acceso que tiene el volumen mayor es: el acceso C, los restantes están por debajo de este, la mayor parte de los vehículos que circulan por la rotonda son los del transporte público. En horas de la noche se producen los más altos volúmenes de tráfico a comparación de las restantes horas del día.



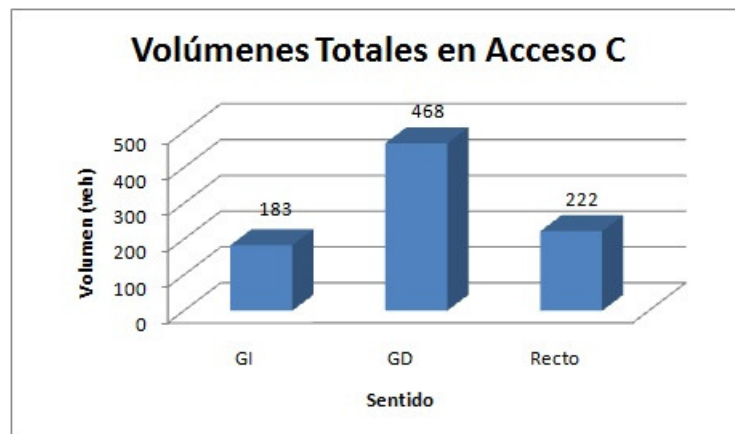
**Figura 3.8. Volúmenes Totales en Acceso A**

En el gráfico que se muestra en la parte superior se observa los volúmenes de circulación del Acceso A. La mayor cantidad de estos vehículos hacen la maniobra de Giro Izquierda con 463 veh/h, la maniobra Giro Derecha con 33 veh./h y el Volumen Total de Circulación es de 496 veh./h.



**Figura 3.9. Volúmenes Totales en Acceso B**

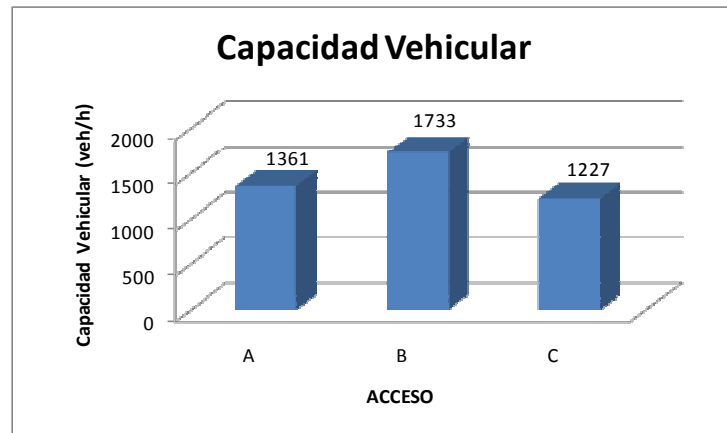
En el gráfico que se muestra en la parte superior se observa los volúmenes de circulación del Acceso B. La mayor cantidad de estos vehículos hacen la maniobra Recto con 117 veh/h, la maniobra Giro Izquierda con 17 veh./h y el Volumen Total de Circulación es de 134 veh./h.



**Figura 3.10. Volúmenes Totales en Acceso C**

En el gráfico que se muestra en la parte superior se observa los volúmenes de circulación del Acceso C. La mayor cantidad de estos vehículos hacen la maniobra de Giro Derecha con 468 veh/h, la maniobra Recto con 222 veh./h, la maniobra de Giro Izquierda con 183 veh./h y el Volumen Total de Circulación es de 873 veh./h.

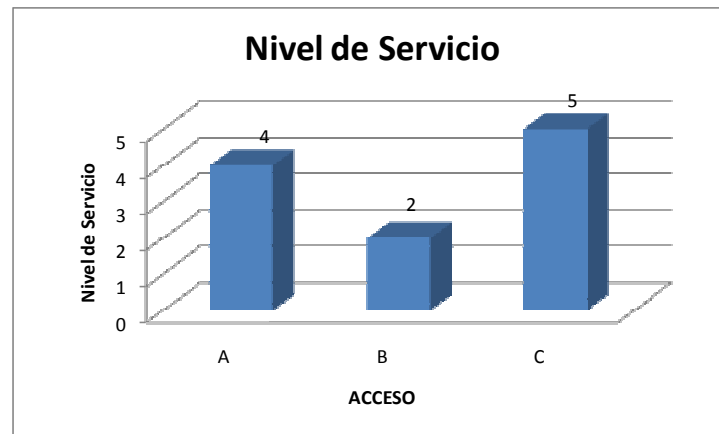
### 3.4.3. Capacidad y Nivel de Servicio



**Figura 3.11. Capacidad Vehicular**

La capacidad vehicular es la cantidad máxima de vehículos que circula por los accesos de la intersección en un tiempo determinado, como podemos observar en el acceso A tenemos una capacidad de 1361 veh/h, en el acceso B tenemos una capacidad de 1733 veh/h y en el acceso C tenemos una capacidad de 1227 veh/h.

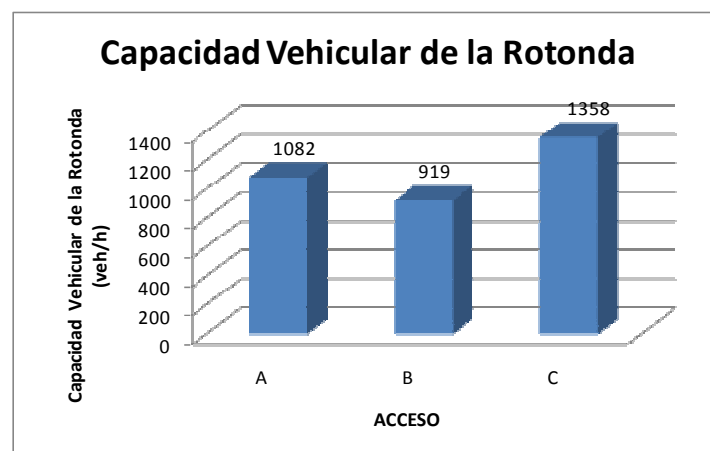
Para el cálculo de la capacidad vehicular no se tomó en cuenta el factor de estacionamiento esto debido a que en los accesos de la rotonda no está permitido estacionar, además la incidencia de los factores de reducción no es de consideración ya que los mismos son porcentajes mínimos y esto permite que la circulación máxima sea elevada.



Ref.: Nivel de servicio A = 1, Nivel de servicio B = 2, Nivel de Servicio C = 3, Nivel de Servicio D = 4, Nivel de Servicio E = 5, Nivel de Servicio F = 6.

**Figura 3.12. Nivel de Servicio**

La valoración del nivel de servicio de un determinado acceso está en función de la relación volumen/capacidad, como podemos ver en el acceso A tenemos un Nivel de Servicio D, esto nos indica que tenemos un flujo próximo a ser inestable, en el acceso B tenemos un Nivel de Servicio B el flujo es estable esto porque la circulación de vehículos es muy baja y en el acceso C tenemos un Nivel de Servicio E el flujo es inestable porque en este acceso circula una gran cantidad de vehículos.



**Figura 3.13. Capacidad Vehicular de la Rotonda**

En el análisis de la capacidad de las entradas de la rotonda, se observa que los valores obtenidos son menores a 1500 esto indica que la rotonda funciona correctamente, pero a esto se debe plantear soluciones lo más antes posible caso contrario la rotonda va a empezar

a presentar diversos problemas de tráfico ya que tanto el acceso C como el acceso A están muy próximos de la tradicional regla de los 1500.

### 3.4.4. Semaforización

TIEMPOS DEL SEMÁFORO		
COLOR	FASE 1	FASE 2
ROJO	31	19
AMARILLO	3	3
VERDE	16	28

Cuadro 3.19. Tiempos del Semáforo

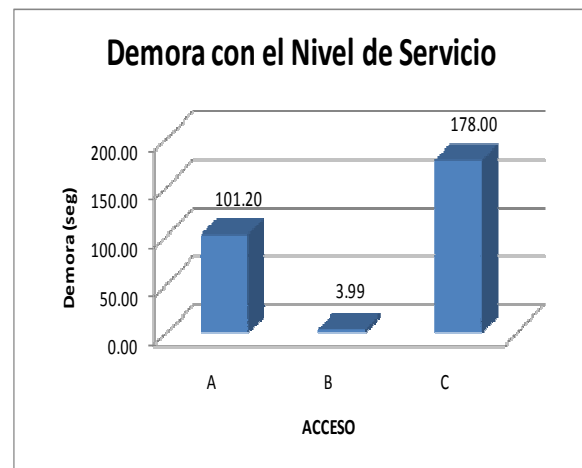
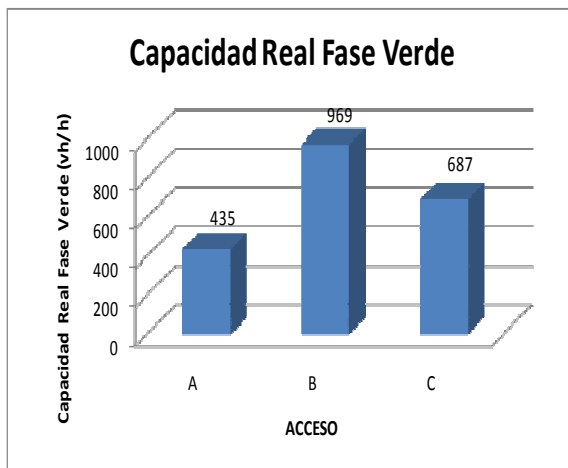
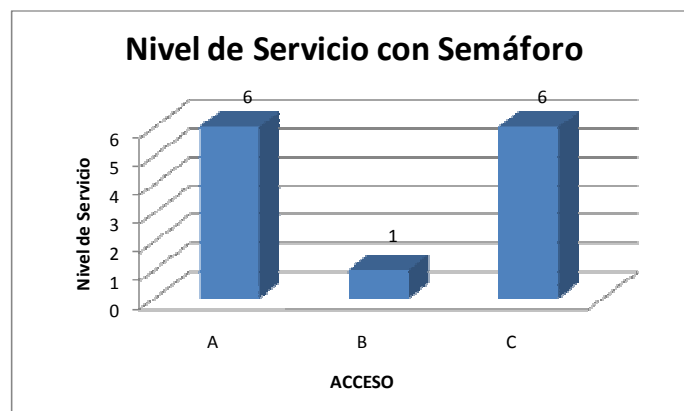


Figura 3.14. Capacidad Real Fase Verde    Figura 3.15. Demora con Nivel de Servicio



Ref.: Nivel de servicio A = 1, Nivel de servicio B = 2, Nivel de Servicio C = 3, Nivel de Servicio D = 4, Nivel de Servicio E = 5, Nivel de Servicio F = 6.

Figura 3.16. Nivel de Servicio con Semáforo

En base a los cálculos y análisis de los resultados dentro del presente proyecto se demuestra que no es conveniente implementar el uso de semáforos en la rotonda, esto debido a que con el semáforo la capacidad de la intersección se reduce, en los accesos A y C se presentan demoras muy elevadas que sobrepasan los 60 segundos, además que ambos accesos tienen un nivel de servicio F, haciendo que los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, lo que ocasionaría congestión y una operación saturada.

### 3.4.5. Congestionamiento Vehicular

#### 3.4.5.1 Método Probabilístico

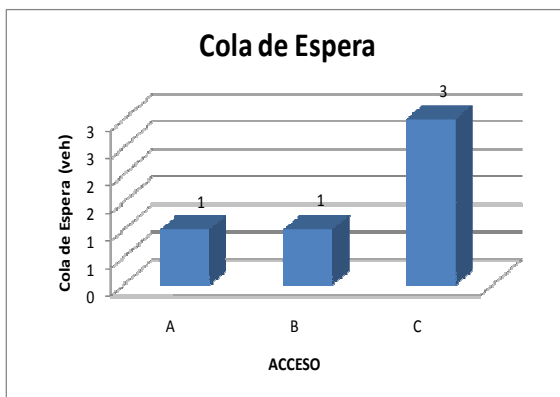


Figura 3.17. Cola de Espera

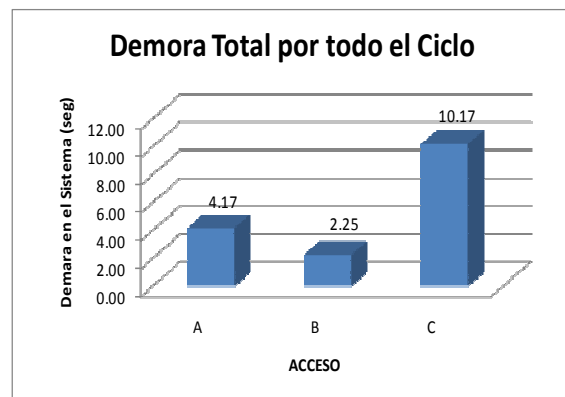


Figura 3.18. Demora Total por Ciclo

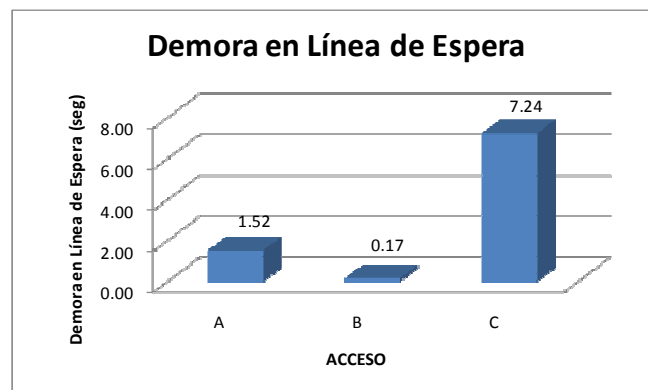


Figura 3.19. Demora en Línea de Espera

Los valores de la longitud de cola de espera que se forman en cada uno de los accesos de la Rotonda son bajos, esto se debe a que no se cuenta con semáforos que originen la formación de colas, sin embargo, El acceso C tiene una cola de espera mayor debido a que

no existe una priorización que de preferencia de circulación para este acceso de mayor volumen vehicular.

Los valores obtenidos de las demoras totales por ciclo y en línea de espera son reducidos, esto se debe a que este método estudia las demoras sin tomar en cuenta la presencia de semáforos en la Rotonda; ya sea al ingreso como salida de la misma. El valor del Acceso C sería más bajo si no existiesen las paradas de micros antes y después del mismo.

### 3.4.5.2. Método Determinístico (con semáforo)

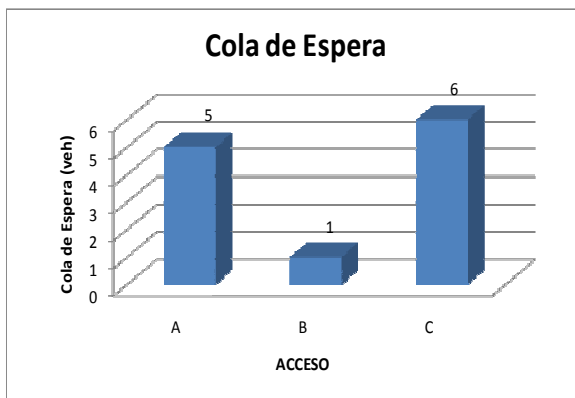


Figura 3.20. Cola de Espera

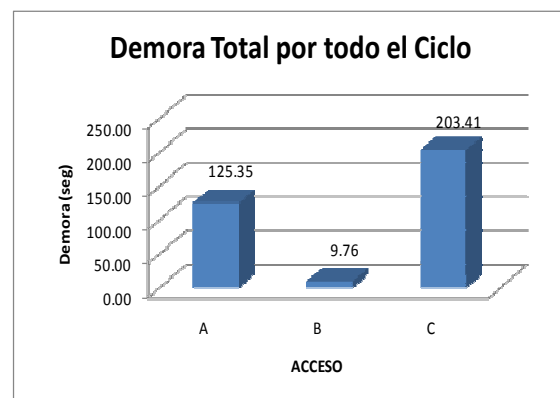


Figura 3.21. Demora Total por Ciclo

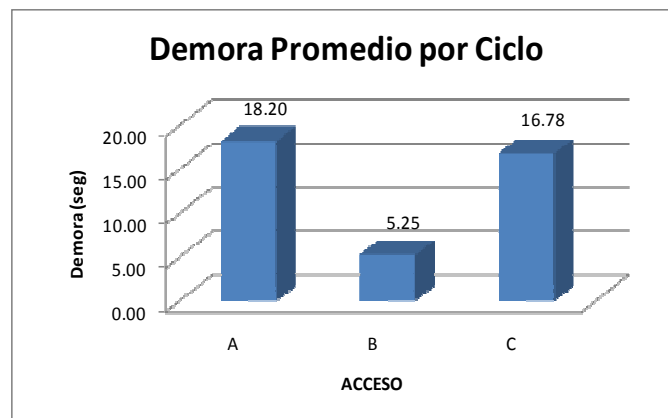


Figura 3.22. Demora Promedio por Ciclo

Como se muestra en las gráficas los valores de cola de espera se incrementan en el acceso A con una longitud de 5 vehículos y en el acceso C con una longitud de 6 vehículos ya que

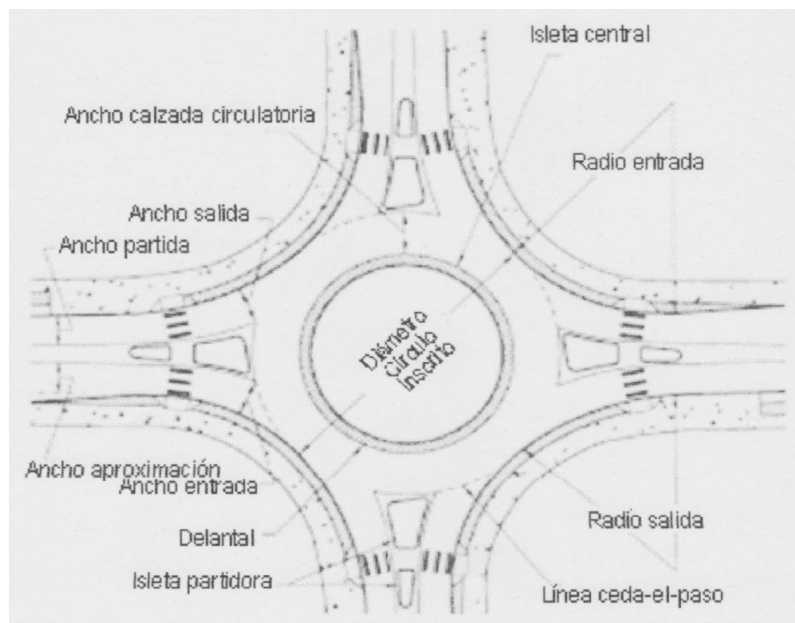
son los de mayor circulación vehicular, esto debido al estudio de implementación del Semáforo.

Las Demoras obtenidas son muy elevadas, en el acceso A es de 125.35 seg., y en el acceso C es de 203.41 seg., las cuales representan para el usuario una pérdida de tiempo, consumo de combustible, incomodidad, estrés y frustración. Por lo tanto el semáforo nos daría más problemas que soluciones en el tráfico vehicular.

### 3.5. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DEL DISEÑO GEOMÉTRICO EN LA ROTONDA

#### 3.5.1. Consideraciones Sobre la Geometría Actual de la Rotonda Estudiada

En las rotondas del medio la circulación a través de la calzada anular se realiza en sentido anti horario y si bien no siempre ha sido así, actualmente esta circulación se considera prioritaria respecto a la de las entradas. De este modo un vehículo que desee entrar en la rotonda debe ceder el paso a los vehículos que circulan por el interior de la calzada anular, a pesar de que éstos se aproximen desde la izquierda contradiciendo así la regla general de prioridad a la derecha en las intersecciones.



**Figura 3.23. Elementos Geométricos**

En el caso particular de la intersección giratoria ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, objeto del estudio se verifica por su geometría que las líneas de eje de las vías que confluyen no pasan por el centro de la rotonda, teniendo como consecuencia que la trayectoria de los vehículos cruzan con trazados secantes y no convergen o divergen tangencialmente; por lo que no existe la iteración entre trazado geométrico, operación y seguridad y como consecuencia se incrementa la inseguridad, congestión, etc.

### **3.5.2. Área Disponible**

Es evidente que la implementación de una rotonda en una intersección ofrece muchas ventajas para la regularización del tráfico vehicular (para el flujo y reducir los índices de riesgos de accidentes), resolviendo automáticamente todos los movimientos posibles en una intersección, incluidos los cambios de sentido y la rectificación de errores; además se incrementa su capacidad frente al resto de otras intersecciones a nivel.

Sin embargo todo aquello está ajustado a que las condiciones de implantación sean las adecuadas específicamente, lo que se refiere al área de emplazamiento disponible para una rotonda ya que de no ser así la misma podría resultar como una mala solución, llegándose a producir congestiones y retrasos como consecuencia de una decisión inadecuada.

El área disponible para el funcionamiento de la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, con todas las facilidades técnicas no es suficiente, principalmente por el espacio limitado que existe para emplazar una rotonda, por la topografía que presenta la zona, las diferentes pendientes de los accesos que llegan a la rotonda, y porque se debe cumplir una de las características principales de una rotonda cual es la reducción de velocidades y regulación del tráfico.



**Figura 3.24. Rotonda Ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces**

### **3.5.3. Peatones en el Área de Influencia**

Existen zonas que tienen mayor afluencia de peatones por lo que las ubicaciones de los cruces peatonales en las rotondas son un equilibrio entre la conveniencia y seguridad peatonal y la operabilidad de la rotonda.

Conveniencia peatonal: los peatones quieren cruzar en lugares tan cerca de la intersección como fuere posible, para minimizar los desvíos desde la dirección de viaje. Cuando más lejos esté el cruce desde la rotonda, más probable es que los peatones elijan un ruta más corta que los puede poner en mayor peligro.

Seguridad peatonal: Tanto la ubicación como la distancia de cruce son importantes, la distancia de cruce debe minimizarse para reducir la exposición a los conflictos peatón-vehículo. La seguridad peatonal también puede verse comprometida en el cruce peatonal en la línea ceda el paso porque la atención del conductor está dirigida a la izquierda para buscar claros en la corriente de tránsito que circula.

En el caso específico de la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauce, tiene la influencia del ingreso de peatones a la Universidad Domingo Savio; en consecuencia se debe valorar por sobre los demás detalles técnicos la seguridad del peatón y de los motociclistas que son parte vulnerable de esta intersección.

#### **3.5.4. Justificación Técnica: Ubicación de la Rotonda**

Por el tráfico vehicular de servicio público y privado, además de la infraestructura en el área de emplazamiento de la zona es necesaria una rotonda, pero desde el punto de vista de la seguridad peatonal y vehicular no se justificaría su ubicación porque los riesgos de accidentes de tránsito no se han reducido al contrario tienden a incrementarse. Sólo se justificaría técnicamente la ubicación de la rotonda en las condiciones siguientes:

- Ampliación del área disponible para satisfacer el flujo de todas las vías que confluyen a la rotonda.
- Implementación de una rotonda con paso a desnivel para aumentar su capacidad y obtener una mayor seguridad.

#### **3.5.5. Ubicación y Accesos de la Rotonda**

Las soluciones al tráfico vehicular en intersecciones a nivel más usuales en diferentes partes del mundo es el emplazamiento de rotondas ya que permiten solucionar problemas de congestión, reducción de accidentes y además constituyen una forma económica y flexible para dar confortabilidad al conductor en medios urbanos, suburbanos y rurales.

La geometría de una rotonda tiene relación directa entre la seguridad y capacidad. Las rotondas funcionan con mayor seguridad cuando su geometría fuerza al tránsito a entrar y circular a velocidades bajas. En tanto los anchos y radios de entrada y calzada circulatoria se reduzcan, también se reducirá la capacidad de la rotonda. Además muchos de los parámetros geométricos están gobernados por los requerimientos de maniobra de los vehículos más grandes que transitan a través de la intersección; por lo que debe existir

coordinación y un equilibrio óptimo entre las áreas físicas que componen la rotonda y el comportamiento operacional o de acomodamiento de los vehículos.

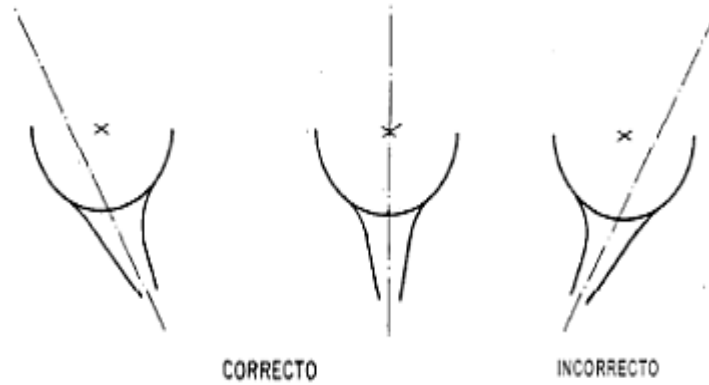
El proceso iterativo entre la geometría, operación y seguridad de la rotonda; es muy susceptible incluso a pequeños cambios en la geometría, pudiendo resultar cambios sustanciales del comportamiento operacional y de seguridad; por lo que el análisis, evaluación y/o cambios deben ser realizados por especialistas viales.



**Figura 3.25. Rotondas en Medios Urbanos**

En la actualidad la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauce, no tiene funcionalidad para la zona y el tráfico vehicular; en los últimos tiempos ha crecido el volumen vehicular y debido a la construcción de la Universidad Domingo Savio aumentó la circulación peatonal. Por lo tanto se está generando lo siguiente:

- No hay iteración entre la geometría y la seguridad de la rotonda por:
  - La calzada anular no tiene una sección constante ya que tiene anchos de calzada de 9 m., 10 m, 12 mts. y 13 mts., incidencia negativa en la capacidad e incremento de riesgo.
  - Los ejes de las vías que confluyen a la rotonda no coinciden con el centro de la isleta central, es decir no hay un alineamiento radial de las entradas, todas se encuentran en un estado de inaceptable.



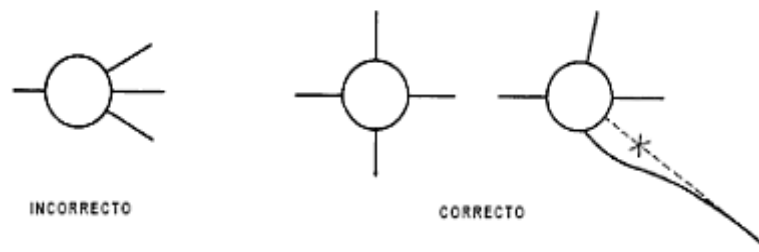
**Figura 3.26. Desalineación de un Acceso**

- Los radios de trayectoria críticos (el radio de salida en el acceso A con el Acceso C, radio de 4 mts.) no tienen coherencia, obligando a los conductores a realizar incluso maniobras extremas cuando se trata de vehículos grandes con el consecuente riesgo de accidentes.



**Figura 3.27. Radio de Trayectoria Crítico en el Acceso A**

- Los anchos y espaciamientos de entrada y salida no satisfacen el volumen de tráfico de la rotonda y tampoco en momentos al tamaño de algunos vehículos (grandes) que atraviesan la misma, ocasionando congestión y riesgo de accidentes.



**Figura 3.28. Espaciamiento de los Ramales**

- En la zona de emplazamiento de la rotonda se encuentra la Universidad Domingo Savio; los pasos peatonales no ofrecen seguridad al peatón por la descoordinación del flujo vehicular de las vías.

Por lo descrito anteriormente las condiciones de ubicación y accesos no satisfacen las demandas actuales de tráfico vehicular y peatonal; a esto se suma el incremento de las condiciones de: congestionamiento, riesgo de accidentes, demoras, etc.



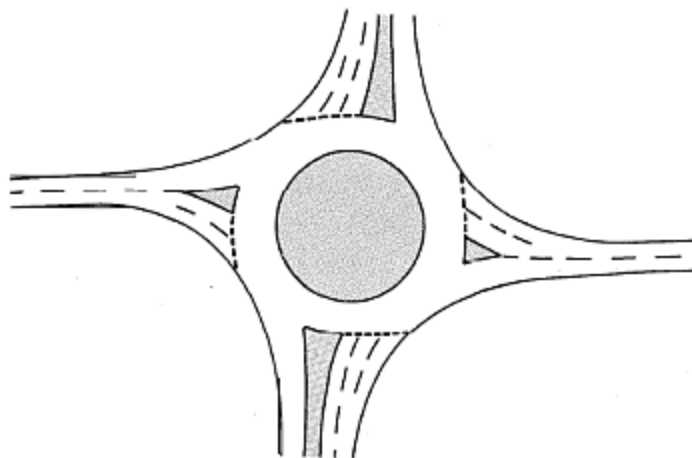
**Figura 3.29. Acceso A en la Rotonda Ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces**

### 3.5.6. Conexiones de Entradas y Salidas en la Rotonda

En una rotonda es preferible que se dé una repartición regular entre los ramales entorno al anillo, mientras que se desaconseja que una entrada y la siguiente salida se encuentren muy próximas. Permiten la incorporación de nuevas vías, algunas veces permiten la construcción de enlaces a distinto nivel en caso de que los tráficos aumentaran; pero todas estas conexiones deben obedecer a un movimiento tangencial desde o hacia la rotonda para que los movimientos de los vehículos sean sincronizados y se realicen con el menor riesgo de accidentes.

Las conexiones de salidas y entradas con otras vías a la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauce, no satisfacen lo indicado anteriormente, en consecuencia los movimientos para aquellos vehículos que salen e ingresan se tornan caóticos principalmente porque el movimiento vehicular no va reduciendo la velocidad en la aproximación y en el interior de la intersección.

Un buen método para mejorar la inflexión, y también reducir el tamaño de la glorieta, consiste en desalinear los accesos hacia la izquierda del centro de la isleta central.

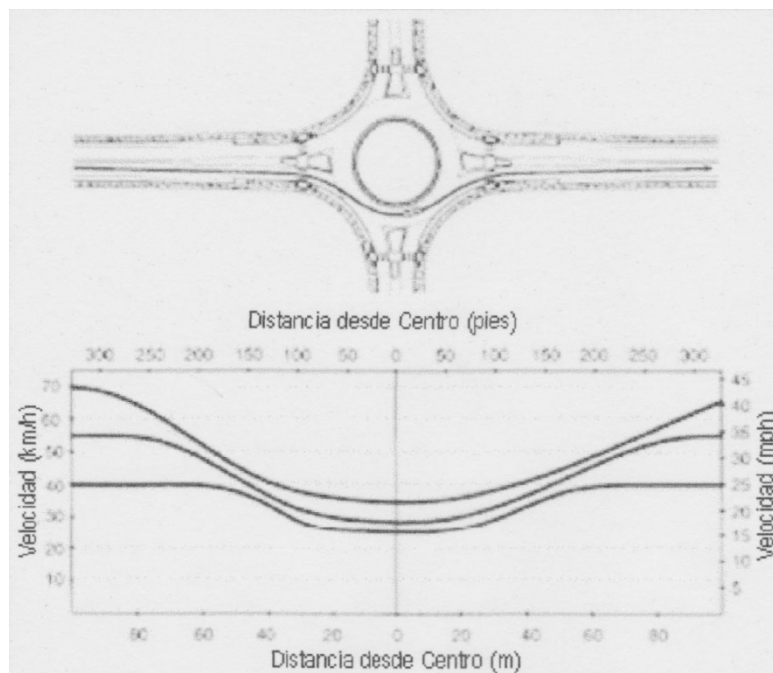


**Figura 3.30. Inflexión a la Entrada: Desalineando los Accesos**

### 3.5.7. Las Trayectorias de los Vehículos en la Rotonda y la Velocidad Asociada

Por sus profundos impactos sobre la seguridad, alcanzar las adecuadas velocidades vehiculares a través de la rotonda es el objetivo más crítico de diseño. Al requerir que los vehículos operen la rotonda a lo largo de una trayectoria curva, una rotonda bien diseñada reduce las velocidades relativas entre corrientes de tránsito conflictivas. En una rotonda el incremento de la curvatura de la trayectoria del vehículo disminuye la velocidad relativa entre los vehículos que entran y circulan y así usualmente resulta en menores índices de choques de los vehículos que entran-circulan y salen-circulan.

La gráfica referencia las velocidades de operación de vehículos típicos que se aproximan e ingresan a una rotonda; las velocidades de aproximación de 40, 55 y 70 km/h aproximadamente a 100 m desde el centro de la rotonda. La desaceleración comienza antes, con los conductores que circulan operando aproximadamente a la misma velocidad en la rotonda. La velocidad de maniobra relativamente uniforme de todos los conductores en la rotonda significa que los conductores son capaces de elegir más fácilmente sus trayectorias deseadas en una manera segura y eficiente.



**Figura 3.31. Muestra Teórica de Perfil de Velocidad Rotonda Urbana**

En la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauce, la desaceleración de los vehículos no ocurre tal cual se ha descrito anteriormente debido principalmente a que la línea de eje de las vías que concurren a la rotonda no confluyen al centro de la rotonda, por lo que el flujo vehicular en algunas zonas no circula en una trayectoria curva; como consecuencia no hay reducción de velocidades en la aproximación (como se muestra en la figura), esto debido a que el diámetro exterior de la calzada anular es variable y en algunos tramos es inferior a 40 m., resultar difícil lograr una suficiente inflexión de entrada y se incrementa el riesgo de accidentes.

### **3.5.8. Isleta Central**

Dos son las cuestiones básicas que se planean en cuanto a la geometría de la isleta central en las rotondas. Por una parte, su forma y, por otra su tamaño.

Respecto a la forma, se recomienda isletas de forma circular o, a lo sumo, formas ovaladas de baja excentricidad considerando que los cambios de curvatura pueden producir inestabilidad en la trayectoria de los vehículos.

En cuanto al tamaño, el diámetro debe ser lo suficientemente grande como para acomodar el vehículo de diseño, en tanto mantiene adecuada curvatura de deflexión para velocidades de viaje seguros a los vehículos más pequeños. Sin embargo, los anchos de la calzada circulatoria, entradas y salidas, radios de entrada y salida y ángulos de entrada y salida, también juegan un papel significativo en el acomodamiento del vehículo y en la provisión de deflexión.

Los diámetros inscritos más pequeños son mejores para la seguridad general porque ayudan a mantener velocidades más bajas. Sin embargo, en ambientes de alta velocidad la geometría de diseño de la aproximación es más crítica que en ambientes de baja velocidad.

Los diámetros inscritos más grandes permiten la provisión de mejor geometría de aproximación, lo cual conduce a una disminución de las velocidades de aproximación de

los vehículos. Los diámetros inscritos más grandes también reducen el ángulo formado por las trayectorias de los vehículos que entran y que circulan, reduciendo así la velocidad relativa entre estos vehículos y conduciendo a menores índices de choques entre los vehículos que entran y que circulan.



**Figura 3.32. Isleta Central de la Rotonda Ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauce**

La isleta central de la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, tiene un diámetro de círculo inscrito de 20 mts.; según este detalle técnico su función correspondería a una rotonda compacta; este detalle no se cumple por los siguientes motivos:

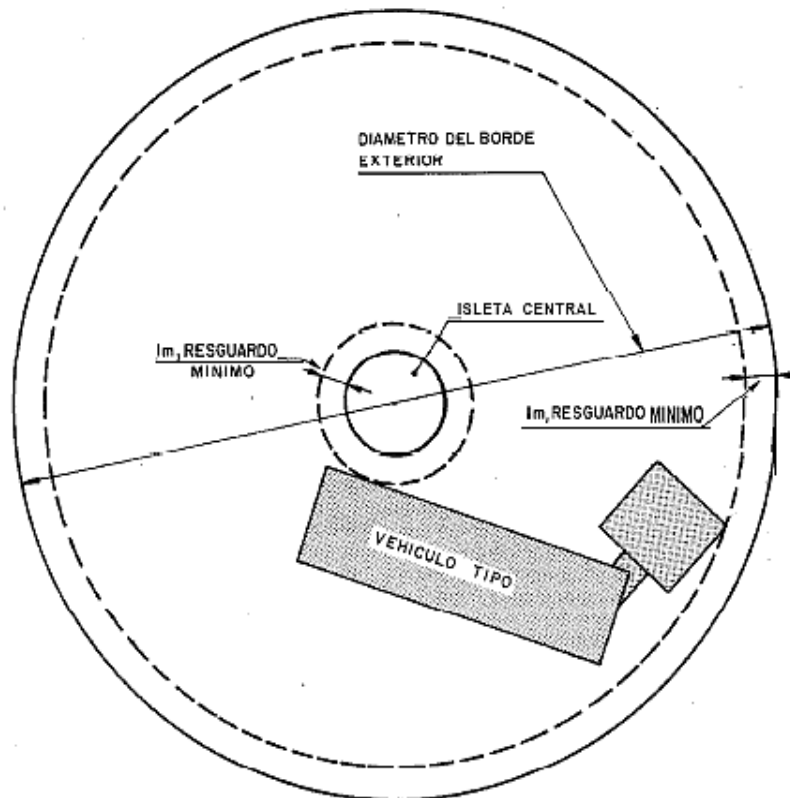
- Una repartición molesta o desigual de ramales.
- Tránsito de automóviles de gran envergadura (autobuses, carros basureros, etc.) por lo que se necesita mayores radios de giro, siendo lo mínimo aconsejable entre un rango de 40 a 50 mts. de isleta central.

- El volumen de tráfico es muy importante, la fluidez del mismo dependerá no sólo del número de carriles sino que por razones geométricas es necesario un aumento de radio.

Por lo indicado anteriormente no cumple con las mínimas exigencias, la rotonda no brinda funcionalidad para los usuarios desde el punto de vista de la geometría de la isleta central.

### 3.5.9. Calzada Anular o Anillo

Los anchos de las entradas y los requerimientos de giro del vehículo de diseño determinan el ancho requerido de la calzada circulatoria. En general, para determinar el ancho de dicha calzada debe ser constante y comprendida entre el 100 y el 120 % de la anchura máxima de entrada, sin exceder de 15m.; salvo que el diámetro del borde exterior sea inferior a 36 m, en cuyo caso se estará a lo indicado en la figura siguiente:



**Figura 3.33. Calzada Anular**

*Anchuras requeridas para el giro del vehículo tipo en glorietas normales pequeñas*

<b>Diámetro de la isleta central (m)</b>	<b>Borde exterior (m)</b>
4,0	28,0
6,0	28,8
8,0	29,8
10,0	30,8
12,0	32,0
14,0	33,2
16,0	34,6
18,0	36,0

**Cuadro 3.20. Anchos de Giro del Vehículo Tipo en Glorietas**

En las rotondas de carril simple la calzada circulatoria debe acomodar exactamente el vehículo de mayor envergadura. En el caso de las rotondas de carril doble usualmente el ancho de la calzada circulatoria no está definido por el vehículo de mayor envergadura sino al ancho requerido por uno, dos o tres vehículos según el número de carriles en la entrada más ancha para atravesar simultáneamente la rotonda debe usarse para establecer el ancho de la calzada circulatoria. La combinación de los tipos de vehículos a acomodar lado a lado depende de las específicas condiciones de tránsito en cada lugar.

En el caso de la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, con respecto al ancho de calzada tampoco cumplen con los requisitos por las siguientes consideraciones:

- Ninguna de las entradas satisface el ancho de calzada circular constante en un 120 % superior al ancho de la entrada más amplia. El ancho de la entrada es de 8 m. tendríamos que tener un ancho de calzada circular constante de 17,6 m. pero el ancho más amplio de la calzada circular es de 13 m. por lo tanto no cumple con las especificaciones mínimas.
- El ancho de calzada no es constante en toda la rotonda variando desde un mínimo de 9 mts. hasta un máximo de 13 mts.



**Figura 3.34. Calzada Anular en la Rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces**

### **3.5.10. Ramales de Entrada y Salida**

El diseño de una entrada debe, por un lado, incitar a los usuarios a reducir la velocidad de aproximación a la rotonda, y por tanto, permitir el paso del tráfico con una buena fluidez.

El diseño de las salidas debe permitir que los vehículos circulantes por el anillo puedan abandonarlo sin producir ninguna alteración en el resto de los vehículos que circulan por él, todo esto también sin incitar a un aumento de la velocidad al abandonar la calzada anular.

Es preferible, siempre que los volúmenes de tráfico lo permitan, que las entradas tengan un solo carril, de esta manera se incita a los conductores, a reducir la velocidad, facilitando a la vez el cruce de los peatones. Sin embargo muy a menudo las condiciones del tráfico obligan a disponer de mayor número de carriles en las entradas.

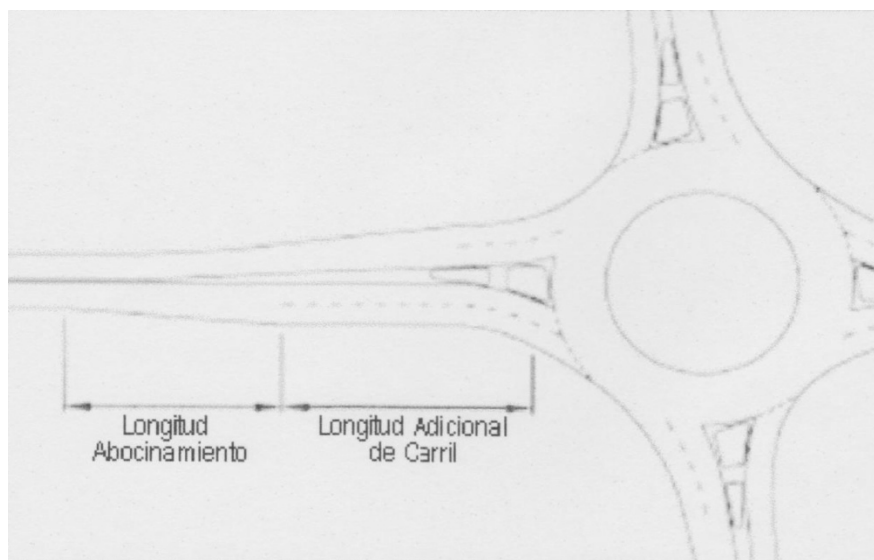
Cuando los tráficos son importantes o la entrada se halla próxima a la saturación resulta conveniente aplicar un abocamiento en la entrada, aumentando el número de carriles con respecto a los del resto del ramal.

El ancho de entrada o ramal de entrada es el mayor determinante de la capacidad de una rotonda, la cual no depende netamente del número de carriles que entran, sino del ancho total de entrada. En otras palabras la capacidad de entrada crece uniformemente con los incrementos del ancho de entrada. Por lo tanto, los tamaños básicos de las calzadas de entradas y circulatoria se describen generalmente en términos de ancho, no en número de carriles las entradas de anchos suficiente como para acomodar múltiples corrientes de tránsito por lo menos 6 metros., se pintan con líneas para designar carriles separados.

La anchura aconsejada para una salida de un solo carril es de 5 metros en el punto en que se abandona la calzada anular, pero se recomienda que la salida también sea abocinada, creándose así una transición hacia la anchura definitiva del ramal (es absurdo mantener una anchura de 5 metros a lo largo de toda la salida); para salidas con dos carriles puede ser suficiente una anchura de 8 a 9 metros.

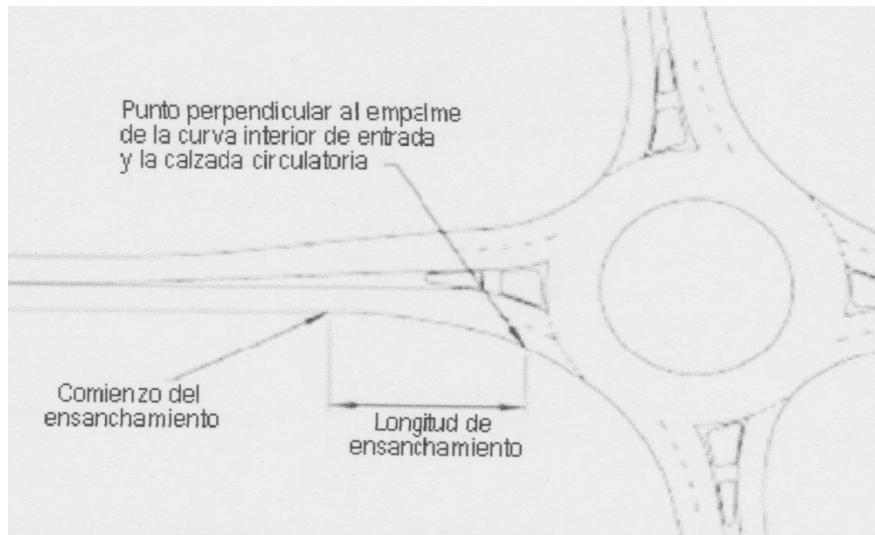
Cuando los requerimientos sólo pueden satisfacerse mediante el ensanchamiento del ancho de entrada, esto puede hacerse de dos formas:

- Agregando un carril total corriente arriba de la rotonda, y mantener carriles paralelos través de la geometría de entrada.



**Figura 3.35. Ensanchamiento de Aproximación Mediante la Adición de un Carril Total**

- Ensanchando gradualmente la aproximación (abocinamiento) a través de la geometría de entrada.



**Figura 3.36. Ensanchamiento de Aproximación Mediante el Abocinamiento de la Entrada**

El ingreso a la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, demuestra que no se cumple la proporción mínima necesaria para el tráfico vehicular entre el ingreso y la calzada anular; actualmente los anchos de ingresos son de 6, 7 y 8 mts., y la calzada anular no es constante, variando desde el empalme entre estos elementos geométricos de 13, 12, 10 y 9 mts.; la norma y las evaluaciones al funcionamiento de rotondas han determinado que la proporción del ancho de ingreso con respecto al ancho de calzada debe oscilar entre un 120 % superior el ancho de la entrada más amplia de la rotonda, entonces la calzada de la rotonda debería tener 17.6 mts. (constante) para ese ancho de ingreso pero no se cumple.

Se recomienda que las entradas se produzcan en curva con un radio interior comprendido entre los 15 y los 20 metros, evitándose radios mayores, con esto se consigue que los vehículos entrantes reduzcan su velocidad a fin de ceder el paso a los que ya circulan por el anillo, y además también se facilita su incorporación a la calzada anular ya que esta se produce de manera tangencial.

Los radios de salida suelen ser algo mayores que los de las entradas y están en el rango comprendido entre los 20 y los 30 metros, dependiendo de las características del lugar, el volumen del tráfico de peatones y el de vehículos largos.

### **3.5.11. Visibilidad en la Rotonda**

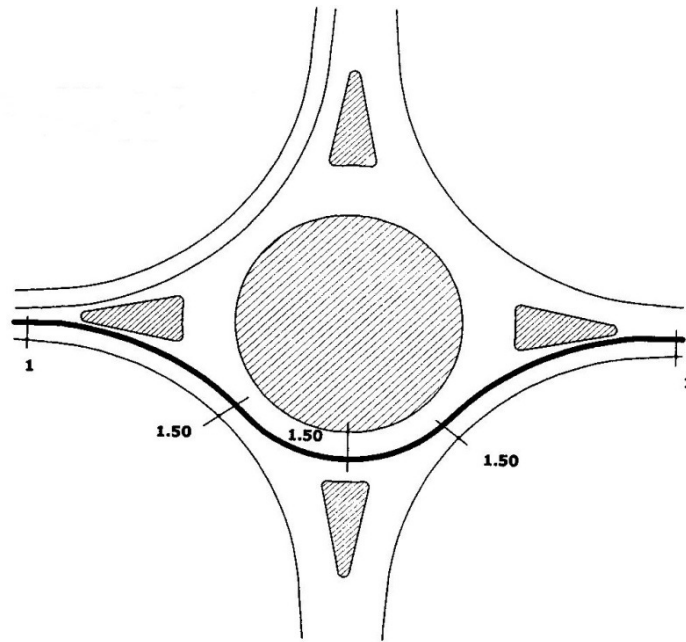
La visibilidad en la rotonda tiene una relación directa con la trayectoria vehicular y obviamente con la velocidad, en consecuencia existe una trayectoria más veloz permitida por la geometría. Es la más suave y plana posible para un vehículo simple en ausencia de otro tránsito e ignorando todas las marcas de carril- viajando a través de la entrada, alrededor de la isleta central y saliendo. Usualmente la trayectoria más veloz posible es el movimiento directo, pero en algunos casos puede ser un movimiento de giro a la derecha.

Por ejemplo para un vehículo de 2 mts., de ancho que mantiene una separación de 0,5 mts., desde una línea central de calzada o cordón de hormigón y al ras con una línea de borde pintada.

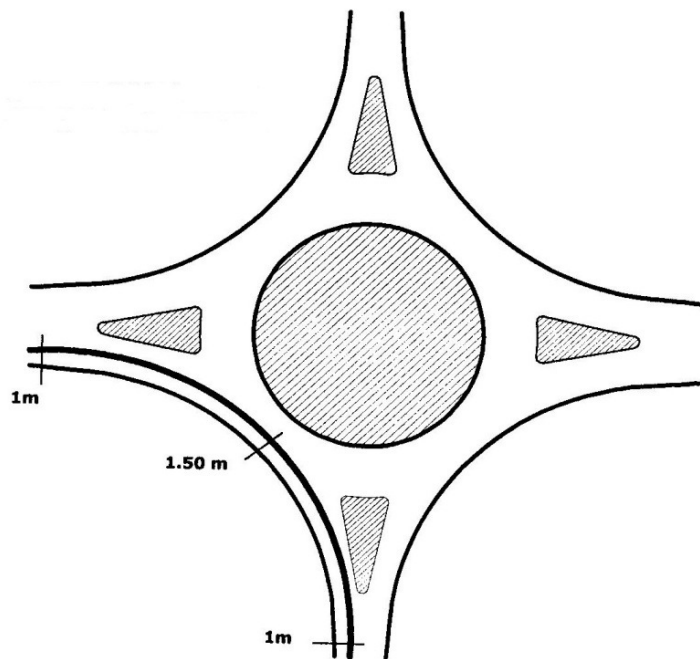
Así la línea central de la trayectoria del vehículo se determinan con las distancias correspondientes hasta particulares características geométricas como:

- 1.5 m desde un cordón.
- 1.5 m desde una línea central de calzada.
- 1.0 desde una línea pintada de borde.

En los cuadros se ilustran las trayectorias en una rotonda de carril doble y una de carril simple respectivamente:



**Figura 3.37. Trayectoria Vehicular Rotonda Urbana**



**Figura 3.38. Trayectoria Vehicular para la Maniobra de Giro Derecha**

Como se detallan en las gráficas la trayectoria más veloz para el movimiento recto de una rotonda es una serie de curvas reversas (es decir, curva a la derecha seguida de curva a la izquierda, seguida de curva a la derecha).

En la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, la mayoría de las curvas incrementan el tiempo que toma el conductor para girar el volante en la dirección deseada, en consecuencia las maniobras realizadas por los conductores en la rotonda son menos suaves e incómodas; a este inconveniente hay que añadirle las zonas de entre cruzamiento habilitadas, tal es el caso más crítico en la intersección A con la intersección de flujo vehicular opuesto; por lo tanto no se está cumpliendo con el funcionamiento adecuado de una rotonda, obviamente se incrementa la inseguridad y el riesgo de accidentes.

También en el acceso A no se cumple con la visibilidad en la trayectoria vehicular para la maniobra de giro derecha ya que el radio de giro es de 3,96 m., muy pequeño para algunos automóviles, la maniobra de giro es muy cerrada y peligrosa por lo tanto se tiene que ir a dar una vuelta por la rotonda para poder hacer una conexión con el acceso de salida y tener una buena visibilidad.



**Figura 3.39. Maniobra de Giro Derecha en el Acceso A**

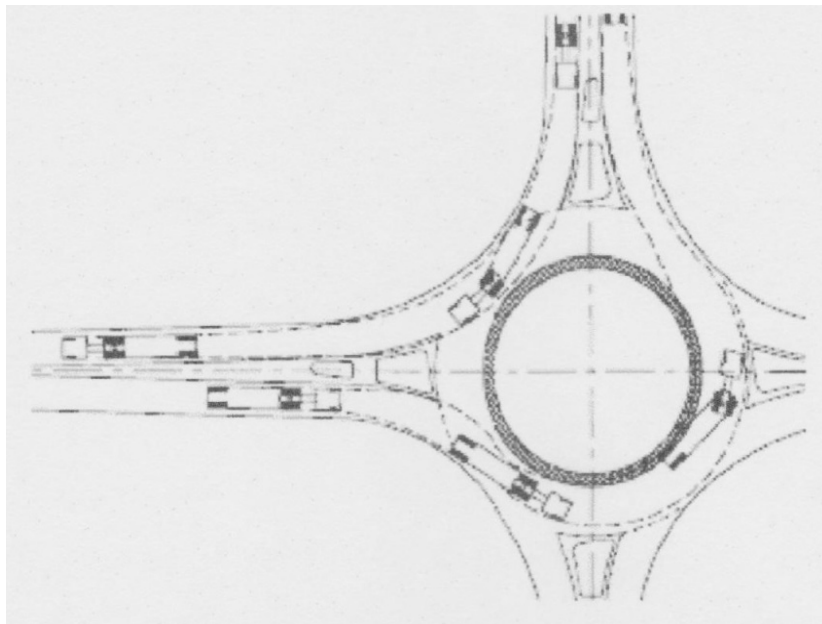
### 3.5.12. Vehículo de Diseño

Otro factor importante que determina el trazado de una rotonda es la necesidad de acomodar el vehículo motorizado más grande que probablemente use la intersección.

Los requerimientos de la trayectoria de giro de este vehículo designado establecen muchas de las dimensiones de la rotonda.

En un diseño la elección del vehículo de diseño variará según los tipos de calzadas de aproximación y las características del uso del área circundante; por ejemplo para determinar el ancho de giro requerido para vehículos pesados en una rotonda urbana, se deben utilizar dos vehículos tipo (preferentemente los de mayor envergadura de servicio público y privado), esta combinación proyectará las dimensiones para los requerimientos que se tengan durante la operabilidad de la rotonda; garantizando el movimiento vehicular y la seguridad.

En general se necesitan rotondas más grandes para acomodar vehículos grandes en tanto mantienen velocidades bajas para los vehículos de pasajeros.



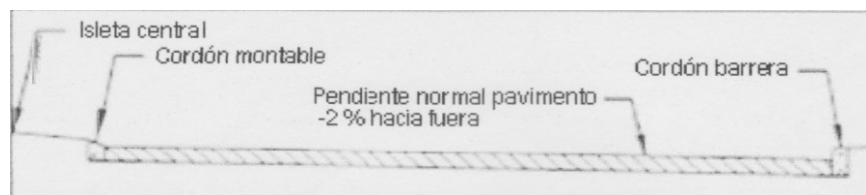
**Figura 3.40. Trayectoria Vehicular de Vehículos Pesados en Rotonda Urbana**

### 3.5.13. Peralte

Como práctica general para la calzada circulatoria deberá usarse una pendiente transversal del 2,00 % hacia fuera desde la isleta central. Esta técnica de peraltado hacia fuera se recomienda por cuatro razones principales:

- Promueve la seguridad al elevar la cota de la isleta central y mejorar la visibilidad.
- Promueve velocidades de circulación más bajas.
- Minimiza los quiebres en las pendientes transversales de los carriles de entrada y salida.
- Ayuda a drenar el agua superficial hacia el exterior de la rotonda.

La pendiente transversal de diseño hacia fuera significa que los vehículos que hacen movimientos directos y los que giran a la izquierda deben maniobrar la rotonda con peralte negativo. Excesivo peralte negativo puede resultar en un incremento de choques de vehículos e incidentes como pérdidas de carga de los camiones, particularmente si las velocidades son altas. Sin embargo, en el entorno de la intersección generalmente los conductores esperan viajar a velocidades más lentas y aceptarán mayor fuerza lateral causada por un peralte razonablemente adverso.



**Figura 3.41. Gráfico del Peralte en la Sección Transversal de la Calzada**

En la rotonda ubicada entre la Av. Héroes de la Independencia y Av. Los Sauces, debido a la topografía que presenta podemos evidenciar que los peraltes son muy variados, en algunos lugares los peraltes son hacia adentro lo cual ocasiona que los vehículos no tengan una buena visibilidad de la calzada anular y, en general de la rotonda, para los vehículos que se aproximan y tampoco tienden a tener un buen encuentro entre la calzada anular y los ramales de entrada o salida.

En la calzada anular de una glorieta requiere una cierta pendiente transversal (mínimo 2%), cómo podemos observar en el siguiente cuadro tenemos diferentes pendientes por ende diferentes peraltes y un contra peralte. Lo cual en algunos sectores no cumplen con la pendiente mínima.

Nº	Ancho de Calzada (m)	C. Izquierda (msnm)	C. Derecha (msnm)	Pendiente (%)
1	9	1909.61	1909.28	3.67
2	12	1909.71	1909.17	4.50
3	10	1910.20	1910.29	-0.90
4	13	1910.28	1910.19	0.69

**Cuadro 3.21. Pendientes Transversales en la Calzada Anular**

### **3.6. PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES**

#### **3.6.1. Solución de Alto Costo**

##### **3.6.1.1. Construcción de un Paso a Desnivel en la Rotonda**

Después de haber realizado el estudio de tráfico obtenemos que en dos accesos los volúmenes de tráfico es elevado, con velocidades altas por lo cual los vehículos deben reducir su velocidad o detenerse para permitir el paso del tránsito cruzado y el que gira, ocasionando muchos puntos de peligro, congestionamiento, colas de espera y pérdidas de tiempo. La solución propuesta para forma más perfecta de cruce, para no disminuir la capacidad de la vía y lograr una mayor seguridad, es el paso a desnivel.

El paso a desnivel entre las vías, consiste en puentes para llevar una vía por encima de la otra. Esta solución, es sin embargo de costo elevado por lo cual su construcción es siempre lenta.

Las ventajas de los pasos a desnivel son:

- Puede adaptarse a cualquier vía que se cruzan
- Mayor capacidad de la intersección
- Mayor comodidad y confort
- Menor costo de operación para el usuario

<b>Paso a Desnivel en la Rotonda</b>	<b>Ver Plano 1/6</b>
<b>Plano Topográfico de la Rotonda</b>	<b>Ver Plano 2/6</b>
<b>Plano Planta-Perfil Paso a Desnivel</b>	<b>Ver Planos 3/6,4/6</b>

### 3.6.2 Solución de Bajo Costo

#### 3.6.2.1 Prohibición de Paradas Antes y Después de la Rotonda

DATOS	ACCESO A	ACCESO B	ACCESO C
% GIRO IZQUIERDA (GI)	93.28	12.77	20.92
% GIRO DERECHA (GD)	6.72	0.00	53.64
% RECTO	0.00	87.23	25.44
% VEHÍCULOS PESADOS (VP)	0.22	2.06	0.45
% VEHÍCULOS MEDIANOS (VM)	11.69	6.67	8.14
% VEHÍCULOS LIVIANOS	88.09	91.27	91.42
% VEHÍCULOS PÚBLICOS	61.93	62.77	64.50
% VEHÍCULOS PARTICULARES	38.07	37.23	35.50
VOLUMEN V EN EL ACCESO (Veh/h)	496	134	873
ANCHO DE CARRIL (m)	7.50	8.00	7.50
PARADAS ANTES INTERSECCIÓN	NO	NO	NO
PARADAS DESPUES INTERSECCIÓN	NO	NO	NO
ESTACIONAMIENTO PERMITIDO	NO	NO	NO
ZONA	INTERMEDIA	INTERMEDIA	INTERMEDIA
NUMERO DE SENTIDOS	1	1	1
NUMERO DE CARRILES EN EL ACCESO	2	2	2

Cuadro 3.22. Datos para Cálculo de la Capacidad en los Accesos

#### FÓRMULAS PARA EL CALCULO DE LA CAPACIDAD

CAPACIDAD REAL	CAPACIDAD PRÁCTICA	FACTOR DE VP	FACTOR DE GI	FACTOR DE GD
$C_{Real} = C_{Pract} \cdot f_{Red}$	$C_{Pract} = C_{Teo} \cdot 0.9 \cdot f_p \cdot f_{VP} \cdot f_{GI} \cdot f_{GD}$	$f_{VP} = 1 - \frac{(\%VP - 10)}{100}$	$f_{GI} = 1 - \frac{(\%GI - 10)}{100}$	$f_{GD} = 1 - \frac{(\%GD - 10)}{100} \cdot 0.5$

#### CÁLCULO DE LA CAPACIDAD EN LOS ACCESOS

CAPACIDAD DEL LOS ACCESOS	ACCESO	CAPACIDAD IDEAL	CAPACIDAD PRÁCTICA	CAPACIDAD REAL	FACTOR DE PARADAS ANTES INT.	FACTOR DE PARADAS DESP. INT.	FACTOR GIRO IZQUIERDA	FACTOR GIRO DERECHA	FACTOR DE VEH. PESADOS
1512	A	2100	1890	1512.00	1.000	1.000	0.800	1.000	1.000
	B	2200	1980	1925.20	1.000	1.000	0.972	1.000	1.000
	C	2100	1890	1515.24	1.000	1.000	0.891	0.900	1.000

La capacidad en el Acceso A aumenta un 11,17 %, en el Acceso B aumenta un 11,14 % y en el Acceso C aumenta un 23,47 % con esto mejora la transitabilidad en la intersección.

## CÁLCULO DEL NIVEL DE SERVICIO

$$NS = \frac{V}{C_{REAL}}$$

NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA ENTRADAS DE INTERSECCIONES AISLADAS INDEPENDIENTES		
NIVEL DE SERVICIO	DESCRIPCIÓN DEL FLUJO DE TRANSITO	FACTOR DE CARGA
A	Flujo Libre	0.0
B	Flujo Estable	≤ 0,10
C	Flujo Estable	≤ 0,30
D	Próximo al Flujo Inestable	≤ 0,70
E	Flujo Inestable	≤ 1,0
F	Flujo Forzado	-b

Cuadro 3.23. Niveles de Servicio

ACCESO	VOLUMEN	CAPACIDAD	NIVEL DE SERVICIO	NS	NIVEL DE SERVICIO DE LOS ACCESOS
A	496	1512	0.328	D	<b>D</b>
B	134	1925	0.070	B	
C	873	1515	0.576	D	

Se observa una mejora en todos los parámetros, aumenta la capacidad y mejora el nivel de servicio. En los accesos podemos ver que cambia de un nivel de servicio de E a un nivel de servicio D.

Y una vez puesto en funcionamiento el nuevo Puente Bicentenario se reducirá aun más los niveles de servicio, esto debido a que el nuevo puente vehicular sobre el río Guadalquivir y la Avenida S/N es una solución de alto costo, ya que permitirá la prolongación de la calle Sucre hasta la Av. Los Sauces que se encuentra en el Barrio Germán Busch y la unión del Puente Peregrino hasta el Puente San Martín a través de la nueva avenida.

Esta solución es muy importante porque ayudará a bajar el volumen del tráfico vehicular de la avenida Héroes de la Independencia (que sería la vía del Acceso C en el estudio), que se genera con el ingreso de la gran cantidad de vehículos que pasan por el puente San Martín, también podrá facilitar la vinculación de la Zona alta con el Centro de la Ciudad siendo esta una alternativa para el descongestionamiento de toda la zona.

En la rotonda estudiada obtendremos volúmenes más bajos y capacidades más altas, esto permitiría implementar una semaforización y así poder ordenar la circulación del tránsito, reducir la frecuencia de cierto tipo de accidentes e interrumpir periódicamente los volúmenes de tránsito de un acceso, para conceder el paso de vehículos de los otros accesos y la gran cantidad de peatones que circula por la rotonda en horas de entrada y salida de la Universidad Domingo Savio.

**Plano con el Puente Bicentenario y la Avenida S/N      Ver plano 5/6**

### **3.5.2.2 Señalización**

La circulación vehicular y peatonal debe ser guiada y regulada a fin de que pueda llevarse a cabo en forma segura, fluída, ordenada y cómoda, siendo la señalización de tránsito un elemento fundamental para alcanzar tales objetivos. A través de la señalización se indica a conductores y peatones la forma correcta y segura de transitar por la vía, evitando riesgos y demoras innecesarias.

Es por esto que se plantea una señalización en la rotonda como una solución de bajo costo ya que con ellas disminuiríamos así los riesgos de accidentes y brindaremos una seguridad adecuada.

**Plano con la Señalización en la Rotonda**

**Ver plano 6/6**

## **CAPÍTULO IV**

### **4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **4.1. Conclusiones**

Se observa que los valores obtenidos de la capacidad de la rotonda están muy próximos a la regla de los 1500 veh., esto indica que actualmente la rotonda funciona al límite de su capacidad (Acceso C con 1358 veh.). El nivel de servicio que presta los accesos es muy bajo y por lo tanto tiene un Nivel de Servicio E donde el flujo es inestable porque en los accesos circula una gran cantidad de vehículos.

En el medio no existe una aplicación correcta de diseños y construcción de rotondas por lo que ante el crecimiento del parque automotor no son medios que brinden una alternativa confortable y técnica al tráfico vehicular, al contrario se han convertido en zonas de congestión, riesgo de accidentes, etc., en el caso de la rotonda objeto de estudio se han identificado graves errores en su geometría entre los principales la variación del ancho de calzada del anillo circular (9,00 m., 10,00 m., 12,00 m. y 13,00 m.), el diámetro exterior es variable y en algunos tramos es inferior a 40 m., resulta difícil lograr una suficiente inflexión en la rotonda, el peraltado no cumple llegando a tener en algunas zonas -0,90 % ( 2,00 % lo mínimo admisible), por lo cual al implementar una rotonda se debe tomar muy en cuenta todas las características geométricas para así tener un buen funcionamiento.

Se identificó la insuficiencia de señalización, esto ocasiona accidentes y un mal funcionamiento de la rotonda, lo cual no brinda una seguridad adecuada tanto a peatones como a conductores que transitan en la zona.

Los vehículos que circulan en la rotonda necesariamente deben reducir su velocidad o detenerse para permitir el paso del tránsito de los accesos, ya que los vehículos que entran por los accesos llegan con velocidades altas y no reducen su velocidad para hacer la maniobra, ocasionando muchos puntos de peligro, congestión, colas de espera y

perdidas de tiempo. Esto quiere decir que la rotonda no está cumpliendo su función de reducir las velocidades de entrada y tampoco la prioridad de los vehículos que circulan por la calzada anular frente aquellos que pretenden entrar en ella.

En las horas pico el problema del congestionamiento es evidente a simple vista, se observa las colas de espera y demoras que la generan la gran cantidad de vehículos que circulan por la rotonda.

La rotonda no cuenta con una semaforización porque la rotonda en vez de bajar el nivel de servicio aumentamos de un E a un F un flujo saturado, tendríamos demoras de 203,41 seg., y una pérdida de tiempo para el conductor. Por lo tanto dejaría de funcionar como rotonda y se volvería una intersección convencional, en vez de ayudarnos al ordenamiento vehicular nos llevaría a un congestionamiento.

Un aspecto muy importante es la escasa educación vial que presentan los conductores y peatones, ya que infringen las normas establecidas por la Unidad Operativa de Tránsito, causando un mal funcionamiento de la Rotonda.

#### **4.2. Recomendaciones**

Para este tipo de estudio se recomienda realizar aforos manuales por las ventajas que ofrece, ya que con este método se puede determinar más características del tránsito como ser la composición vehicular, reparto por sentidos y el tránsito promedio, siendo más efectivo y económico que cualquier otro método.

Las rotondas con geometrías adecuadas permiten altos volúmenes de tránsito sin regulación semafórica; su sencillez y uniformidad de funcionamiento facilitan su comprensión por el usuario.

Se recomienda a las autoridades ver la manera de retirar a la Estación de Servicio Tarija ubicado a lado de la rotonda ya que es un peligro constante para los peatones y conductores

por la mala ubicación que tiene el surtidor. Los conductores tienen que hacer un giro forzado debido a las condiciones que llegan a esa parte de la rotonda ya que entran con velocidades sumamente altas, debido a que no circulan con una trayectoria curva en la rotonda para reducir las velocidades, por lo tanto se incrementa el riesgo de accidentes en ese sector.

Las paradas antes y después de la rotonda debe ser prohibidas así se podrá aumentar más capacidad de un E a un D, disminuir el nivel de servicios y no interrumpir el flujo vehicular.

Se recomienda la señalización de las rotondas y que se advierta de su presencia a los conductores, de tal forma que una vez comprendido del tipo de intersección de que se trata y el mecanismo de funcionamiento que la rige, lleguen con las velocidades adecuadas para realizar las diferentes maniobras.

Se debería implementar el Paso a Desnivel en el acceso C, esto debido a la alta velocidad con la que entran a la rotonda, para no interrumpir el flujo vehicular en el Acceso A y así no ocasionar muchos puntos de peligro cuando se quiere permitir el paso del tránsito cruzado y de giro.

Una vez puesto en funcionamiento el Puente Bicentenario se reducirá los volúmenes en los accesos de la rotonda mejorando su Nivel de Servicio y se podría hacer un estudio de semaforización para el ordenamiento vehicular y el paso para los peatones.

Se debe hacer mayor énfasis en la educación vial que tienen los conductores y peatones, hacer que los mismos cumplan las normas establecidas. Llevar a cabo una formación permanente desde la niñez, enseñando a combatir la falta de respeto por parte de los usuarios hacia las normas de tránsito, evitar la conducción indisciplinada, etc.