



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

## **TESIS**

**“INFLUENCIA DE LA SEMAFORIZACION FORZADA Y EL  
NIVEL DE SERVICIO DE LA ROTONDA - PARQUE DE LOS  
HEROES HUANCAYO 2017”**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER  
ALBERTS EMERSON COLLAO GAMARRA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL**

**HUANCAYO – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis Padres y Hermanos por su gran apoyo  
en mi vida de universitario y por haber  
confiado en mí en todas las ocasiones.

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por brindarme salud y por darles salud a mis padres que siempre estuvieron dirigiéndome en cada uno de mis pasos.

## RESUMEN

La Rotonda – Parque de los Heroes, en la investigación haremos un análisis de el nivel de servicio de la rotonda tomando en cuenta la realidad actual que tiene esta para así poder identificar si la semaforización que hoy en día esta controlando la circulación de ella, es beneficiosa o perjudicial para el funcionamiento de la rotonda como una infraestructura no semaforizada.

Se analizo el grado de saturación de la rotonda mencionada, se realizo el cálculo de las demoras y se determino el nivel de servicio actual, a continuación, se hizo una comparación de la rotonda semaforizada como de la rotonda sin semaforizar.

Los datos del aforo se obtuvieron de un aforo manual realizado en dicha rotonda con la ayuda de cámaras filmadoras ubicadas en sitios específicos para así poder ver la dirección que tomaban cada vehiculo, luego viendo las grabaciones se procedio a hacer el conteo de cada vehiculo siguiendo la dirección que tomaban.

Se proceo todos los datos basándonos en el HCM, así mismo como herramienta de modelación usamos el synchro traffic 8.0 que ayudo a analizar el problema que surge en estos días, finalmente se vio que la semaforización ayuda en ciertos aspectos y perjudica en otros, lo ideal seria tener una buena señalización de los carriles y una adecuada educación vial.

## SUMMARY

La Rotonda - Parque de los Heroes, in the investigation we will make an analysis of the level of service of the roundabout taking into account the current reality that has this so as to be able to identify if the traffic that today is controlling the circulation of it, is beneficial or detrimental to the operation of the roundabout as an unmanned infrastructure.

The degree of saturation of the aforementioned roundabout was analyzed, the calculation of the delays was made and the current service level was determined, then a comparison was made of the traffic signal roundabout as the roundabout without semaphoretic.

The data of the gauging were obtained from a manual gauging performed at that roundabout with the help of camcorders located in specific places so as to be able to see the direction each vehicle took, then watching the recordings proceeded to do the counting of each vehicle following the direction they took.

All data based on the HCM, as well as modeling tool we used synchro traffic 8.0 that helped analyze the problem that arises in these days, finally saw that the semaforización helps in certain aspects and hurts in others, the ideal would be to have a good sign of the lanes and an adequate road education.

## INDICE

<b>RESUMEN</b>	<b>iv</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>v</b>
<b>INDICE</b>	<b>vi</b>
<b>INDICE DE FIGURAS</b>	<b>x</b>
<b>INDICE DE TABLAS</b>	<b>xi</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b>	<b>xii</b>
<b>CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</b>	<b>1</b>
1.1. Planteamiento del Problema	1
1.2. Formulación del problema	1
1.2.1. Problema General	1
1.2.2. Problemas Específicos	1
1.3. Objetivos De La Investigación	2
1.3.1. Objetivo General	2
1.3.2. Objetivos Específicos	2
1.4. Justificación del Estudio	3
1.5. Limitaciones del estudio	3
<b>CAPITULO II: MARCO TEÓRICO</b>	<b>4</b>
2.1. Antecedentes del Estudio	4
2.1.1. Antecedente Internacional	4
2.1.2. Antecedente Nacional	4
2.1.3. Antecedente Local	5
2.1.4. Referencias Históricas	5
2.2. Bases Teóricas	8
2.2.1. Marco Legal	8
2.2.2. Disposiciones Generales	9
2.2.3. Volumen De Transito	12
2.2.4. Sistema Funcional De Vías Urbanas	12

2.2.5.	Subsistema Primario.....	13
2.2.6.	Vía Expresa .....	14
2.2.7.	Vía Arterial.....	15
2.2.8.	Subsistema Secundario.....	16
2.2.9.	Vía Colectora .....	16
2.2.10.	Vía Local .....	17
2.2.11.	Capacidad Vial .....	17
2.2.12.	Volumen De Transito.....	18
2.2.13.	Velocidad.....	18
2.2.14.	Densidad .....	20
2.2.15.	Dispositivo Para El Control De Transito .....	20
2.2.16.	Conteos o Aforos Vehiculares .....	24
2.2.17.	Condiciones Prevalcientes .....	27
2.2.18.	Nivel De Servicio .....	28
2.2.19.	Criterios De Análisis De Capacidad Y Niveles De Servicio .....	30
2.2.20.	Intersecciones Semaforzadas .....	35
2.2.21.	Semáforos.....	46
2.2.22.	Dispositivos Para El Control Del Tránsito.....	56
2.2.23.	Simulación De Tráfico Vehicular .....	73
2.2.24.	Intersecciones Viales .....	80
2.2.25.	Intersecciones Giratorias O Glorietas.....	81
2.3.	Definición De Términos Básicos .....	84
2.4.	Hipotesis .....	92
2.4.1.	Hipótesis General .....	92
2.4.2.	Hipótesis Específicas.....	92
2.5.	Variables .....	92
2.5.1.	Variable Dependiente .....	92

2.5.2. Variables Independientes .....	93
2.5.3. Definición conceptual de la variable .....	93
2.5.4. Definición operacional de la variable .....	93
2.5.5. Operacionalización de la variable .....	94
<b>CAPITULO III: METODOLOGIA.....</b>	<b>95</b>
3.1. Diseño De La Investigación.....	95
3.2. Método De Investigación.....	96
3.2.1. Tipo De Investigación .....	96
3.2.2. Nivel De Investigación .....	96
3.2.3. Método De Investigación .....	97
3.3. Población Y Muestra De La Investigación.....	97
3.3.1. Población.....	97
3.3.2. Muestra.....	97
3.4. Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos .....	97
3.4.1. Técnicas .....	97
3.4.2. Instrumentos.....	98
3.4.3. Importancia.....	98
<b>CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>99</b>
4.1. Condiciones Prevalcientes De La Línea De Estudio .....	99
4.2. Módulo De Ajuste De Volúmenes .....	102
4.3. Módulo De Ajuste De Flujo De Saturación .....	105
4.4. Módulo De Análisis De Capacidad.....	106
4.5. Nivel De Servicio.....	108
4.6. Ciclo Óptimo.....	110
4.7. Aplicación Del Programa Synchro 8.....	111
3.7.1. Observación De La Línea De Estudio .....	111
3.7.2. Proyección En La Línea De Estudio.....	113
<b>CAPITULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....</b>	<b>116</b>
5.1. Análisis De Capacidad.....	116

5.2. Análisis De Capacidad De La Rotonda.....	116
<b>CAPITULO VI: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>118</b>
6.1. Prueba De Hipótesis General.....	118
6.2. Prueba De Hipótesis Específicas .....	118
<b>CAPITULO VII</b>	
7.1. Conclusiones .....	120
7.2. Recomendaciones .....	121
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	

## INDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1 Diseño de la Investigación .....</b>	<b>95</b>
<b>Figura 2 Intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases. ....</b>	<b>23</b>
<b>Figura 3 Diagrama Tiempo - Distancia .....</b>	<b>55</b>
<b>Figura 4 Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos HCM 2000 Manual.....</b>	<b>74</b>
<b>Figura 5 Datos necesarios para el análisis de cada grupo de carriles.....</b>	<b>75</b>
<b>Figura 6 Expresiones para calcular los diferentes factores de ajuste. ....</b>	<b>78</b>
<b>Figura 7 Recorrido Optimo (azul) y Critico (rojo) .....</b>	<b>82</b>
<b>Figura 8 Ubicación de Línea de Estudio .....</b>	<b>100</b>
<b>Figura 9 Rotonda Parque Los Héroes .....</b>	<b>101</b>
<b>Figura 10 Modelamiento de línea de estudio .....</b>	<b>111</b>
<b>Figura 11 Configuración de carril .....</b>	<b>112</b>
<b>Figura 12 Ajuste de volumen.....</b>	<b>113</b>

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1 Medidas de Eficiencia para la Definición de los Niveles de Servicio</b>	<b>34</b>
<b>Tabla 2 Factor de Ajuste por Anchura de Carril</b> .....	<b>39</b>
<b>Tabla 3 Factor de Ajuste por Vehículos Pesados</b> .....	<b>39</b>
<b>Tabla 4 Factor de Ajuste por Pendiente de Acceso</b> .....	<b>40</b>
<b>Tabla 5 Factor de Ajuste por Estacionamiento</b> .....	<b>40</b>
<b>Tabla 6 Factor de Ajuste por Paradas de Autobuses</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 7 Factor de Ajuste por Localización de la Intersección</b> .....	<b>41</b>
<b>Tabla 8 Factor de Ajuste por Vueltas a la Derecha en el Grupo de Carriles</b> ..	<b>41</b>
<b>Tabla 9 Factor de Ajuste por Vueltas a la Izquierda en el Grupo de Carriles</b> .	<b>42</b>
<b>Tabla 10 Criterios de Nivel de Servicio para Intersecciones</b> .....	<b>46</b>
<b>Tabla 11 Factor de la hora de máxima demanda</b> .....	<b>102</b>
<b>Tabla 12 Módulo de ajuste de volúmenes Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre</b> .....	<b>104</b>
<b>Tabla 13 Módulo de ajuste de flujo de saturación Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre</b> .....	<b>105</b>
<b>Tabla 14 Módulo de análisis de capacidad Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre</b> .....	<b>107</b>
<b>Tabla 15 Nivel de servicio Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre</b> .....	<b>109</b>
<b>Tabla 16 Ciclo de las intersecciones</b> .....	<b>110</b>
<b>Tabla 17 Ciclo óptimo</b> .....	<b>110</b>
<b>Tabla 18 Tasa de crecimiento promedio del parque automotor de la Provincia de Huancayo</b> .....	<b>114</b>
<b>Tabla 19 Proyección de volúmenes para 2022 y 2027</b> .....	<b>115</b>
<b>Tabla 20 CAPACIDAD DE LA ROTONDA SEGUN METODO FRANCES</b> .....	<b>117</b>

## INTRODUCCIÓN

Un tema que toma más importancia y preocupación en los últimos años, es el crecimiento acelerado del flujo de tráfico en las vías de las principales ciudades del Perú años, aspecto que es afectado directamente por el incremento acelerado del parque automotor del 2002 al 2017.

Manejar en las vías principales de Huancayo es entrar en una competencia diaria entre los autos privados, camiones, buses. Las horas picos registradas por los últimos estudios son entre las 7 y 9 de la mañana, por las tardes de 12 a 2 p.m. y en las noches de 6 a 8. El congestionamiento de tráfico se debe al aumento de todo tipo de vehículos que ingresan al centro de la ciudad, también la falta de paraderos para los vehículos de transporte público.

El contraste con la infraestructura vial que ofrece las ciudades para sostener el flujo, es lo que preocupa realmente, pues si la oferta de infraestructura es menor a la demanda se producen problemas de congestionamiento en muchos sectores, creando desde puntos hasta franjas críticas sobre en la **intersección de flujos**. Una herramienta muy valiosa para poder controlar el flujo es la buena gestión de tránsito, ordenamiento de flujos, el respeto por las reglas de tránsito y un buen control, mejoran esta situación.

Existen varios tipos de soluciones aplicables a diferentes tipos de intersecciones todas estas dependiendo del nivel de tráfico que se registra tanto vía principal y secundarias que confluyen la misma, estas soluciones son intersecciones simples con prioridad de paso, glorietas o rotondas, semaforización y pasos a desnivel.

**Las rotondas** son un tipo de intersección no semaforizada, muy usado a nivel del Perú y en otros países, Huancayo cuenta con varias de estas estructuras, estas permiten que el un tráfico ininterrumpido, pues contiene tramos que confluyen y se comunican a través de un anillo en el que se establece una circulación rotatoria alrededor de una isleta central

La presente investigación titulada: **“INFUENCIA DE LA SEMAFORIZACION FORZADA EN EL NIVEL DE SERVICIO DE LA ROTONDA - PARQUE DE LOS HEROES HUANCAYO 2017”**. El estudio aplicara la evaluación de nivel de servicio de la rotonda del parque de los Héroes en Chilca, ya que se viene aplicando semáforos dentro de los flujos anulares que distorsiona el propósito de la rotonda, además se analizara la propuesta de la inclusión de mejora en la señalización y la rotonda turbo.

# CAPITULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

## 1.1. Planteamiento del Problema

La rotonda – Parque de los Héroes ubicado en Chilca es una infraestructura en la cual no hay necesidad del uso de semáforos, la Municipalidad Distrital de Chilca realizo una semaforización forzada a la rotonda lo cual según el tráfico que muestra esta zona en las horas punta, los semáforos afectan el funcionamiento de dicha estructura y causa un malestar a los usuarios que transitan por esta zona, por lo cual es necesario hacer el estudio de esta rotonda y sus accesos para poder evaluar si los semáforos benefician o afectan el funcionamiento de esta.

## 1.2. Formulación del problema

### 1.2.1. Problema General

¿Cuál es el efecto de la semaforización forzada en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017?

### 1.2.2. Problemas Específicos

- a) ¿Cómo afecta el ciclo de semáforos instalados de la rotonda en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017?
- b) ¿Cómo afecta la capacidad de los ramales alimentadores de la rotonda en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017?

- c) ¿Cómo afecta el diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017?

### **1.3. Objetivos De La Investigación**

#### **1.3.1. Objetivo General**

Determinar el efecto de la semaforización forzada en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017

#### **1.3.2. Objetivos Específicos**

Los objetivos específicos conducentes al logro del objetivo general son:

- a) Determinar el efecto el ciclo de semáforos instalados en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017.
- b) Determinar el efecto de la capacidad de los ramales alimentadores en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017.
- c) Determinar el efecto del diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la rotonda - **PARQUE DE LOS HÉROES** - HUANCAYO 2017.

#### **1.4. Justificación del Estudio**

La investigación nos servirá para poder analizar los problemas que acogen a dicha estructura (Rotonda Parque los Héroes) en las horas pico donde el tráfico es mayor durante el día y así poder buscar una o varias soluciones al problema de la congestión vehicular que viene enfrentando esta zona. Para lo cual realizaremos el análisis de los niveles de congestionamiento y proyectar un crecimiento en el tráfico vehicular a corto, mediano y largo plazo. También se analizará los ciclos de los semáforos involucrados en dicha investigación.

#### **1.5. Limitaciones del estudio**

Las limitaciones del presente estudio se basan en localización a la zona de la rotonda Parque los Heroes que se ubica en la provincia de Huancayo, Distrito de Chilca.

El HCM es otra limitación debido a que en Peru no cuenta con un manual de capacidad vial.

## **CAPITULO II: MARCO TEÓRICO**

### **2.1. Antecedentes del Estudio**

#### **2.1.1. Antecedente Internacional**

- ANÁLISIS DEL NIVEL DE SERVICIO Y CAPACIDAD VEHICULAR DE LAS INTERSECCIONES CON MAYOR DEMANDA EN LA CIUDAD DE AZOGUES, Tesis De Grado Previa A La Obtención Del Título De Ingeniero Mecánico Automotriz, Autores: Ángel Gilberto Jerez Hernández – Oscar Emanuel Morales Santos, Cuenca febrero 2015, Ecuador.

#### **2.1.2. Antecedente Nacional**

- ANÁLISIS VIAL DE DOS INTERSECCIONES SIN SEMÁFORO EN ZONA ALEDAÑA A NUEVO TERRAPUERTO DE PIURA Presentado Por: Luis Fernando Díaz Vargas Piura, 29 de abril De 2009 Facultad De Ingeniería
- PROPUESTA DE MEJORA DE NIVELES DE SERVICIO EN DOS INTERSECCIONES PROYECTO PROFESIONAL, Para Optar El Título De: Ingeniero Civil Autor: Pedro Reyna Peña, Lima Perú 2015.
- RAMÍREZ VÉLEZ, GONZALO (2004), ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO Y DEMORA EN INTERSECCIONES VIALES SEMAFORIZADAS. Tesis Para Optar El Grado De Maestro En Ciencias Con Mención En Ingeniería De Transportes, Universidad Nacional De Ingeniería, Perú.
- ESQUIVEL FERNÁNDEZ, WITMAN (2011). ELEMENTOS DE DISEÑO Y PLANEAMIENTO DE INTERSECCIONES URBANAS. Tesis Para Optar Título Profesional De Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú.

### **2.1.3. Antecedente Local**

- ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO, Tesis Para Optar El Título De Ingeniero Civil Presentado Por: Héctor Edgar Bonilla Benito, Lima – Perú 2006.
- BONILLA BENITO, HÉCTOR EDGAR (2006). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO, Tesis Para Optar Título Profesional De Ingeniero Civil. Pontificia Universidad Católica Del Perú, Perú.
- ATENCIO ALVARIÑO, ROBERTO (2014). VÍA EXPRESA SOLUCIÓN AL TRANSPORTE EN HUANCAYO. Publicación/Noticias, Diario Correo. Huancayo. La Vía Expresa Será La Solución Para Descongestionar El Tráfico Vehicular En La Ciudad De Huancayo.

### **2.1.4. Referencias Históricas**

RAMÍREZ VÉLEZ, GONZALO (2004), ANÁLISIS PARA LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE SERVICIO Y DEMORA EN INTERSECCIONES VIALES SEMAFORIZADAS. TESIS PARA OPTAR EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS CON MENCIÓN EN INGENIERÍA DE TRANSPORTES. UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA. PERÚ

Nos habla sobre los diferentes aspectos como la falta de planificación, situación económica, intereses políticos e incluso superposición de funciones que son los que han contribuido a la crisis del transporte urbano, imperando el desorden, las pérdidas de tiempo al trasladarse de un lugar a otro, la congestión y la contaminación de la ciudad. La capacidad es evaluada en términos de la relación de la tasa de flujo de demanda (volumen) y la capacidad, es decir la relación  $v/c$ , mientras que el nivel de servicio es evaluado basándose en el promedio de demora por vehículo (segundos por vehículo).

BONILLA BENITO, HÉCTOR EDGAR (2006). ANÁLISIS DEL SISTEMA DE TRANSPORTE PÚBLICO EN LA CIUDAD DE HUANCAYO. TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. PERÚ

Nos habla sobre la evolución del transporte público en Huancayo en 1990 que estaba compuesto principalmente por buses de mediana capacidad (30 - 35 pasajeros), éstos tenían acceso al corredor exclusivo de la Calle Real a lo largo de todo su recorrido y no tenían problemas de competencia; el sistema también estaba compuesto por empresas de autos colectivos y servicio de camionetas (combis) Ante la creciente migración de la población de zonas rurales hacia la urbe por causa del terrorismo y por la búsqueda de un mejor estándar de vida, el número de habitantes de la ciudad de Huancayo creció en el orden de 4,3% anual, haciendo que este crecimiento obligue a expandir la ciudad hacia las zonas anteriormente destinadas a terreno agrícola, con la necesidad inmediata de conectarse con el resto de la ciudad para tener acceso al sistema de transporte público existente. La estructura del sistema Vial de Huancayo es de parrilla o de cuadrícula, partiendo del Área Monumental hacia la periferia y es atravesada por tres grandes corredores viales Av. Ferrocarril, Calle Real y Av. Huancavelica.

ESQUIVEL FERNÁNDEZ, WITMAN (2011). ELEMENTOS DE DISEÑO Y PLANEAMIENTO DE INTERSECCIONES URBANAS. TESIS PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL. PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ. PERÚ.

En su investigación sobre "Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas" propone una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas las cuales reflejen diseños más justos, seguros y humanos para los habitantes del área de Lima Metropolitana. Para ello analiza los puntos de vista del transporte y la movilidad, en forma independiente, para luego analizar la combinación de ambos. Finalmente, propone una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas desde el punto de vista del transporte y la movilidad.

ATENCIO ALVARIÑO, ROBERTO (2014). VÍA EXPRESA SOLUCIÓN AL TRANSPORTE EN HUANCAYO. PUBLICACIÓN/NOTICIAS. DIARIO CORREO. HUANCAYO. LA VÍA EXPRESA SERÁ LA SOLUCIÓN PARA DESCONGESTIONAR EL TRÁFICO VEHICULAR EN LA CIUDAD DE HUANCAYO.

Esta obra de gran envergadura fue declarada de necesidad pública por el Congreso de la República el año pasado, requiriéndose ahora la aprobación de un presupuesto que bordea los 160 millones de soles para su ejecución. El proyecto es conocido como "Construcción y Mejoramiento de la vía expresa de la ciudad de Huancayo", el Ing. Octavio Lecca de la Oficina de Estudios y Proyectos de la Municipalidad Provincial de Huancayo (MPH), señala que la distancia comprende 12.4 kilómetros y su construcción abarca cinco distritos, San Agustín de Cajas, El Tambo, Huancayo, Chilca y Huancán. El recorrido se inicia en el puente Quebrada Honda en Cajas Chico, continuando por los terrenos del Centro Internacional de la Papa (Cipa) y de EsSalud, luego por la parte posterior de la UNCP y el Terminal Terrestre, de ahí cruza el Caminito de Huancayo, recorre Justicia Paz y Vida, llegando hasta Mariátegui, continúa por el costado del campo ferial de Yauris, cruzando el río Chilca hasta llegar a los terrenos de Auquimarca, la avenida Leoncio Prado, el río Chanchas, terminando en el lindero entre Huancán y Huayucachi.

## **2.2. Bases Teóricas**

### **2.2.1. Marco Legal**

#### **MTC. “Reglamento Nacional de Transito – Código de Transito”. Perú- 2014**

El presente Reglamento establece normas que regulan el uso de las vías públicas terrestres, aplicables a los desplazamientos de personas, vehículos y animales y a las actividades vinculadas con el transporte y el medio ambiente, en cuanto se relacionan con el tránsito. Rige en todo el territorio de la República.

#### **Manual de Capacidad de Carreteras (Highway Capacity Manual) HCM 2000**

El Manual de Capacidad de Carreteras es un conjunto de procedimientos de análisis que proporciona información y estimaciones sobre el comportamiento de una variedad de estructuras viarias, en base a unas condiciones conocidas de la vía, la circulación y la regulación. Asimismo, se pueden establecer criterios sobre el nivel deseado de las prestaciones a obtener por ellos, y estimar ciertas condiciones que en consecuencia deberán alcanzar la carretera, el tráfico, o los elementos de control.

#### **Synchro Traffic**

Synchro es una aplicación de software de análisis y optimización macroscópica. Synchro apoya (HCM: Highway Capacity Manual), 6ª edición de manual de Capacidad de Carreteras de 2010 y 2000 para las intersecciones señalizadas, intersecciones y rotondas semaforizadas. Synchro también implementa el método de utilización de la capacidad de empalme para determinar la capacidad de intersección. Rutina de optimización de la señal de synchro permite al usuario ponderar fases específicas, proporcionando así a los usuarios más opciones en el desarrollo de planes de frecuencia de la señal. Debido a que el software es fácil de usar, los ingenieros de tráfico son el modelado en cuestión de días.

### **2.2.2. Disposiciones Generales**

Una rotonda es un diseño vial especial, de forma circular, y que tiene la misión de permitir el cruce de varios caminos para de esta manera disminuir la sucesión de accidentes que podría darse en el cruce de los mismos de no existir esta construcción.

Básicamente, una rotonda es una intersección en la cual los segmentos que la conforman, calles, rutas o avenidas, están comunicadas, y dispone de una circulación de tipo rotatorio alrededor de una esfera central, que normalmente está diseñada como una plazoleta. Esto hace que los vehículos que pretendan circular por la misma lo hagan en derredor a este centro y siempre en un sentido contrario a cómo lo hacen las agujas de un reloj.

Lamentablemente los accidentes de tránsito son una constante en las distintas autovías y caminos del mundo entero, por ello es que quienes tienen a su cargo el manejo de la seguridad vial promueven y piensan construcciones y elementos, entre otros, que ayuden en la prevención de los mismos. Incluso muchas veces tienen los peores desenlaces con cientos de muertos por año. Especialmente durante las temporadas de veraneo donde es más frecuente y constante el tránsito vehicular en las rutas.

Entonces, las rotondas obligarán a los conductores a reducir la velocidad en la que circulan ni bien las aprecien y además porque el radio que ostentan las mismas obliga a no superar determinado tope de velocidad, esto directamente influye en la reducción de accidentes, colisiones entre vehículos.

Normalmente antes de las rotondas se colocan señales viales que las anticipan como la típica de un triángulo rojo dentro del cual se aprecian tres flechas que giran al revés de las agujas de reloj.

Cabe destacarse que a las rotondas también se las suele llamar en nuestro idioma como: glorieta, redondel y óvalo.

Si bien es una realidad que cuando se pronuncia el término rotonda inmediatamente se piensa en esta intersección vial especial, también debemos decir que el

concepto puede aplicarse para designar a diversas construcciones que también disponen de un formato circular, por ejemplo, a aquellos edificios que ostentan salas o edificios con plantas circulares se los denomina como rotondas.

### **Cómo se debe circular por una rotonda**

Si eres conductor habitual, muy posiblemente te habrás encontrado en más de una ocasión que en el momento de circular por una rotonda (también llamadas glorietas) has estado a punto de colisionar con otro vehículo que se te ha cruzado e incluso haciendo el otro conductor aspavientos para indicarte que él era el que tenía prioridad.

Circulación Glorietas, pero ¿realmente sabemos cómo se debe circular por una rotonda? ¿Quién tiene prioridad?

Haciendo un resumen rápido, podemos llegar a la conclusión de los siguientes puntos:

Tienen total preferencia aquellos vehículos que circulan por la rotonda frente a aquellos que pretenden incorporarse a la misma.

Si vamos por el carril derecho de la glorieta y vemos que otro vehículo quiere incorporarse no tenemos ninguna obligación de cambiar al carril izquierdo. Son ellos los que tienen una señal de 'ceda el paso'. Eso sí, el sólo hecho de tener prioridad de paso cuando estamos circulando por una rotonda no debe contradecir la obligación que tenemos los conductores de facilitar, dentro de lo posible, la maniobra de incorporación de otros automóviles. Si la rotonda fuese muy grande no está de más, siempre que sea posible, desplazarse a un carril interior para facilitar la incorporación y regresar posteriormente al derecho.

Siempre hemos de indicar nuestras maniobras (cambio de carril o abandono de la rotonda) a través de las luces intermitentes (o en su defecto el brazo) para así poder advertir a los otros vehículos (tanto que circulan por la misma como los que deben incorporarse).

No se debe abandonar la rotonda directamente cuando se circula por el carril interior o de la izquierda, teniéndonos que situar con suficiente antelación en el de la derecha, advirtiéndolo a los demás conductores.

Cuando nos incorporamos a una rotonda, tanto si debemos salir en la primera salida como continuar rectos, el carril que debemos ocupar hasta abandonar la glorieta es el de la derecha. Si, por el contrario, el giro es hacia la salida que se encuentra más a la izquierda desde nuestra posición a la hora de incorporarnos o lo que deseamos es realizar un cambio de sentido, nos incorporaremos hacia el carril interior y nos iremos colocando paulatinamente hacia el de la derecha según vayamos recorriendo la rotonda y se aproxime nuestra salida.

Jamás abandonaremos una glorieta tomando directamente la salida desde el carril izquierdo/interior.

### **Dos incorrecciones**

**La primera** es que se dice que el carril interior de la rotonda debe usarse sólo para adelantar, hecho totalmente falso. La circulación de vehículos se rige por el principio de circular por la derecha a no ser que las circunstancias aconsejen otra cosa. Las circunstancias no son sólo las que nos llevan a realizar un adelantamiento, sino cualquier condición que nos sugiera que circular por otro carril nos va a salir más a cuenta, siempre que esté justificado.

De vuelta a la rotonda, el tráfico denso sería un condicionante tan válido como la situación que motiva el adelantamiento.

Así, lo correcto desde un punto de vista normativo y con el mayor compromiso posible entre seguridad y fluidez es el siguiente. De entrada, circulamos por el carril exterior si no hay condicionantes que nos lleven a usar otros carriles. Condicionantes, los que sean.

Por lo tanto, de existir circunstancias que nos aconsejen usar otros carriles, los usamos, siempre teniendo en cuenta que debemos desplazarnos hacia el carril exterior con antelación suficiente al abandono de la rotonda. Típicamente, es aconsejable cambiar de carril durante la salida anterior a la salida por la que pretendemos abandonar la rotonda.

Esto nos lleva a erradicar algunos aspectos absurdos, como el conductor que usa sólo el carril exterior porque está en su derecho, y se expone a un riesgo cierto de colisión con otros vehículos, por más que los conductores de estos vehículos estén infringiendo la ley.

### **2.2.3. Volumen De Transito**

El volumen de tráfico se define como el número de vehículos que pasan por un punto en una vía, ya sea por un sentido de vía, un cruce o intersección durante un intervalo de tiempo específico. Las unidades empleadas son las unidades de vehículos que pasan por unidad de tiempo, es muy usual la unidad vehículos por hora y vehículo por día.

Los volúmenes diarios son empleados para establecer modas a través del tiempo con fines de planificación. Para diseños detallados o decisiones más específicas los conteos son horarias, en este tipo de análisis es de vital interés la obtención de horas pico durante el día.

### **2.2.4. Sistema Funcional De Vías Urbanas**

El sistema vial es el principal soporte de los flujos generados por las actividades urbanas y es también el principal estructurador de las ciudades, determinando la localización de las actividades urbanas y sus limitaciones de expansión.

La apertura de una nueva vía repercute sobre el uso del suelo, induciendo el establecimiento de algunas actividades, inhibiendo el asentamiento de otras, acelerando procesos de deterioro o cambios en los usos del suelo.

La importancia de la alteración que producen los sistemas viales queda demostrada por la expansión que ocurre en muchas ciudades alrededor de las vías que las entrecruzan.

Un sistema vial urbano desempeña dos funciones principales, el de dar acceso a las propiedades colindantes y permitir la circulación, creando intercambios entre las diversas funciones que se desarrollan en una ciudad y facilita la movilización de sus habitantes.

La mayoría de los problemas relacionados con el incremento de los accidentes y el deterioro ambiental, provienen de conflictos entre las funciones de acceso y circulación.

Para una mejor atención a las necesidades de desplazamiento de la población, es recomendable que la red vial sea estructurada en sistemas, donde las funciones de acceso y circulación asuman proporciones variables. Como un principio básico en la planeación del desarrollo de las ciudades, la noción de jerarquización vial debe utilizarse, con el objeto de dar organización a la estructura vial (Garber & Hoel, Ingeniería de tránsito y Carreteras, 2005).

Por lo tanto, la clasificación funcional de vías se basa en dos conceptos:

- Movilidad, que es la capacidad de moverse sin interrupciones,
- Accesibilidad, que es la facilidad para entrar y salir a la vía y a las propiedades colindantes.

La clasificación del sistema vial urbano se divide en dos grupos, en un subsistema primario y secundario.

#### **2.2.5. Subsistema Primario**

Este debe constituir una estructura celular, que aloje en su interior y conecte entre sí al conjunto de núcleos que forman la ciudad. Las vías que componen

esta red están destinadas a desplazamientos de más longitud y de mayor volumen de tránsito, de la manera más expedita que sea posible; uniendo los distintos sectores de la ciudad y asegurando la conexión entre la ciudad y la red nacional de carreteras. Tienen como fin secundario el acceso a las propiedades colindantes.

#### **2.2.6. Vía Expresa**

Es aquella vía que soportan importantes volúmenes de vehículos con circulación de alta velocidad, en condiciones de flujo libre. Une zonas de importante generación de tránsito, extensas zonas de vivienda, concentraciones comerciales e industriales. Asimismo, integra la ciudad con el resto del país.

En esta vía el flujo es ininterrumpido; no existen cruces al mismo nivel con otras vías, sino a diferentes niveles o con intercambios especialmente diseñados. Las vías expresas sirven también a las propiedades vecinas mediante rampas y vías auxiliares de diseño especial.

Puede recibir vehículos livianos y cuando sea permitido, vehículos pesados, cuyo tráfico debe ser tomado en consideración para el diseño geométrico, especialmente en el caso de las carreteras que unen la ciudad con el resto del país.

En caso se permita servicio de transporte público de pasajeros, éste debe desarrollarse por buses, preferentemente en calzadas exclusivas con paraderos debidamente diseñados. No se permite la circulación de vehículos menores.

Las vías expresas, de acuerdo al ámbito de su jurisdicción, pueden subdividirse en: Nacionales/ Regionales, Subregionales y Metropolitanas. (Garber & Hoel, Ingeniería de tránsito y Carreteras, 2005).

**a) Vías Expresas Nacionales:**

Forman parte del Sistema Nacional de Carreteras, cruzan el área metropolitana y la vinculan con el resto del país. Están destinadas fundamentalmente para el transporte interprovincial y el transporte de carga, pero en el área urbana metropolitana absorben flujos del transporte urbano.

**b) Vías Expresas Subregionales**

Son aquellas que integran la metrópolis con distintas subregiones del país, no reciben grandes flujos vehiculares y pueden tener una menor longitud que las vías regionales.

**c) Vías Expresas Metropolitanas**

Son aquellas que sirven directamente al área urbana metropolitana.

**2.2.7. Vía Arterial**

También lleva apreciables volúmenes de tránsito entre áreas principales de generación de tránsito y a velocidades medias de circulación, A grandes distancias se requiere de la construcción de pasos a desnivel y/o intercambios que garanticen una mayor velocidad de circulación Pueden desarrollarse intersecciones a nivel con otras vías arteriales y/o colectoras. El diseño de las intersecciones deberá considerar carriles adicionales para volteos que permitan aumentar la capacidad de la vía.

En las vías arteriales se permiten el tránsito de los diferentes tipos de vehículos. El transporte público autorizado de pasajeros debe desarrollarse preferentemente por buses, debiendo realizarse por calzadas exclusivas cuando el derecho de vía así lo permita o carriles segregados y con

paraderos debidamente diseñados para minimizar las interferencias con el tránsito directo.

Las vías arteriales deberán tener preferentemente vías de servicio laterales para el acceso a las propiedades. En las áreas centrales u otras sujetas a limitaciones de sección, podrán no tener vías de servicio. Cuando los volúmenes de tránsito así lo justifiquen, se construirán pasos a desnivel entre la vía arterial y alguna de las vías que la interceptan, aumentando sensiblemente el régimen de capacidad y de velocidad.

El sistema de vías arteriales se diseña cubriendo el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 1 000 a 2 000 metros entre sí.

#### **2.2.8. Subsistema Secundario**

Este tiene como función principal, distribuir el tránsito de las propiedades colindantes al subsistema primario o viceversa. Los desplazamientos son cortos y los volúmenes del tránsito vehicular son de menor importancia.

#### **2.2.9. Vía Colectora**

Tiene por función llevar el tránsito desde un sector urbano hacia las vías arteriales y/o vías expresas. Sirve por ello también a una buena proporción de tránsito de paso. Presta además servicio a las propiedades adyacentes.

El flujo de tránsito es interrumpido frecuentemente por intersecciones semaforizadas en los cruces con vías arteriales y otras vías colectoras. En el caso que la vía sea autorizada para transporte público de pasajeros se deben establecer y diseñar paraderos especiales.

El sistema de vías colectoras se diseña cubriendo el área de la ciudad por una red con vías espaciadas entre 400 a 800 metros entre sí.

### **2.2.10. Vía Local**

Es aquella cuya función es proveer acceso a los predios o lotes adyacentes. Su definición y aprobación, cuando se trate de habilitaciones urbanas con fines de vivienda, corresponderá de acuerdo a Ley, a las municipalidades distritales, y en los casos de habilitaciones industriales, comerciales y de otros usos, a la Municipalidad Provincial.

### **2.2.11. Capacidad Vial**

La capacidad vial teóricamente se define como la tasa máxima de flujo que puede soportar una carretera o calle, también podemos interpretar la capacidad de una infraestructura vial como el máximo número de vehículos que pueden pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del tránsito y de los dispositivos de control.

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 un flujo estable, estos datos son obtenidos mediante un aforo vehicular.

La capacidad depende de las propias características de la vía (como geometría y estado del pavimento) y del tráfico, especialmente su composición. Además, se deben tener en cuenta las regulaciones de circulación existentes, como limitaciones de velocidad o prohibiciones de adelantamiento, así como las condiciones ambientales y meteorológicas. (Papacostas & Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, 2009)

### **2.2.12. Volumen De Transito**

Es el número de vehículos que pasa por un punto o perfil de la vía durante un periodo de tiempo determinado. Para diseñar nuevas vías o realizar obras en una vía existente que lleven a mejorar la capacidad y nivel de servicio, es necesario realizar una acertada predicción de los volúmenes de demanda, su composición y la evolución a lo largo de la vida útil. El volumen del tránsito puede ser anual, mensual, semanal, diario u horario. A continuación, se describir algunos de estos volúmenes:

- Tránsito Medio Diario Anual (TMDA): Promedio aritmético de los volúmenes diarios de todos los días del año, previsible o existente, en una sección de vía. Da una idea cuantitativa de la importancia de la vía y se utiliza principalmente para estudios de factibilidad económica.
- Volumen Horario de Diseño (VHD): Es el volumen que corresponde a la hora trigésima ordenando los volúmenes horarios de todo un año, en orden de magnitud decreciente. Es el que determina las características a otorgarse al proyecto, en caminos con tránsito importante, para prevenir problemas de congestión y ofrecer al usuario un nivel de servicio aceptable.

Los volúmenes diarios son empleados para establecer modas a través del tiempo con fines de planificación. Para diseños detallados o decisiones más específicas los conteos son horarios, en este tipo de análisis es de vital interés la obtención de horas pico durante el día.

### **2.2.13. Velocidad**

La velocidad es uno de los indicadores que determina la calidad de operación en un sistema de transporte, es así que es empleado como un factor más común a considerar en la selección de una ruta específica para trasladarse

de un lugar a otro por la minimización de la demora, finalmente se busca una buena velocidad sostenida y segura.

Desde el punto de vista del diseño, la velocidad es un parámetro importante que determina los demás elementos del proyecto para el diseño. Es necesario estudiar la velocidad, regularse y controlarse.

La definición básica de velocidad es la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. Siendo tan importante la definición de velocidad, existen definiciones de la misma según como esta sea medida, tales definiciones son la velocidad de punto, velocidad media temporal y la velocidad espacial.

### **Velocidad de Punto**

Es la velocidad de un vehículo a su paso por un determinado punto de una vía, es llamada velocidad instantánea, esta medición se hace en campo con medidores.

### **Velocidad Media Temporal**

Se denomina a la media aritmética de las velocidades de punto de varios vehículos en un intervalo de tiempo seleccionado.

### **Velocidad Media Espacial**

Es la media aritmética de las velocidades de punto de vehículos en un tramo de vía dado.

Para ello se calcula el tiempo promedio de los vehículos en análisis. Debido a la complejidad de algunos tramos en análisis, existen fórmulas para

determinar la velocidad espacial en función de la velocidad temporal y la varianza de distribución. (Silvera L. 2015)

#### **2.2.14. Densidad**

Es el número de vehículos que existen por unidad de longitud sobre una carretera. Se puede obtener por medio de fotografías, pero en general se calcula a partir de los valores de velocidad y volumen medidos.

El valor máximo se obtiene cuando todos los vehículos están en fila sin hueco entre ellos. Para este caso la velocidad sería cero ya que resulta imposible que los vehículos se muevan sin golpearse.

#### **2.2.15. Dispositivo Para El Control De Transito**

Se busca controlar el tránsito para asignar a los conductores el derecho de paso, facilitar la vialidad y garantizar el movimiento ordenado y predecible de la vía. Este control se puede alcanzar mediante semáforos, letreros, marcas que regulen, guían, canalizan el tránsito a la vez.

De la amplia variedad de dispositivos existentes en el mercado para garantizar el control de tránsito en diferentes niveles, es de interés particular para este documento describir los semáforos. Las intersecciones en estudio cuentan con dispositivos semafóricos.

## **Semáforo**

Es un dispositivo eléctrico para ordenar y regular el tránsito de vehículos y peatones, mediante tres luces de color rojo, amarillo y verde. Tienen como funciones principales las siguientes:

- Interrumpir periódicamente el tránsito de una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente.
- Regular la velocidad vehicular para mantenerla constante.
- Controlar la circulación por carril.
- Busca reducir el número de accidentes sobre todo las colisiones perpendiculares.

## **Clasificación**

Según el mecanismo de operación de controles se considera lo siguiente:

Semáforos para el control vehicular, a su vez se clasifican en semáforos accionados por el tránsito que pueden ser parcialmente accionados y totalmente accionados y los no accionados por el tránsito.

Semáforos para peatones, se sub clasifican según la zona donde se colocan que pueden ser en zonas escolares y en zonas de alto volumen peatonal.

Semáforos especiales, dentro de este grupo se encuentran los semáforos de destello, para regular el uso de carriles, para puentes levadizos, para maniobra de vehículos de emergencia y los semáforo barrera para indicar aproximación de trenes.

## Calculo de Tiempo de Semáforo

Para que sea óptimo cada fase debe incluir el mayor número posible de movimientos simultáneos para lograr admitir un mayor número de vehículos en la intersección.

Cada fase consta de un intervalo amarillo, rojo y verde. La distribución de los tiempos en cada fase debe estar en relación directa con los volúmenes de tránsito de los movimientos correspondientes según la demanda.

### Intervalo de Cambio de Fase

Es el tiempo de percepción y reacción del conductor que incluye la desaceleración y el tiempo de despeje de la intersección, incluye amarillo mas todo rojo.

$$y = \left( t + \frac{v}{2a} \right) + \left( \frac{W+L}{v} \right) \quad (1)$$

Donde:

y = intervalo de cambio de fase, amarillo mas todo rojo (s)

t = tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1.00 s)

v = velocidad de aproximación de los vehículos (m/s)

a = tasa de desaceleración (valor usual 3.05 m/s<sup>2</sup>)

W = ancho de la intersección (m)

L = longitud del vehículo (valor típico 6.10 m)

## Longitud de Ciclo

Es la demora mínima de los vehículos en una intersección con semáforo.

$$C_0 = \frac{1.5L+5}{1-\sum_{i=1}^{\Psi} Y_i} \quad (2)$$

$C_0$  = tiempo óptimo del ciclo (s)

$L$  = tiempo total perdido por ciclo (s)

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

$\Psi$  = número de fases

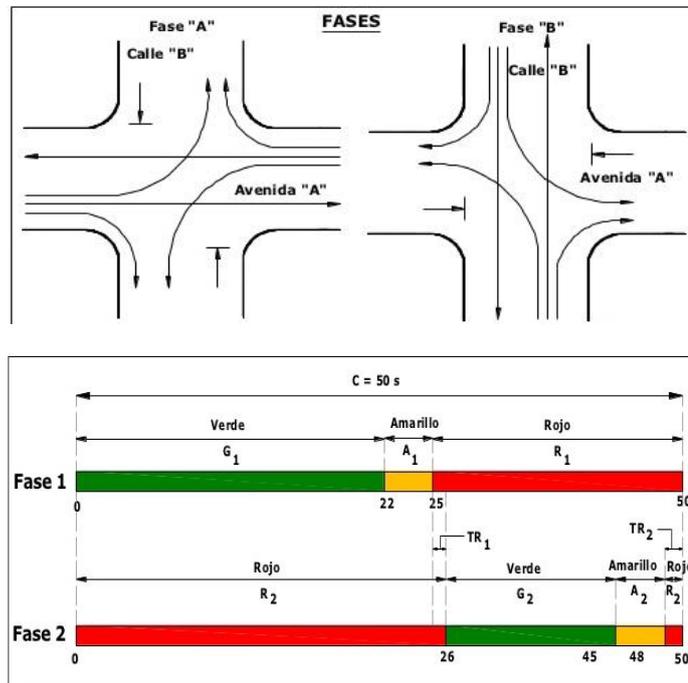


Figura 1 Intersección de cuatro accesos operada con un semáforo de dos fases.

## **2.2.16. Conteos o Aforos Vehiculares**

Mediante el aforo se obtienen datos reales sobre el movimiento de vehículos o peatones en el sistema vial ya sea en redes, intersecciones, puntos específicos, entre otros.

La información o datos obtenidos en los aforos son la composición vehicular, movimientos direccionales, volúmenes totales, periodos de conteo. Este aforo puede realizarse manualmente a papel y lápiz, tally counters, dispositivos electrónicos o mediante aforos automáticos.

Para el caso de los aforos manuales, el personal debe estar entrenado para que los resultados sean lo más real posible minimizando los errores, el objetivo del estudio, así como la disposición de los recursos determinaran el método de aforo.

En el caso del aforo automático existen sistemas que mediante cableado colocado en el pavimento permite los conteos automáticos.

### **2.2.16.1. Métodos De Aforo Vehicular**

#### **a) Aforos Manuales**

Este método de aforo es considerado como uno de los más costosos ya que para realizar este procedimiento se necesita de personal calificado, Su metodología es simple: el observador se coloca en una sección de vía y realiza un conteo de todos los vehículos que circulan a través de ella, bien por medio de formatos escritos o a través de aparatos electrónicos o pulsadores. Mediante este método es posible conseguir datos que no pueden ser obtenidos por otros procedimientos, como clasificar a los vehículos por tipo, número de movimientos y hasta determinar el número de ocupantes de los mismos.

Los recuentos pueden dividirse en 30 minutos e incluso 15 cuando el tránsito es muy denso. Para hacer los recuentos se deben preparar hojas de campo en el cual se contabiliza volúmenes de giro y volúmenes clasificados. La duración del aforo varía con el propósito del aforo. Algunos aforos clasificados pueden durar hasta 24 horas. Durante periodos de tránsito alto, es necesario más de una persona para efectuar los aforos. La exactitud y confiabilidad de los aforos depende del tipo y cantidad del personal, instrucciones, supervisión y la cantidad de información a ser obtenida por cada persona.

### **b) Contadores Mecánicos**

Son aquellos que emplean instrumentos para realizar el registro de vehículos, sin que se requiera de personal permanente. Estos instrumentos se basan en principios como el de la célula fotoeléctrica, presiones en planchas especiales o por medio de detectores magnéticos o hidráulicos.

Atendiendo a su movilidad los contadores pueden ser fijos o portátiles. Los fijos se usan para hacer recuentos continuos en ciertos lugares, mientras que los portátiles son más ligeros y se utilizan para hacer recuentos parciales durante periodos de tiempo limitados. Los contadores permanentes son usados para aforar el tránsito continuamente, es decir es usado a menudo para estudios de tendencias. Pueden ser actuados por células fotoeléctricas, detectores magnéticos y detectores de lazo.

### **c) Contadores Portátiles**

Este método consta en tomar nota de los volúmenes aforados cada hora y 15 minutos, dependiendo del modelo. Pueden ser tubos neumáticos u otro tipo de detector portátil.

Las ventajas más resaltantes son la de que una sola persona puede mantener varios contadores. Además, de que proveen aforos permanentes de todas las variaciones del tránsito durante el periodo del aforo.

Las desventajas que tiene este método es que no permiten clasificar los volúmenes por tipo de vehículo y movimientos de giro y muchas veces se necesitan aforos manuales ya que muchos contadores (en particular los de tubo neumático) cuentan más de un vehículo cuando son accionados por vehículos de más de un eje o por vehículos que viajen a velocidades bajas.

#### **d) Método del Vehículo en Movimiento**

Este método se emplea para obtener volúmenes de tránsito en un tramo de la vía urbana, sirviendo además para determinar tiempos y velocidades de recorrido medias. Para aplicar este método se emplea un vehículo con su conductor, que recorre el tramo de vía considerado a la velocidad media de la corriente de tránsito, acompañado de uno o más observadores que deben registrar el tiempo que tarda el tramo de la vía considerado, los vehículos que se cruzan con él y están en sentido contrario, los vehículos pasados y los que se adelantan a él, en el mismo sentido.

#### **2.2.16.2. Estaciones De Aforo**

Para realizar una correcta y completa medida de las constantes vitales del tráfico a lo largo y ancho de la red viaria, se establece una serie de estaciones para el aforo de vehículos, situadas en puntos estratégicos ya escogidos. Ciertamente, no todas las estaciones realizarán medidas de la misma calidad; algunas, las situadas en zonas de gran tráfico, realizarán un conteo más exhaustivo y de mayor duración; otras, se limitarán al aforo en periodos restringidos de tiempo.

## **2.2.17. Condiciones Prevalcientes**

Las condiciones prevalcientes son los factores que determinan la capacidad, estos pueden variar y por lo tanto ser modificados (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994)

### **a) Condiciones de la Infraestructura Vial**

Son las características físicas de la carretera o calle (del tránsito continuo o discontinuo, con o sin control de accesos, dividida o no, de dos o más carriles, etc.), el desarrollo de su entorno y las características geométricas (ancho de carriles y acotamientos, obstrucciones laterales, velocidad de proyecto, restricciones para el rebase y características de los alineamientos).

### **b) Condiciones del Tránsito**

Se refiere a la distribución del tránsito en el tiempo y en el espacio, y a su composición de vehículos como livianos y pesados. Asimismo, se considera la distribución del tipo de vehículos en cada movimiento, la localización y el uso de las paradas de ómnibus público) dentro del área de la intersección, flujo de peatones que cruzan y movimientos de estacionamiento dentro del área de la intersección.

### **c) Condiciones de Control**

Hace referencia a los dispositivos para el control del tránsito, tales como semáforos y señales restrictivas. Estas incluyen una definición total de las fases de la señal, tiempos y tipo de control, y una evaluación de la progresión para cada grupo de vías.

### **2.2.18. Nivel De Servicio**

El término de nivel de servicio (NDS), introducido por el Transportation Research Board (2000), se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Son varios los factores que entran en juego a la hora de definir un concepto tan poco cuantificable como es la calidad de una vía:

- Velocidad a la que se puede circular por ella.
- Tiempo de recorrido, o de otra forma, ausencia de detenciones y esperas.
- Comodidad que experimenta el usuario,
- Seguridad que ofrece la vía, tanto activa como pasiva.
- Costes de funcionamiento.

Todos estos factores de difícil evaluación pueden relacionarse con dos variables que sí son cuantificables: la velocidad de servicio y el índice de servicio.

#### **a) Velocidad de Servicio**

Se define como la mayor velocidad media de recorrido que puede conseguir un conductor que circule por un tramo de carretera en buenas condiciones meteorológicas y bajo unas determinadas condiciones de tráfico.

#### **b) Índice de Servicio**

Relación entre la intensidad de tráfico y la capacidad de la vía. Dado un determinado nivel de servicio, se define intensidad de servicio como la máxima posible para que se mantenga dicho nivel de servicio. En caso de superarse, se entraría en un NDS más bajo.

El Transportation Research Board (2000) define seis niveles de servicio para un régimen continuo de circulación, es decir, sin detenciones producidas por

intersecciones o semáforos. Estos niveles se hallan numerados de la A la F, en orden decreciente de calidad.

➤ **Nivel de Servicio A**

Representa una circulación a flujo libre, donde los usuarios no son afectados por la presencia de otros en la corriente vehicular. Los usuarios tienen la libertad para seleccionar la velocidad deseada y maniobrar dentro del tránsito. El nivel de comodidad y conveniencia de los choferes, pasajeros y peatones es excelente.

➤ **Nivel de Servicio B**

El flujo es estable pero la presencia de otros vehículos se empieza a notar. Se puede escoger la velocidad del vehículo sin influencia de vehículos aledaños, pero hay un pequeño declive en la libertad de maniobrabilidad comparado con el nivel "A" debido a que se siente la presencia de otros vehículos. El nivel de comodidad y conveniencia baja un poco con respecto al nivel "A", debido a la presencia de otros vehículos que influyen en el comportamiento individual de cada conductor.

➤ **Nivel de Servicio C**

El flujo es aun estable, pero a este punto la presencia de otros vehículos afecta el comportamiento del usuario. La selección de la velocidad y las maniobras comienza a ser restringida en la corriente vehicular y requiere estar atento a los otros vehículos que comparten la vía. El nivel de comodidad y conveniencia baja considerablemente en este nivel.

➤ **Nivel de Servicio D**

El flujo es estable, pero de alta densidad. Las velocidades y la libertad de maniobrabilidad están severamente restringidas. El nivel de comodidad y conveniencia experimentado por el conductor es

bastante pobre. Pequeños incrementos en el flujo de tráfico generalmente ocasionan problemas operacionales a este nivel de servicio.

➤ **Nivel de Servicio E**

En estas condiciones la vía está en o cerca de su capacidad y todas las velocidades son bajas, aunque uniformes. Es muy difícil tener libertad de maniobrabilidad en la corriente vehicular y normalmente se consigue cuando un vehículo/peatón cede el paso para permitir esas maniobras.

El nivel de comodidad y conveniencia son extremadamente pobres y la operación a este nivel es inestable, pero pequeños incrementos en los flujos de la corriente vehicular ocasionan congestiones severas.

➤ **Nivel de Servicio F**

En este nivel, el flujo ya está en nivel de congestión vehicular severa. El tráfico excede la capacidad de la vía, y se generan colas. Las operaciones son más de Pare-Avance y son bastante inestables y los vehículos pueden avanzar a velocidades razonables por varios metros pero luego tienen que detenerse.

Esto se repite de manera cíclica. Es importante notar que aunque la condición sea F, al pasar la congestión las condiciones pueden mejorar.

## **2.2.19. Criterios De Análisis De Capacidad Y Niveles De Servicio**

Dentro de los criterios que priman para el análisis de capacidad y niveles de servicio se tienen algunos factores externos e internos, dentro de los externos se encuentran aquellos que afectan el nivel de servicio, los cuales pueden ser medidos a una hora conveniente. En cambio, los factores internos, por ser variables, deben ser medidos durante el periodo de mayor

flujo, como por ejemplo el factor de la hora de máxima demanda. El flujo de vehículos en la hora de máxima demanda no está uniformemente distribuido en ese lapso, por lo que es conveniente determinar la proporción del flujo para un periodo máximo dentro de la hora de máxima demanda, usualmente se toma un periodo de 15 minutos,

Por lo tanto, el factor de la hora de máxima demanda sería así:

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{m\acute{a}x_{15}})} \quad (3)$$

Donde:

VHMD = volumen horario de máxima demanda

$q_{m\acute{a}x_{15}}$  = flujo máximo durante 15 minutos

Por lo general, no se realizan estudios de capacidad para determinar la máxima cantidad de vehículos que pueden alojar cierta parte de una carretera o calle, lo que se hace es tratar de determinar el nivel de servicio al que funciona cierto tramo, o bien la tasa de flujo admisible dentro de cierto nivel de servicio. En determinadas circunstancias se hace el análisis para predecir con que flujos, o volúmenes, y a qué plazo se llegará a la capacidad de esa parte del sistema vial (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

Por consiguiente, el nivel de servicio estará en función al número de vehículos que puedan admitir en una carretera o calle, esta relación es denominada como flujo de servicio, el cual va aumentando a medida que el nivel de servicio va siendo de menor calidad, hasta llegar al nivel E, o capacidad del tramo de carretera o calle. Si se llega al nivel F, se tienen condiciones más desfavorables, pero no aumenta el flujo de servicio sino disminuye.

Haciendo uso de métodos más tradicionales, el factor usado para identificar el nivel de servicio es la velocidad; pero actualmente con métodos modernos

se tienen más factores como velocidad media de recorrido, densidad (para casos de circulación continua) y demora (casos de circulación discontinua).

Cualquiera que sea el caso, el factor primordial para determinar el grado de utilización de la capacidad de un sistema vial y, por consiguiente, su nivel de servicio, es la relación entre el flujo y capacidad ( $q/q_{m\acute{a}x.}$ ,  $v/c$ ), ya sea entre el flujo de demanda y la capacidad, o bien la relación entre el flujo de servicio y la capacidad. En situaciones donde se conoce la demanda y la capacidad y se desea determinar el nivel de servicio, " $q=v$ " representa el flujo de demanda; y cuando se conoce la capacidad y se especifica un determinado nivel de servicio, " $q=v$ " representa el flujo de servicio posible con dicho nivel.

El análisis que comúnmente se realiza, sirve para determinar el efecto de los factores externos e internos en la capacidad ideal de cierto tramo de carretera o calle, y el flujo de servicio que corresponde a un nivel de servicio dado. Los estudios de capacidad sirven para aislar y medir esos factores (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

Finalmente, la capacidad de una infraestructura vial es tan variable como pueden serlo las variables físicas del mismo, o las condiciones del tránsito. Por esta razón, los análisis de capacidad se realizan aislando las diversas partes del sistema vial, como un tramo recto, un tramo con curvas, un tramo con pendientes; el acceso a una intersección; un tramo de entrecruzamiento, una rampa de enlace, etc.; los criterios establecidos para una mejor interpretación son:

- El flujo y la capacidad, bajo condiciones prevalecientes, se expresan en vehículos mixtos por hora para cada tramo de la carretera o calle.
- El nivel de servicio se aplica a un tramo significativo de la carretera o calle, este puede variar en sus condiciones de operación, en diferentes puntos, debido a variaciones en el flujo de vehículos o en su capacidad.
- Los elementos usados para medir la capacidad y los niveles de servicio son variables, en el caso de la capacidad se requieren datos del tipo de infraestructura vial, de sus características geométricas, de la velocidad

media de recorrido, de la composición del tránsito y de las variaciones de flujo; y para el nivel de servicio se requiere de los factores ya mencionados (densidad, velocidad media de recorrido, demoras y la relación flujo a capacidad).

- Para la identificación de los niveles de servicio se considera medidas de eficiencia dependiendo del tipo de infraestructura vial intersecciones con semáforo, (autopistas, carreteras, intersecciones sin semáforo, arterias, transporte colectivo y peatones), para una mejor interpretación se tiene la tabla N° 1.

**Tabla 1 Medidas de Eficiencia para la Definición de los Niveles de Servicio**

Tipo de Infraestructura vial	Medidas de eficiencia
Autopistas: Segmentos básicos de autopista Entrecruzamientos Rampas de enlace	Densidad (veh. lig./km/carril) Velocidad medida de recorrido (km/h) Tasas de flujo (veh. lig./h)
Carreteras: Multicarriles De dos carriles	Densidad (veh. lig./km/carril) Demora porcentual (%) y velocidad media de recorrido
Intersecciones con semáforo	Demora media individual por paradas (seg./veh.)
Intersecciones sin semáforo	Capacidad remanente (veh. lig./h)
Arterias	Velocidad media de recorrido (km/h)
Transporte colectivo	Factor de carga (pers./asiento)
Peatones	Espacio (m <sup>2</sup> /peatón)

**Fuente: TRB, Highway Capacity Manual, Special Report 209, Washington, D.C., 1985**

**Elaboración: Ingeniería de Tránsito Fundamentos y Aplicaciones**

## **2.2.20. Intersecciones Semaforizadas**

### **2.2.20.1. Características Básicas**

La intersección regulada por semáforos es una de las situaciones más complejas en el sistema de infraestructura vial. El análisis de intersecciones reguladas por semáforos debe considerar una amplia variedad de condiciones prevalecientes, incluida la cantidad y la distribución del tráfico, composición del mismo, características geométricas y los detalles de la señalización de la intersección.

En la intersección regulada por semáforos hay que añadir un elemento adicional dentro del concepto de capacidad; la distribución del tiempo. Un semáforo esencialmente distribuye tiempo entre movimientos circulatorios conflictivos que pretenden utilizar el mismo espacio físico. La manera en cómo se distribuye el tiempo tiene un impacto significativo en el funcionamiento de la intersección y en la capacidad de la misma y de sus accesos (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

A diferencia de los sistemas viales de circulación continua, en las intersecciones con semáforo, la capacidad no está totalmente correlacionada con determinado nivel de servicio. El análisis de capacidad, implica el cálculo de la relación volumen/capacidad para movimientos críticos en carriles simples o agrupados, mientras que el análisis del nivel de servicio se basa en la demora media de los vehículos detenidos por la acción de los semáforos.

### **2.2.20.2. Metodología De Análisis Operacional**

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio

de la intersección como un todo o globalmente. Las actividades a llevar a cabo se dividen en cinco módulos (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

**a) Módulo de Entrada:**

Este módulo considera las condiciones prevaletientes de intersecciones semaforizadas:

- Condiciones de tráfico
- Condiciones de vía
- Condiciones de semaforización

**b) Módulo de Ajuste de Volúmenes:**

Este módulo consiste en la determinación de:

- Factor de la hora de máxima demanda
- Establecimiento de grupos de carriles
- Asignación de volúmenes a grupos de carriles

Para determinar el factor de la hora de máxima demanda es necesario convertir los volúmenes horarios a flujos durante 15 minutos, para lo cual se hace uso de la siguiente fórmula:

$$v_p = \frac{V}{FHMD} \quad (4)$$

Donde:

$v_p$  = tasa de flujo durante los 15 minutos pico (vph)

V = volumen horario (vph)

Para el análisis operacional es necesario establecer grupos de carriles apropiados. Los grupos de carriles separados se establecerán cuando se disponga de bahías exclusivas de vuelta a la izquierda y a la derecha; los demás carriles directos se convertirán en un grupo simple de carriles.

Cuando se tenga carriles de vuelta a la izquierda compartidos, se deberá evaluar la operación en el carril compartido para determinar si efectivamente funciona como carril exclusivo de vuelta a la izquierda, debido a la presencia de altos volúmenes de vuelta a la izquierda.

Para un acceso, cuando el flujo de vuelta a la izquierda en el carril de la extrema izquierda es menor que el flujo promedio en los demás carriles, se supone que los vehículos directos comparten el carril izquierdo y todo el acceso puede suponerse en un grupo de carriles simple. En caso de ser mayor, el carril izquierdo se debe designar como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda en un grupo de carriles separado; todo lo expresado se podría expresar así (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994):

$$v_I < \frac{v_a - v_t}{N-1} \quad (5)$$

$$v_I \geq \frac{v_a - v_t}{N-1} \quad (6)$$

Donde:

$v_I$  = flujo actual de vuelta a la izquierda (vph)

$v_a$  = flujo total en el acceso (vph)

$N$  = número de carriles del acceso

En el caso que se cumpla la desigualdad de la primera expresión, el carril extremo izquierdo es un carril compartido y se usa un solo grupo de carriles para todo el acceso.

Si se cumple la desigualdad de la segunda expresión, el carril extremo izquierdo actúa como un carril exclusivo de vuelta a la izquierda y, por lo tanto, deberá establecerse como un grupo separado de carriles.

En cuanto a la asignación de volúmenes a grupos de carriles, se sabe que cuando dos o más carriles sirven a un mismo movimiento vehicular, los volúmenes no se distribuyen de manera igual entre los carriles. Por lo tanto, un carril carga un volumen de tránsito mayor que los demás. De donde el flujo ajustado para cualquier grupo de carriles es (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994):

$$v_i = v_{gi}U_i \quad (7)$$

Donde:

$v_i$  = flujo de demanda ajustado en el grupo de carriles  $i$  (vph)

$v_{gi}$  = flujo de demanda no ajustado en el grupo de carriles  $i$  (vph)

$U_i$  = factor de utilización de carril para el grupo de carriles  $i$

El factor de utilización de carril  $U_i$  es de 1.00, 1.05 y 1.10 para uno, dos y tres o más carriles en grupo.

### **c) Módulo de Flujo de Saturación:**

El flujo de saturación puede determinarse mediante estudios de campo o calcularse con la siguiente expresión:

$$S = S_0(N)(f_A)(f_{VP})(f_P)(f_E)(f_B)(f_L)(f_{VD})(f_{VI}) \quad (8)$$

Donde:

S = Flujo de saturación del grupo de carriles, expresado como el total para todos los carriles del grupo, bajo condiciones prevalecientes (vphv).

S<sub>0</sub> = Flujo de saturación en condiciones ideales, tomando usualmente como 1800 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril (vlphvpc).

N = Número de carriles del grupo.

f<sub>A</sub> = Factor de ajuste por efecto de ancho de carril.

**Tabla 2 Factor de Ajuste por Anchura de Carril**

Anchura de carril, m	2.40	2.70	3.00	3.30	3.90	4.20	4.50	4.80
Factor de Ajuste, f <sub>A</sub>	0.87	0.90	0.93	0.97	1.00	1.07	1.100	Pase a 2 carriles

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

f<sub>VP</sub> = Factor de ajuste por vehículos pesados.

**Tabla 3 Factor de Ajuste por Vehículos Pesados**

Porcentaje de vehículos pesados, %VP	0	2	4	6	8	10	15	20	25	30
Factor de Ajuste, f <sub>vp</sub>	1.00	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.93	0.91	0.89	0.87

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

$f_p$  = Factor de ajuste por pendiente de acceso.

**Tabla 4 Factor de Ajuste por Pendiente de Acceso**

	BAJADA			A NIVEL	SUBIDA		
Inclinación, %	-6	-4	-2	0	+2	+4	+6
Factor de ajuste, $f_i$	1.03	1.02	1.01	1.00	0.99	0.98	0.97

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

$f_E$  = Factor de ajuste por la existencia de carriles de estacionamiento adyacentes al grupo de carriles y la actividad de estacionamiento en ese carril.

**Tabla 5 Factor de Ajuste por Estacionamiento**

N° de carriles en el grupo	Sin estacionamiento 0	N° de maniobras de estacionamiento por hora, Nm				
		0	10	20	30	40
1	1	0.9	0.85	0.8	0.75	0.7
2	1	0.95	0.92	0.89	0.87	0.85
3	1	0.97	0.95	0.93	0.91	0.89

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

$f_B$  = Factor de ajuste por paradas de autobuses.

**Tabla 6 Factor de Ajuste por Paradas de Autobuses**

N° de carriles en	Numero de autobuses que paran por hora, NB				
	0	10	20	30	40
1	1.00	0.96	0.92	0.88	0.83
2	1.00	0.98	0.96	0.94	0.92
3	1.00	0.99	0.97	0.96	0.94

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

$f_B$  = Factor de ajuste por localización de la intersección.

**Tabla 7 Factor de Ajuste por Localización de la Intersección**

Tipo de zona	Factor, $f_a$
Centro urbano	0.90
Otras zonas	1.00

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

$f_{VD}$  = Factor de ajuste por vueltas a la derecha en el grupo de carriles

**Tabla 8 Factor de Ajuste por Vueltas a la Derecha en el Grupo de Carriles**

$f_{VD}$	0.85	Carril exclusivo
$f_{VD}$	$1 - 0.15 * P_{VD}$	Carril compartido

$P_{Vd}$	Proporción de vueltas a la derecha por grupo de carriles
----------	--

**Fuente: Transportation Engineering and Planning – Third edition**

$f_{VI}$  = Factor de ajuste por vueltas a la izquierda en el grupo de carriles

**Tabla 9 Factor de Ajuste por Vueltas a la Izquierda en el Grupo de Carriles**

$f_{Vi}$	0.95	Carril exclusivo
$f_{Vi}$	$1/(1+0.05 \cdot P_{Vi})$	Carril compartido
$P_{Vi}$	Proporción de vueltas a la izquierda por grupo de carriles	

**Fuente: Transportation Engineering and Planning – Third edition**

**d) Módulo de Análisis de Capacidad:**

Para determinar la capacidad se hará uso de los anteriores módulos. La capacidad de cada acceso o grupo de carriles se calcula a partir de la ecuación (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

$$C_i = S_i(g_i/C) \quad (9)$$

La relación volumen a capacidad  $v/c$  para cada acceso o grupo de carriles se determina con la ecuación:

$$(v/c)_i = X_i = \frac{v_i}{s_i(g_i/C)} \quad (10)$$

$$X_i = \frac{(v/s)_i}{(g_i/C)} \quad (11)$$

El grado de saturación crítico de la intersección se calcula:

$$X_c = \frac{C}{C-L} [\sum_1 (v/s)_{ci}] \quad (12)$$

Si:

Si  $X_c > 1$ , significa que la demanda supera a la capacidad.

Si  $X_c < 1$ , significa que la intersección no está siendo usada a su total capacidad

Si un  $X_i$  es mayor a 1, pero el  $X_c < 1$ , entonces se puede modificar algunos valores de la intersección (tiempo de verde, ámbar y rojo) para bajar el  $X_i$  y subir el  $x_c$  y nivelar el uso de la intersección

#### **e) Módulo de Nivel de Servicio:**

El nivel de servicio para cada grupo de carriles, para cada acceso y para toda la intersección se define a través de la demora media por detenciones por vehículo (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

La demora total para el grupo de carriles se expresa como:

$$d_i = d_{1i} + d_{2i} \quad (13)$$

Donde:

$d_i$  = Demora total para el grupo de carriles (s/veh)

$d_{1i}$  = Demora uniforme para el grupo de carriles (s/veh)

$d_{2i}$  = Demora incremental para el grupo de carriles (s/veh)

La demora uniforme ( $d_{1i}$ ) es la que ocurriría si los vehículos llegaran uniformemente distribuidos, tal que no existe saturación durante ningún ciclo.

$$d_{1i} = 0.38C \frac{[1-(g_i/C)]^2}{[1-1(g_i/C)X_i]} \quad (14)$$

La demora incremental ( $d_{2i}$ ) toma en consideración las llegadas aleatorias, que ocasionan que algunos ciclos se sobresaturen.

$$d_{2i} = 173X_i^2 \left[ (X_i - 1) + \sqrt{(X_i - 1)^2 + (16X_i/c_i)} \right] \quad (15)$$

En la mayoría de los casos las llegadas de los vehículos no son del todo aleatorias, sino que lo hacen en forma agrupada como resultado de la progresión en los semáforos y otros factores. Por lo tanto, para tener en cuenta este efecto es necesario ajustar la demora total así:

$$d_{ia} = d_i(FP) \quad (16)$$

Donde:

$d_{ia}$  = demora ajustada para el grupo de carriles (seg/veh)

FP = Factor de ajuste por efecto de la progresión de los semáforos. Si los vehículos llegan cuando está en rojo se tiene un  $FP > 1$  si las llegadas son aleatorias toma el valor de 1 y si las llegadas son en verde  $FP < 1.0$

La demora en cualquier acceso,  $d_A$ , se determina como un promedio ponderado de las demoras totales de todos los grupos de carriles del acceso.

$$d_A = \frac{\sum_{i=1}^{n_A} (d_{ia} v_i)}{\sum_{i=1}^{n_A} v_i} \quad (17)$$

Donde:

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

La demora en la intersección,  $d_I$ , igualmente se determina como un promedio ponderado de las demoras en todos los accesos de la intersección.

$$d_I = \frac{\sum_{A=1}^T (d_A v_A)}{\sum_{A=1}^T v_A} \quad (18)$$

Donde:

$v_A$  = Flujo ajustado del acceso A.

T = Número de accesos de la intersección.

Finalmente, una vez determinado las demoras se procede a determinar el nivel de servicio de los grupos de carriles de acceso y de la propia intersección, haciendo uso de la Tabla N°10.

*Tabla 10 Criterios de Nivel de Servicio para Intersecciones*

Nivel de servicio	Demora por parada por vehículo(s)
A	0 – 10
B	10.1 – 20
C	20.1 – 35
D	35.1 – 55
E	55.1 – 80
F	>80.1

**Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000**

## **2.2.21. Semáforos**

### **2.2.21.1. Faseado De Semáforos**

La fase de un semáforo consiste en un intervalo verde, un intervalo ámbar, y donde aplique, un intervalo rojo corto que se asocia con la combinación de movimientos (rojo a todas las direcciones).

Actualmente, los semáforos "inteligentes" son capaces de mostrar dos fases diferentes simultáneamente. La fase se designa como "ACTIVA" si el verde, ámbar o el rojo corto son mostrados; sino la fase es "INACTIVA" (rojo largo) (Papacostas & Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, 2009).

El fasear es identificar la secuencia, es decir registrar la secuencia por la cual los movimientos de la intersección serán servidos al igual que la duración de servicio (luz verde) para cada movimiento Una vez que se fasea,

se puede estimar la duración del ciclo y las luces verdes para cada fase en base a los flujos vehiculares, al igual que las luces ámbar y rojo.

El objetivo de fasear un semáforo es la minimización de los posibles peligros que resultan de los conflictos de movimientos vehiculares y peatonales, mientras se mantiene la eficiencia del flujo a través de la intersección.

Los conflictos típicos son:

- Vehículos doblando a la izquierda cruzándose con el tráfico opuesto
- Vehículos doblando a la derecha que se cruzan con los peatones avanzando de frente

Sin embargo, aumentar las fases incrementa la seguridad, pero daña la eficiencia ya que se generan más demoras, y estas son ocasionadas por:

- Tiempo perdido por acción-reacción
- Aumentar del intervalo de cambio entre fases (número y tiempo de luces ámbar)
- No respetar ciertos movimientos, como el tiempo que requieren los peatones para cruzar una vía

Dentro del faseado de semáforos, se tiene tres esquemas típicos (Papacostas & Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, 2009).

#### **a) Operación de 2 fases:**

Un esquema de dos fases es apropiado para intersecciones con flujos peatonales bajos, donde el número de vehículos que doblan es de bajo a moderado. Los vehículos llegan a la intersección con suficiente espaciamiento como para permitir dobladas a la izquierda sin requerir proteger la doblada.

### **b) Operación de 3 fases**

El esquema de tres fases es apropiado cuando una de las siguientes condiciones de la operación de dos fases es violada:

- Alta cantidad de peatones.
- Alto volumen de vehículos que doblan a la izquierda en una de las direcciones.

### **c) Operación de 4 fases**

El esquema de cuatro fases se da si el volumen de vehículos que doblan a la izquierda es alto en ambas direcciones.

Ésta operación se optimiza con "líneas para doblar" las cuales reducen interferencias.

Para poder usar esta operación, se necesita definir:

- **Mínimo verde:** requerido para peatones
- **Máximo verde:** designados de tal manera que las otras fases que están en rojo no acumulen más vehículos que los que se puede manejar.

Finalmente, para el faseado de semáforos no existen técnicas o algoritmos de computadora que produzcan una secuencia de fases óptimas; simplemente esta se obtiene combinando sentido común, experiencia y análisis prueba-error. Se podría decir que la mejor secuencia de fases es aquella que diseña un ciclo óptimo que produzca la menor cantidad de demora de vehículos en la intersección.

#### **2.2.21.2. Ciclo De Un Semáforo**

El ciclo de un semáforo es la secuencia completa de todas las señales indicadas (rojo, verde y ámbar), este no debe ser designado de manera arbitraria ya que puede ocasionar ciclos excesivamente largos que

aumentan las demoras y las colas, o ciclos muy cortos que ponen en riesgo a los peatones y causa mayor congestión (Papacostas & Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, 2009).

Para determinar la duración óptima de un ciclo se hace uso de la ecuación de Webster's.

$$C_o = \frac{1.5L+5}{1-Y} \quad (19)$$

Donde:

$C_o$  = Duración del ciclo óptimo (segundos).

$L$  = Tiempo total perdido durante un ciclo que consiste en el tiempo acción-reacción menos la porción de ámbar usada por los chóferes.

$Y$  = Suma de los ratios de flujo de los movimientos críticos.

Si el ciclo del semáforo es mayor a 120 o toma un valor negativo, automáticamente el ciclo de semáforo es de 120 segundos. Asimismo, el intervalo de valores aceptables para la longitud de un ciclo determinado, está entre el 75% el 150% del ciclo óptimo, para el cual las demoras nunca serán mayores en más del 10% al 20% de la demora mínima. De la misma manera, algunos resultados empíricos han demostrado que el ciclo mantiene sus condiciones óptimas con valores entre más menos 30%.

Los pasos para determinar el ciclo de un semáforo son fasear el ciclo del semáforo, determinar los movimientos críticos por fase; donde el movimiento crítico corresponde a la línea o grupo de líneas con el ratio de flujo ( $v/c$ ) más grande.

### 2.2.21.3. Luz Verde De Un Semáforo

En una intersección semaforizada se tienen solo tres indicadores de señal, verde, amarillo o ámbar y rojo. El indicador rojo usualmente incluye un periodo corto, durante el cual todos los indicadores están en rojo, el cual es referido como el intervalo todo rojo, el mismo que con el indicador amarillo forman el intervalo de cambio y limpieza, intervalo entre dos fases verdes (Papacostas & Prevedouros, Transportation Engineering and Planning, 2009).

Para propósitos de análisis es conveniente dividir el ciclo de la señal para un grupo de vías dado en dos componentes simples: el tiempo efectivo de verde y rojo.

El tiempo efectivo de verde para un grupo de vías dados es el tiempo que puede ser usado por los vehículos, sobre la tasa de flujo de saturación. El tiempo efectivo de rojo es definido como la duración del ciclo menos el tiempo efectivo de verde.

Es importante conocer bien las relaciones entre el actual tiempo verde, amarillo o ámbar y rojo, mostrados en la fase de señal y los efectivos tiempos de verde y rojo. Cada vez que se inicia o detiene un movimiento se experimentan dos tiempos perdidos.

Cuando comienza el movimiento, varios de los primeros vehículos en fila experimentan pérdidas en la partida, que resultan en movimientos menores de la tasa del flujo de saturación, y al final del movimiento existe una porción del intervalo de cambio y limpieza que no es usado por el movimiento vehicular.

Por lo tanto, para determinar los intervalos de luz verde en el ciclo óptimo de una intersección se calcula la longitud del ciclo menos el tiempo de duración de amarillo o ámbar, a esto se le multiplica la relación entre, el máximo ratio del movimiento crítico de la fase y la suma de los ratios de flujo de los movimientos críticos. Una vez determinado el intervalo de luz verde, se debe

considerar los tiempos de pérdida por fase y de ámbar, todo con el fin de comprobar que el intervalo de luz roja o cruce peatonal sea el adecuado.

Para comprobar el intervalo de cruce peatonal, se hace uso de la siguiente expresión:

$$C_p = 7 + W/4 - Y' \quad (20)$$

Donde:

$C_p$  = tiempo de cruce del peatón

$W$  = ancho del cruce

$Y'$  = tiempo total de cambio (ámbar y todos-rojo)

El cruce del peatón ( $C_p$ ) para la primera fase debe cumplir con ser menor al valor que tiene el intervalo verde de la primera fase, y de la misma manera con la otra fase, debe ser menor al valor del intervalo verde de la fase que le corresponde.

En el caso que no cumpla con el tiempo de cruce peatonal, se tendrá que incrementar el valor del ciclo del semáforo para así obtener una intersección con valores adecuados.

#### **2.2.21.4. Coordinación De Semáforos**

Los sistemas coordinados pueden, o no, estar sujetos a un control maestro. En caso de existir, la interconexión puede lograrse mediante cables o radios. En los controles locales de estos sistemas, se emplean motores de sincronización o de inducción, o bien, dispositivos electrónicos de tiempo.

En general, los semáforos de tiempo fijo dentro de un radio de 400 metros y que regulan las mismas condiciones de tránsito, deben funcionar coordinadamente. Aun a distancias mayores, pueden resultar convenientes (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

Se tienen cuatro sistemas de coordinación de semáforos de tiempo fijo:

### **a) Sistema Simultáneo:**

En este sistema, todos los semáforos muestran la misma indicación aproximadamente al mismo tiempo, es decir es muy útil para coordinar intersecciones muy cercanas. En condiciones de tránsito muy intenso puede dar mejores resultados que el sistema progresivo.

Las duraciones de los ciclos y sus subdivisiones están controladas por las necesidades de una o dos de las intersecciones más importantes, lo que puede dar lugar a serias fallas en los demás. La relación entre la velocidad, ciclo y distancia, se expresa así:

$$v = \frac{3.6D}{C} \quad (21)$$

Donde:

$v$  = Velocidad de progresión entre intersecciones (km/h)

$D$  = Distancia entre intersecciones (m)

$C$  = Duración del ciclo (s)

### **b) Sistema Alternado:**

En este sistema, los semáforos de intersecciones cercanas, por grupos muestran indicaciones alternadas, a lo largo de una ruta.

Los sistemas alternos dobles y triples constan de grupos de dos y tres semáforos que, 'respectivamente, muestran indicaciones contrarias.

Este sistema tiene una mejora de circulación de los grupos de vehículos, y si las longitudes de las calles son más uniformes tendrá más fluidez. En estas

condiciones se consigue una banda del 100% siempre y cuando la velocidad de los vehículos sea:

$$v = \frac{7.2D}{C} \quad (22)$$

Donde:

v = Velocidad de progresión entre intersecciones (km/h)

D = Distancia entre intersecciones (m)

C = Duración del ciclo (s)

### **c) Sistema Progresivo Simple o Limitado:**

Este sistema trata de varios semáforos sucesivos, a lo largo de una calle, que dan la indicación de verde de acuerdo con una variación de tiempo que permite, hasta donde es posible, la operación continua de grupos de vehículos a velocidad fija en "ondas verdes". Cada intersección puede tener una división diferente de ciclo, pero dicha división permanece fija.

Este sistema puede estar supervisado por un control maestro, para mantener las relaciones debidas de tiempo entre las indicaciones de los semáforos. Es necesario realizar revisiones periódicas de los controles, por variaciones debidas a cambios de voltaje y temperatura.

Los desfases, o diferencia de tiempo en que se inician los ciclos entre dos semáforos, pueden tener cualquier valor. No se limitan a la duración de un ciclo o medio ciclo, como en los sistemas anteriormente citados. Los cálculos se hacen por tanteos, y no hay fórmula que relacione el ciclo con la velocidad de cruce y el tiempo de la faja disponible.

#### **d) Sistema Progresivo Flexible:**

En este sistema es posible que cada intersección con semáforo varíe automáticamente en varios aspectos. Mediante el uso de controles de intersecciones con carátulas múltiples, se pueden establecer varios programas para subdividir el ciclo. Además, es posible cambiar los desfases con la frecuencia deseada. Se pueden establecer programas de tiempo predeterminado en los controles múltiples para dar preferencia a las circulaciones en las horas de máxima demanda.

No obstante que todo el sistema usa un ciclo común, la duración y subdivisión de éste pueden variar en función de los cambios de volumen de vehículos. Con base en la variación de los volúmenes de tránsito y la selección de la velocidad adecuada, se puede lograr un movimiento continuo a lo largo de una arteria, especialmente si es de un sentido.

La supervisión de los controles individuales de las intersecciones se logra desde un control maestro a través de circuitos interconectados por medio de señales de radio o bien, por intermedio de líneas telefónicas.

Para obtener la máxima flexibilidad de este sistema, los recuentos de tránsito se deben efectuar frecuentemente. Este sistema es el que da mejores resultados para intersecciones ubicadas a distancias variables.

Finalmente, el coordinar semáforos predeterminados puede conseguirse si es que cada intersección tiene la misma duración del ciclo, más no necesariamente la misma distribución de verde, ámbar y rojo, es por eso que muchas veces se tienen algunos desfases (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994).

Mediante el diagrama tiempo-distancia, se pueden proyectar los desfases para obtener un movimiento continuo a lo largo de una arteria, por lo tanto, la figura N° 6 nos ayudará a comprender mejor.

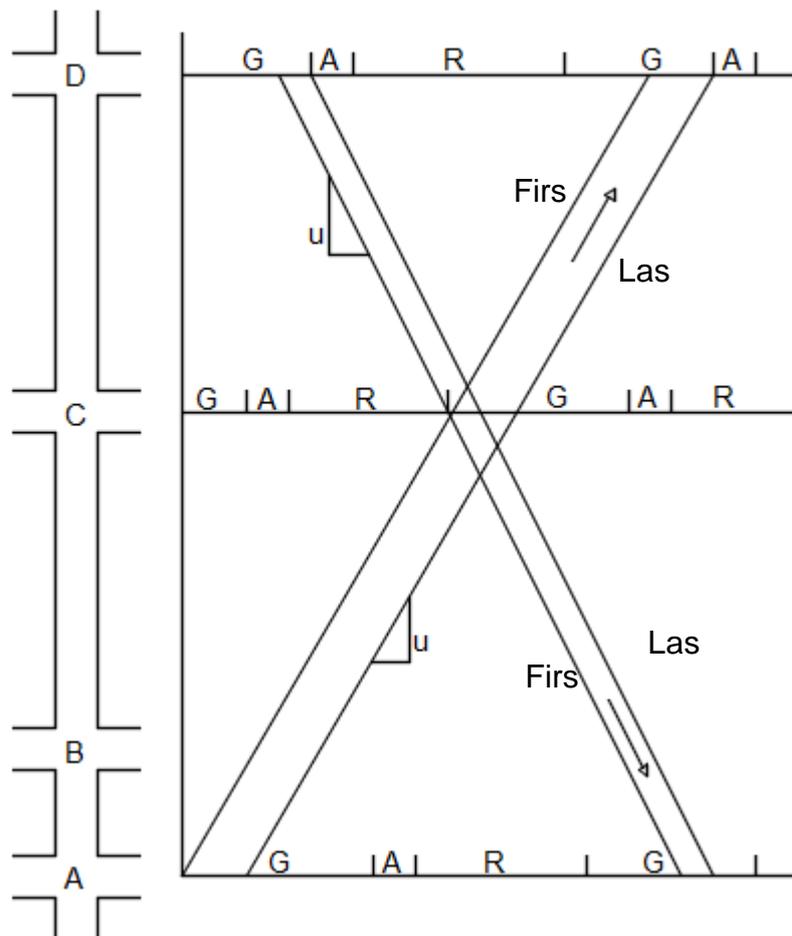


Figura 2 Diagrama Tiempo - Distancia

Fuente: Manual de Capacidad de Carreteras HCM 2000

G = Duration of Green  
A = Duration of amber  
R = Duration of red

Las líneas representan las trayectorias a velocidad constante del primer y último vehículo en la intersección que pueden cruzar el sistema sin detenerse y el offset (separación, descuadre, demora) es la diferencia entre un tiempo de referencia y el inicio de la primera fase verde.

La diferencia en el eje tiempo de la gráfica entre las líneas paralelas se conoce como el BANDA DE CRUCE. Al dividir la Banda de Cruce entre la típica separación vehicular, se puede calcular el número de vehículos que forman el pelotón.

Esta Banda de Cruce puede ser reajustada moviendo el eje tiempo en cada una de las intersecciones.

Existen diseños balanceados, donde ambas bandas (ida y vuelta) son iguales. Sin embargo, en algunos casos es beneficioso hacer un diseño preferencial en base a las demandas matutinas y vespertinas.

La solución puede hacerse gráficamente, analíticamente o por computadora, usando varias ecuaciones simples como  $e = vt$  y la siguiente ecuación:

$$\text{Tiempo en el ciclo} = \text{Resto } ((T - \text{demora}) / C)$$

## **2.2.22. Dispositivos Para El Control Del Tránsito**

En el Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para Calles y Carreteras, indica que, para realizar la señalización de vías urbanas, inicialmente se identifican los tipos de intersección existentes, ya sean:

### **a) Intersecciones de tipo preferencial**

Cuando la preferencia de paso se define mediante declaración expresa de una de las vías como principal, sobre la otra secundaria.

Para ello, el elemento básico a colocar será un poste con el octógono de "PARE" y la línea de parada pintada pavimento, pero no líneas peatonales.

### **b) Intersecciones controladas**

Son aquellas en las que la preferencia de paso está dada por semáforos (o policías); generalmente, la colocación de un semáforo en una intersección será recomendable en el caso de haber flujos vehiculares importantes. Para estos casos, deberá pintarse líneas de canalización de carriles, barras de detención de tránsito y franjas de protección para el cruce de peatones.

### **c) Intersección peatonal especial**

Son aquellas en las que es necesario, por el volumen de peatones en el área, colocar un cruce peatonal a mitad de cuadra o en las esquinas. Se recomienda demarcar el cruce peatonal en el pavimento, acompañado de semáforos grandes de luz ámbar.

Los dispositivos de control de tránsito deben cumplir con algunos requisitos:

- Satisfacer una necesidad
- Llamar la atención
- Transmitir un mensaje simple y claro
- Imponer respeto a los usuarios de las calles y carreteras
- Estar en el lugar apropiado con el fin de dar tiempo para reaccionar

Al proyectar dispositivos de control de tránsito, lo más importante es lograr la uniformidad de formas, tamaños, símbolos, colores, y ubicación, de manera que satisfagan una necesidad.

#### **2.2.22.1. Clasificación De Los Dispositivos De Control**

Los Dispositivos de Control de Tránsito son las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que se coloquen sobre o adyacente a las calles y carreteras por una autoridad pública, para prevenir, regular y guiar a los usuarios de las mismas. Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000). Los dispositivos para el control de tránsito en calles y carreteras se clasifican en:

- **Señales Verticales:**

- Preventivas
- Restrictivas
- Informativas

- **Señales Horizontales:**

- Marcas

- **Semáforos:**

- Vehiculares
- Peatonales
- Especiales

#### **2.2.22.1.1. Señales Verticales**

Las señales verticales, como dispositivos instalados a nivel del camino o sobre él, están destinados a reglamentar el tránsito, advertir o informar a los usuarios mediante palabras o símbolos determinados.

Además, deberán ser usadas de acuerdo a las recomendaciones de los estudios técnicos realizados. Se utilizarán para regular el tránsito y prevenir cualquier peligro que podría presentarse en la circulación vehicular. Asimismo, para informar al usuario sobre direcciones, rutas, destinos, centros de recreo, lugares turísticos y culturales, así como dificultades existentes en las carreteras

El diseño de las señales verticales debe ser uniforme en cuanto a forma, color, dimensiones, leyendas y símbolos, para lo cual deben de hacer uso del Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor para calles y carreteras.

Las señales verticales por lo general deben estar colocadas a la derecha en el sentido del tránsito, en algunos casos estarán colocadas en lo alto sobre la vía, en casos excepcionales serán consideradas como señales adicionales las cuales estarán colocadas al lado izquierdo del sentido del tránsito (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

En el caso de las zonas rurales, la distancia del borde de la calzada al borde de la señal no deberá ser menor de 1.20 m ni mayor de 3 m, y la altura mínima permisible entre el borde inferior de la señal y la superficie de rodadura fuera de la berma será de 1.50 m; asimismo, en el caso de colocarse varias señales en el poste, el borde inferior de la señal más baja cumplirá con la altura mínima permisible.

Para las zonas urbanas, la distancia del borde de la calzada al borde de la señal no deberá ser menor de 0.60 y la altura mínima permisible entre el borde inferior de la señal y el nivel de la vereda no será menor de 2.10 m.

En el caso de las señales colocadas en lo alto de la vía, la altura mínima entre el borde inferior de la señal y la superficie de rodadura será de 5.30 m.

Las señales deberán formar con el eje del camino un ángulo de 90°, pudiéndose variar ligeramente en el caso de las señales con material reflectorizante, la cual será de 80 a 150 en relación a la perpendicular de la vía.

Para el mantenimiento de las señales, estas deberán conservar su posición, deberán estar limpias, y legibles todo el tiempo, y las que se encuentren dañadas deberán ser reemplazadas inmediatamente.

#### **a) Señales Preventivas**

Las señales preventivas tienen por objeto advertir al usuario de la vía de la existencia de un peligro y la naturaleza de éste. Las señales por sí mismas deben provocar que el conductor adopte medidas de precaución, y llamar su atención hacia una reducción de su velocidad o a efectuar una maniobra con

el interés de su propia seguridad o la de otro vehículo o peatón (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

Las señales preventivas deberán instalarse siempre que una investigación o estudio de tránsito indique que existe una condición de peligro potencial. Las características que pueden justificar el uso de señales preventivas son:

- Cambios en el alineamiento horizontal y vertical por la presencia de curvas
- Presencia de intersecciones con carreteras o calles, y pasos a nivel con vías de ferrocarril.
- Reducción o aumento del número de carriles y cambios de anchura del pavimento.
- Proximidad de un cruce donde existe un semáforo o donde se debe hacer un atto.
- Pasos peatonales y cruces escolares.
- Condiciones deficientes en la superficie de la o calle, como presencia de huecos y protuberancias
- Presencia de derrumbes, grava suelta, etc.
- Aviso anticipado de dispositivos de control por obras de construcción.

Las señales preventivas serán de forma cuadrada, de esquinas redondeadas, que se colocará con una de sus diagonales en sentido vertical tomando la forma de diamante. Las señales que requieran una explicación complementaria, además del símbolo llevarán un tablero adicional en su parte inferior de forma rectangular con las esquinas redondeadas, con leyendas como principio, termina, o la longitud que presenta.

Los colores de las señales preventivas serán en acabado reflejante o mate, de color amarillo para el fondo, y negro para el símbolo, leyendas, caracteres y filete.

Las ubicaciones de las señales preventivas estarán a una distancia del lugar que se desea prevenir, de modo tal que permitan al conductor tener tiempo suficiente para disminuir su velocidad; la distancia será determinada de tal manera que asegure su mayor eficacia tanto de día como de noche, teniendo en cuenta las condiciones de la propia vía.

Las distancias recomendadas son:

Zona Urbana	60m - 75m
Zona Rural	90m 180m
Autopista	250m - 500m

## **b) Señales Restrictivas**

Las señales restrictivas tienen como función expresar en la carretera o calle alguna, a los usuarios de la vía de las limitaciones, prohibiciones o restricciones que gobiernan el uso de ella y cuya violación constituye un delito (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

Las señales restrictivas de acuerdo a su uso se clasifican en los siguientes grupos:

- **Señales relativas al derecho de paso**

La forma de las señales relativas al derecho de paso para la señal PARE son de forma octogonal, y de la señal CEDA EL PASO son de forma triangular con uno de sus vértices en la parte inferior.

El color para la señal PARE es rojo y el marco y las letras son de color blanco, para la señal CEDA EL PASO es de color blanco con franja perimetral roja.

Las dimensiones de la señal PARE (octágono) son de 0.75m x 075m, y para CEDA EL PASO (triángulo equilátero) de 0.90m.

- **Señales prohibitivas o restrictivas**

La forma de estas señales es circular inscritas en una placa rectangular con la leyenda explicativa del mensaje que encierra la simbología utilizadas, las dimensiones de la placa rectangular son de 0.60mx0.90m y 0.80mx1.20, y la de los símbolos estarán de acuerdo al diseño de cada una de las señales de reglamentación. El color de estas señales es blanco con símbolo y marco negro, el círculo de color rojo, así como la franja oblicua trazada del cuadrante superior izquierdo al cuadrante inferior derecho que representa prohibición.

- **Señales de sentido de circulación**

En el caso de las señales de sentido de circulación, tienen forma rectangular y su mayor dimensión es a nivel horizontal, son de color negro con flecha blanca, la leyenda, en caso de utilizarse llevará letras negras.

### **c) Señales Informativas**

Estas señales tienen por objeto identificar las vías y guiar al usuario proporcionándole la información que pueda necesitar (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

Estas señales se agrupan de la siguiente manera:

- Señales de dirección
  - Señales de destino
  - Señales de destino con indicación de distancias
  - Señales de indicación de distancias
- Señales indicadoras de rutas
- Señales de información general

## Señales de Información

### Señales de Servicios Auxiliares

Las señales de dirección de Dirección, tienen por objeto guiar a los conductores hacia su destino o puntos intermedios, las formas de estas señales son de forma rectangular con su mayor dimensión a nivel horizontal, El color en las autopistas, carreteras importantes, área rural es de color verde con letras, flechas y marco blanco. Para carreteras secundarias, tendrá fondo blanco, y las letras, flechas y marco de color negro.

En las autopistas y avenidas importantes, área urbana, el fondo será azul con letras, flechas y marco blanco.

Los indicadores de ruta sirven para mostrar el número de ruta de las carreteras, facilitando a los conductores la identificación de ellas durante su itinerario de viaje. Las formas de estas señales son de forma especial, sus diseños y color estarán en el Manual de Dispositivos de Control del tránsito automotor para calles y carreteras.

Las señales de información general se utilizan para indicar al usuario la ubicación de lugares de interés general, así como los principales servicios públicos conexos con las carreteras (Servicios Auxiliares). Las formas de estas señales son rectangulares con mayor dimensión a nivel vertical, el color será similar a las de dirección, a excepción de las de servicios auxiliares que serán de fondo azul con un recuadro blanco, símbolo negro y letras blancas; y en el caso de la de primeros auxilios, tendrá una cruz de color rojo sobre fondo blanco.

#### **2.2.22.1.2. Señales Horizontales**

Las señales horizontales son marcas en el pavimento que sirven para canalizar y orientar la circulación de los vehículos e indican los movimientos a ejecutar mediante líneas, figuras y leyendas. Constituyen un excelente

medio de señalización que guía al usuario sin distraer su vista del camino (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

Estas cumplen algunas funciones:

- Delimitar los carriles de circulación y separar los sentidos de circulación.
- Reforzar o precisar las indicaciones de otras señales.
- Repetir o recordar una señal vertical.
- Delimitar las zonas excluidas al tráfico y las reservadas a la circulación o al estacionamiento.
- Permitir un mejor aprovechamiento de la calzada disponible y favorecer en los conductores la disciplina de carril.
- Mejorar la seguridad, fluidez, comodidad y eficacia de la circulación.

#### **a) Marcas**

Las marcas viales o demarcación horizontal son las señales de tránsito aplicadas sobre la calzada, con la finalidad de guiar el tránsito vehicular, regular la circulación y advertir determinadas circunstancias. La regulación incluye la transmisión de órdenes y/o indicación de zonas prohibidas.

La Demarcación Horizontal aumenta los niveles de seguridad y eficacia de la circulación, por lo que es necesario que se tengan en cuenta en cualquier actuación vial como parte del diseño y no como agregado posterior a su concepción.

Las demarcaciones deben ser uniformes en su diseño, posición y aplicación. Es necesaria su uniformidad a fin de que puedan ser reconocidas y entendidas instantáneamente por los usuarios de la vía. El atributo primordial de toda Marca Vial es que debe ser visible tanto durante la circulación diurna como nocturna, así como ante limitaciones atribuibles a condiciones ambientales adversas, como lluvia o niebla. En tal sentido, todas las demarcaciones deben ser reflectivas.

De acuerdo a su conformación física, las Marcas se pueden distinguir en marcas Normales y marcas Especiales. A su vez, las marcas Normales se pueden clasificar en función de su posición relativa a la calzada, en marcas Longitudinales y marcas Transversales. Las marcas Especiales a su vez, incluyen marcas como: Símbolos, Leyendas y otras demarcaciones (Manual de Dispositivos para el Control de Tránsito automotor para calles y carreteras, 2000).

➤ **Líneas Longitudinales**

Son aquellas que se ubican en forma paralela al eje de la carretera. Suministran una guía "positiva" al delinear al usuario de la carretera, los límites de las áreas de la calzada donde es seguro circular. Asimismo, suministra una guía "negativa"; esto es, indica áreas donde no es seguro viajar o directamente donde está prohibido circular. Dentro de estas, se tienen:

▪ **Marca Blanca Longitudinal Continua:**

Consiste en una línea continua sobre la calzada, significa que ningún conductor puede atravesarla, circular sobre ella ni circular por la izquierda de la misma cuando separe los dos sentidos de circulación. Dos líneas continuas adosadas tienen el mismo significado.

▪ **Marca Blanca Longitudinal Discontinua:**

Está destinada a delimitar los carriles. Ningún conductor debe circular sobre ella, salvo cuando sea necesario y la seguridad de la circulación lo permita, en calzadas con carriles estrechos de menos de 3 metros de anchura

▪ **Marca Blanca Longitudinales Discontinuas Dobles:**

Dos líneas discontinuas delimitando un carril por ambos lados, significan que éste es reversible.

- **Marca Blanca Longitudinal Continua Adosada a Discontinua:**

Los conductores no deben tener en cuenta más que la línea situada en el lado por el que circulan.

- **Marca Blanca Guía en la Intersección:**

Indica a los conductores cómo se debe realizar determinada maniobra en una intersección

- **Líneas de Borde y Estacionamiento:**

No se consideran marcas longitudinales. Sirven para delimitar los bordes de la calzada para hacerlos más visibles, también delimitan lugares de estacionamiento en la calzada.

- **Marca Amarilla Longitudinal Continua:**

Está pintada en el bordillo o junto al borde de la calzada. Significa que está prohibida la parada y el estacionamiento en toda la longitud de la línea y en el lado en el que esté situada.

- **Marca Amarilla Longitudinal Discontinua:**

Pintada en el bordillo o junto al borde de la calzada, significa que está prohibido el estacionamiento, en toda la longitud de la línea y en el lado en el que esté situada.

- **Cuadriculas de Marca Amarillas:**

Indica a los conductores que no podrán penetrar en la intersección, aunque gocen de prioridad si, previsiblemente, pueden quedar detenidos en la misma, impidiendo la circulación transversal.

- **Marca Amarilla en Zigzag:**

Significa que está prohibido el estacionamiento en la zona marcada por la misma.

## ➤ **Líneas Transversales**

Son las que se ubican en forma perpendicular al eje de la carretera. Se emplean para indicar sectores de reducción de velocidad ante un punto de riesgo (curva peligrosa, cruce, empalme) y para indicar la existencia de líneas límites, entendiendo por tales, las líneas que no pueden ser sobrepasadas sin efectuar una acción en relación al derecho de paso. Se incluyen en esta clase, las siguientes líneas:

### ▪ **Marca Transversal Continua:**

Una línea transversal continúa pintada a lo ancho de uno o varios carriles indican que ningún vehículo debe franquearla, cuando una señal, semáforo o agente obligue a detenerse.

### ▪ **Marca Transversal Discontinua:**

Una línea transversal discontinua pintada a lo ancho de uno o varios carriles indica que ningún vehículo debe franquearla cuando deban ceder el paso.

### ▪ **Marca de Paso Para Peatones:**

Indican un paso para peatones, donde los conductores de vehículos deben cederles el paso.

### ▪ **Marco de Paso Para Ciclistas:**

Indican un paso para ciclistas donde éstos tienen preferencia.

## ➤ **Símbolos y Leyendas**

Son las que por su singular conformación física se ubican en sentido perpendicular a la carretera. Se incluyen dentro de esta clase, las siguientes marcas:

- **Señal de Ceda el Paso:**

Consiste en un triángulo dibujado sobre la calzada. Indica al conductor la obligación de ceder el paso a otros vehículos en la próxima intersección.

- **Señal de Stop:**

El símbolo de stop marcado sobre la calzada, indica al conductor la obligación de detener su vehículo ante la línea de detención de la próxima intersección.

- **Señal de Limitación de Velocidad:**

La cifra indica la velocidad que no deben rebasar los vehículos que circulen por el carril sobre el que está pintada la señal.

- **Flechas de Selección de Carriles:**

El conductor debe seguir la dirección (o una de las direcciones) marcada por la flecha que está pintada en el carril por el que circula o, si la señalización lo permite, cambiarse de carril.

- **Flecha de Salida:**

Indica el lugar desde el que se puede iniciar el cambio de carril para tomar un carril de salida.

- **Flecha de Fin de Carril:**

Indica que el carril en que está situada termina próximamente y es preciso seguir su indicación.

- **Flechas de Retorno:**

Anuncia la proximidad de una línea continua y, por tanto, indica a los conductores que estén utilizando el carril izquierdo, la obligación de circular cuanto antes por el carril derecho.

## ➤ **Otras Demarcaciones**

Son aquellas que, por su singular conformación física tanto en planta como en alzada, constituyen un subtipo aún más diferenciado dentro de las marcas especiales.

La singularidad en planta es tal que estas marcas, se ubican tanto en forma perpendicular, como paralela a la carretera, y hasta oblicuas. La singularidad en alzada es tal que las alturas de estas marcas viales exceden los de 5 mm que se establecen.

- **Marca de Bifurcación:**

Indica al conductor que se aproxima a una bifurcación en la calzada por la que transita.

- **Marca de Paso a Nivel:**

La P y N marcadas sobre la calzada, indica la proximidad de un paso a nivel.

- **Inscripción de Carril o Zona Reservada:**

Indica que el carril sobre el que está pintado, está reservado, temporal o permanentemente, para la circulación, parada o estacionamiento, de algún tipo de vehículos, como por ejemplo taxi o bus.

- **Marca de Vía Para Ciclista:**

Indica una vía específicamente acondicionada para la circulación de ciclos

- **Cebreado:**

Una zona marcada con franjas oblicuas paralelas enmarcadas por línea continua significa que ningún conductor debe entrar con su vehículo, excepto los obligados a circular por el arcén.

- **Marcas Azules:**

Son marcas que delimitan zonas en el que el estacionamiento está autorizado durante ciertos períodos del día.

### **2.2.22.1.3. Semáforos**

Los semáforos son dispositivos de control mediante los cuales se regula el movimiento de vehículos y peatones en calles y carreteras, por medio de luces de color rojo, amarillo y verde, operadas por una unidad de control (Cal y Mayor & Cárdenas, 1994). Los semáforos se usan para desempeñar, entre otras, las siguientes funciones:

- Interrumpir periódicamente el tránsito en una corriente vehicular o peatonal para permitir el paso de otra corriente vehicular o peatonal.
- Regular la velocidad de los vehículos para mantener la circulación continua a una velocidad constante.
- Controlar la circulación por canales.
- Eliminar o reducir el número y gravedad de algunos tipos de accidentes, principalmente los que implican colisiones perpendiculares.
- Proporcionar un ordenamiento del tránsito.

#### **a) Clasificación**

La siguiente clasificación de semáforos se ha hecho a base del mecanismo de operación de sus controles. Según esto, tenemos la siguiente división:

- **Semáforos para el control del tránsito de vehículos**

Semáforos pre sincronizados o de tiempos predeterminados.

Semáforos accionados o activados por el tránsito.

Totalmente accionados

Parcialmente accionados

- **Semáforos para pasos peatonales**

En zonas de alto volumen peatonal

En zonas escolares

- **Semáforos especiales**

Semáforos de destello o intermitentes

Semáforos para regular el uso de carriles

Semáforos para puentes levadizos

Semáforos para maniobras de vehículos de emergencia

Semáforos y barreras para indicar la aproximación de trenes

## **b) Elementos que Componen un Semáforo**

- **Cabeza**

Es la armadura que contiene las partes visibles del semáforo. Cada cabeza contiene un número determinado de caras orientadas en diferentes direcciones.

- **Soportes**

Son las estructuras que se usan para sujetar la cabeza del semáforo y tienen como función situar los elementos luminosos del semáforo en la posición donde el conductor y el peatón tengan la mejor visibilidad y puedan observar las indicaciones. Algunos elementos del soporte deberán permitir ajustes angulares, verticales y horizontales de las caras de los semáforos.

Por su ubicación en la intersección, los soportes son de dos tipos:

- Ubicación a un lado de la vía

Postes

Ménsulas cortas

- Ubicados en la vía

Ménsulas largas sujetas a postes laterales

Cables de suspensión 3. Postes y pedestales en islas

### ➤ **Cara**

Es el conjunto de unidades ópticas (lente, reflector, lámpara o bombillo y porta lámpara) que están orientadas en la misma dirección, En cada cara del semáforo existirán como mínimo dos, usualmente tres, o más unidades ópticas para regular uno o más movimientos de circulación.

### ➤ **Lente**

Es la parte de la unidad óptica que por refracción dirige la luz proveniente de la lámpara y de su reflector en la dirección deseada.

### ➤ **Visera**

Es un elemento que se coloca encima o alrededor de cada una de las unidades ópticas, para evitar que, a determinadas horas, los rayos del sol incidan sobre éstas y den la impresión de estar iluminadas, así como también para impedir que la señal emitida por el semáforo sea vista desde otros lugares distintos a aquel hacia el que está enfocado.

### **2.2.23. Simulación De Tráfico Vehicular**

Metodología del Manual de Capacidad de carreteras HCM 2000

El Manual de Capacidad de Carreteras es una publicación de Transportation Research Board (TRB) en los Estados Unidos. Contiene conceptos, directrices y procedimientos de cálculo para la capacidad y nivel de servicio en las carreteras.

El manual tiene como intención proveer una base sistemática y congruente para el establecimiento de los valores estimados de la Capacidad y los Niveles de Servicio del sistema de transporte terrestre.

Dichos parámetros y métodos han sido establecidos a partir de una amplia gama de estudios e investigaciones llevados a cabo durante los últimos cincuenta años en los que se reflejan condiciones promedio de circulación en los EE. UU. De manera que al hacer uso del HCM 2000 debe tenerse en cuenta que la mayoría de los datos de investigación provienen particularmente de valores por defecto y aplicaciones para los EE.UU.

Mediante el análisis operacional se determina la capacidad y el nivel de servicio de cada grupo de carriles o acceso, lo mismo que el nivel de servicio de la intersección como un todo o globalmente, a partir de una información detallada de las condiciones prevaecientes geométricas, del tránsito y del control semafórico.

En la Figura 3 se muestran las entradas y los cálculos básicos del método, cuyo principal resultado es el nivel de servicio.

El análisis operacional del HCM consiste en estimar las medidas de eficiencia que son generadas en principio para elementos individuales y luego agregadas (ponderadas) para el sistema como un todo. La Figura 4 esquematiza el procedimiento.

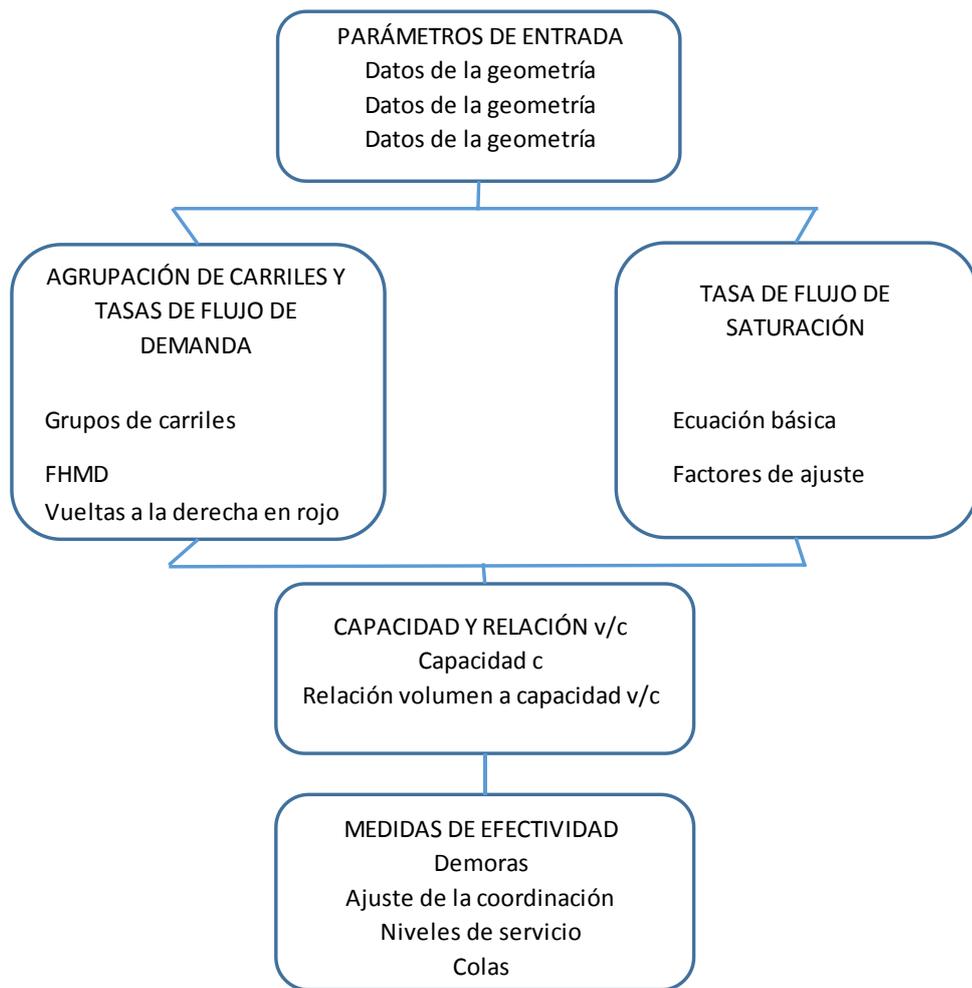


Figura 3 Esquema metodológico para el análisis de intersecciones con semáforos HCM 2000 Manual.

Tipo de condición	Parámetro
Geométricas	Tipo de área Número de carriles, N Pendiente, G(%) Existencia de carriles exclusivos, LT o RT Longitud de bahías, LT o RT, Ls(m) Estacionamiento
Tránsito	Volúmen de demanda por movimiento, V(veh/h) Tasa de flujo de saturación base, So(vehículos livianos/h/carril) Factor de la hora de máxima demanda FHMD Porcentaje de vehículos pesados HV(%) Tasa de flujo peatonal en el acceso Vped(peatones/h) Autobuses locales que paran en la intersección, Nb(autobuses/h) Actividad de estacionamiento, Nm(maniobras/h) Tipo de llegadas AT Proporción de vehículos que llegan en verde, P Velocidad de aproximación, SA(km/h)
Semáforos	Longitud de ciclo, C(s) Tiempo en verde, G(s) Amarillo + Todo Rojo, intervalo de cambio y despeje, entreverde, Y(s) Operación accionada o prefija Botón peatonal Verde mínimo peatonal, Gp(s) Plan de fases Período de análisis, T(h)

Figura 4 Datos necesarios para el análisis de cada grupo de carriles.

Se deben realizar ajustes para adecuar a la realidad.

#### **Ajuste por ancho de carril (fW)**

Es aquel que incorpora el impacto negativo de carriles angostos en la tasa de flujo de saturación, así como también permite una tasa de flujo mayor en carriles anchos. El ancho de carril considerado estándar es de 3.6m.

#### **Ajuste por vehículos pesados (fHV)**

Es aquel que incorpora el espacio adicional ocupado por los vehículos pesados y sus diferencias operativas en comparación con los vehículos livianos. El equivalente en vehículos livianos (ET) empleado para cada vehículo pesado es de 2 vehículos livianos y es reflejado en la fórmula de la Tabla 5.

### **Ajuste por pendiente del acceso (fg)**

Es aquel que incorpora el efecto de la pendiente de la rasante sobre la operación de todos los vehículos, incluyendo vehículos pesados y livianos.

### **Ajuste por estacionamientos (fP)**

Es aquel que incorpora los bloqueos ocasionales debido a las maniobras de estacionamiento. Se emplea el número de maniobras por hora en estacionamientos adyacentes al grupo de carriles y dentro de 75 m corriente arriba desde la línea de parada.

Además, se considera un límite práctico de 180 maniobras como máximo y se debe tener en cuenta que las condiciones de estacionamiento con cero maniobras tienen un impacto diferente que una situación donde no hay estacionamientos.

### **Ajuste por bloqueo de buses (fbb)**

Es aquel que incorpora el tránsito local de buses que se detienen a recoger o dejar pasajeros dentro de los 75 m desde la línea de parada (corriente arriba o corriente abajo). Este factor solo se debería emplear cuando los buses detenidos bloquean el flujo de tráfico. Se emplea un límite práctico de 250 paradas como máximo.

### **Ajuste por tipo de área (fa)**

Es aquel que incorpora la ineficiencia relativa de las intersecciones en los distritos de negocios. Es apropiado en áreas con características de un distrito central de negocios (CBD, Central Business District), las cuales incluyen derechos de paso en calles angostas, maniobras de parqueo frecuentes, bloqueo de vehículos, actividades de taxis y buses, pequeños radios de giro, uso limitado de carriles exclusivos de giro, alta actividad de peatones, etc.

### **Ajuste por utilización de carril (fLU)**

Es aquel que incorpora la distribución desigual del tráfico entre los carriles en un grupo de carriles con más de un carril. El factor fLU está basado en el

flujo del carril con el volumen más alto y se calcula empleando la ecuación correspondiente de la Figura 4.

### **Ajuste por giros a la derecha (fRT)**

Es aquel que intenta reflejar el efecto de la geometría. Depende de si los giros se realizan desde un carril exclusivo o compartido y de la proporción de vehículos en el grupo de carriles que giran a la derecha. Nótese que el factor de giro a la derecha es 1.0 si el grupo de carriles no incluye ningún giro a la derecha.

### **Ajuste por giros a la izquierda (fLT)**

Los factores de ajuste por giros a la izquierda dependen de si los giros son protegidos o permitidos y de si se realizan desde un carril exclusivo o compartido.

Factor	Fórmula	Definición de variable	Notas
Ancho de Carril	$f_W = 1 + \frac{W - 3.6}{9}$	W=ancho de carril (m)	W≥2.4m; si W≥4.8m analizar como dos carriles
Vehículos pesados	$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV(E_T - 1)}$	%HV=porcentaje de vehículos pesado del grupo	ET=2.4 autos/pesado
Pendiente	$f_g = 1 - \frac{\%G}{200}$	%G=porcentaje de pendiente del acceso	-6≤%G≤+10 Negativa en descensos
Estacionamiento	$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N}$	N=número de carriles de grupo Nm=número de maniobras de estacionamiento/h	0≤Nm≤180 fp≥0.050; fP=1.000 para sin estacionamiento
Bloqueo de buses	$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_B}{3600}}{N}$	N=número de carriles del grupo NB=número e buses que paran por hora	0≤NB≤250 fbb≥0.050
Tipo de área	$f_a = 0.900$ en CBD $f_a = 1.000$ en otras áreas	CDB=distrito Cntral de Negocios (centro de la ciudad)	
Utilización de carriles	$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{gi}N}$	Vg=tasa de flujo de demanda no ajustada del grupo de carril (veh/h) Vgi=tasa de flujo de demanda no ajustada del carril con el volumen más alto del grupo N=número de carriles del grupo	
Vueltas a la izquierda	Fase protegida: $f_{LT} = 0.95$ Carril exclusivo; carril compartido $f_{LT} = \frac{1}{1.0 + 0.05P_{LT}}$	PLT=proporción de vueltas a la izquierda en el grupo de carriles	
Vueltas a la derecha	Carril exclusivo: $f_{RT} = 0.85$ Carril compartido: $f_{RT} = 1.0 + 0.15P_{RT}$ Carril simple: $f_{RT} = 1.0 + 0.135P_{RT}$	PRT=proporción de vueltas ala derecha en el grupo de carriles	fRT≥0.050

Figura 5 Expresiones para calcular los diferentes factores de ajuste.

Los cálculos conllevan a determinar los niveles de servicio

### **Nivel de Servicio A**

Representa a Circulación a Flujo Libre. Los usuarios en Forma individual, están virtualmente exentos de la presencia de otros en la circulación.

### **Nivel de Servicio B**

Para los términos del HCM la circulación se encuentra dentro del Rango de flujo Libre, aunque se empiezan a observar otros vehículos integrantes en la circulación.

### **Nivel de Servicio C**

Pertenece al rango de Flujo estable, pero marca el comienzo del dominio en que la operación de los usuarios individuales se ve afectada de forma significativa por las interacciones con los otros usuarios.

### **Nivel de Servicio D**

Representa una circulación de densidad elevada, aunque estable. La velocidad y libertad de maniobra quedan seriamente restringidas y el usuario experimenta un nivel general de comodidad y conveniencia bajo.

### **Nivel de Servicio E**

El Funcionamiento está en el o cerca del límite de capacidad. La velocidad de todos los usuarios se ve reducida significativamente. La libertad de maniobra para circular es extremadamente difícil y se consigue forzando a los vehículos a “Ceder el Paso”

### **Nivel de Servicio F**

Representa condiciones de Flujo Forzado. En estos lugares se forman colas donde la operación se caracteriza por la existencia de ondas de parada y arranque, extremadamente inestables, típicas de los “Cuellos de Botella”.

## **Programa Synchro Traffic 8.0**

Synchro es un software desarrollado por Trafficware que permite el análisis y optimización de sistemas de tráfico a un nivel macroscópico. En principio, la de Synchro implementa las metodologías de los Capítulos 15, 16 y 17 del Manual de Capacidad de Carreteras-HCM 2000; sin embargo, también existen algunas diferencias con respecto al HCM, entre las cuales se destaca un método alternativo para el cálculo de demoras, denominado Método Percentil de Demoras.

A continuación, se describen brevemente las principales consideraciones empleadas por Synchro.

### **2.2.24. Intersecciones Viales**

Las intersecciones son parte de un sistema existente de calles y vialidades, en aquellos puntos donde se unen los elementos, las cuales funcionan como un conjunto de interrelaciones muy complejas.

Por lo que es importante entender que la intersección es un área crítica en el uso efectivo de calles y vialidades, es el punto focal de conflictos y congestión, ya que es común a dos o más caminos. Al incrementarse la frecuencia y severidad de los conflictos de la intersección, la regulación y el control se vuelven necesarios por lo que la solución de una intersección vial depende de una serie de factores asociados esencialmente a la topografía del sitio, a las características geométricas de las vialidades que se cruzan y a las condiciones del flujo vehicular.

Formalmente se denomina como intersección a un área que es compartida por dos o más caminos, y cuya función principal es posibilitar el cambio de dirección de la ruta. La intersección varía en complejidad desde un simple crucero, con sólo dos caminos que se cruzan entre sí en ángulo recto, hasta una intersección más compleja, en la cual se cruzan tres o más caminos dentro de la misma área.

Las intersecciones se clasifican en tres, a desnivel sin rampa, con rampa y a nivel. Para este documento es necesario definir la intersección a nivel.

### **Intersección a nivel**

Las intersecciones a nivel tienen una inmensa posibilidad de variación, ya que no existen soluciones de aplicabilidad general. La superficie común a ambas vías genera un conflicto sobre quien tiene la prioridad de paso, o de uso de la calzada.

Por lo general, las intersecciones se dan con ángulos mayores a  $70^\circ$ , esto se debe a que el conductor al girar en intersecciones en forma oblicua o en Y tiene una menor visibilidad. Siempre se busca que la intersección tenga una superficie compartida mínima, esto se debe a que las posibilidades de colisión disminuyen a medida que disminuye la misma.

Cuando la superficie compartida es muy grande se colocan canalizaciones que sirven como derivadores de tránsito. Estas pueden ser: isletas, platabandas, canteros centrales, etc.

### **2.2.25. Intersecciones Giratorias O Glorietas**

En las intersecciones giratorias con prioridad al anillo las glorietas no se emplea el concepto global de capacidad de la intersección, ya que no existe una correspondencia unívoca entre su geometría y su capacidad, sino que dicha capacidad depende de la distribución de tráfico en los diferentes ramales de entrada y salida.

Es fácil de entender que una glorieta tendrá mayor capacidad si los vehículos que entren en ella salgan por la primera salida que se efectúan un recorrido más largo, ya que aumentará la probabilidad de conflictos con otros vehículos.

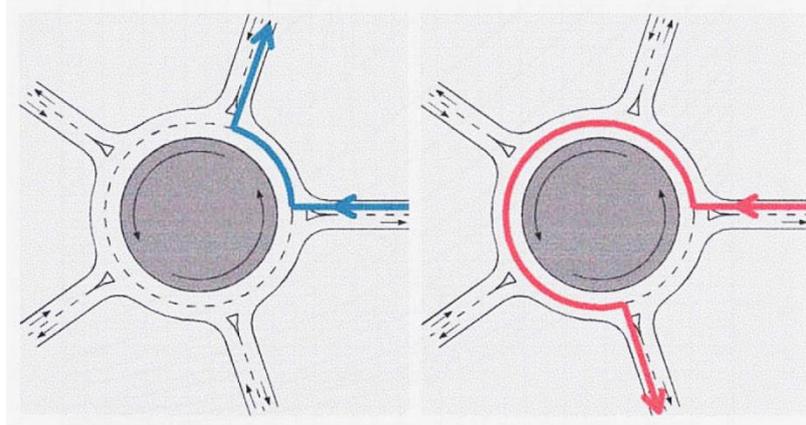


Figura 6 Recorrido Óptimo (azul) y Crítico (rojo)

Otro factor que incita a desterrar la capacidad global en las glorietas es que, a diferencia de lo que se pensaba antiguamente, éstas no se comportan como una sucesión de tramos de trenzado, Sino más bien como una asociación de intersecciones en T. Se trata, por tanto, de analizar cada una de estas "T" y calcular su capacidad de manera individual.

Además, en cada uno de estos segmentos en T, el tráfico que circula por el anillo y el que entra por el ramal son dos magnitudes interdependientes: un mayor tráfico anular impedirá la incorporación de vehículos desde el ramal, y viceversa.

Todo ello lleva a hablar de capacidad de una entrada y a admitir que su valor no deriva tanto de las características geométricas de la glorieta, sino de la intensidad circulante por el anillo.

### **Procedimiento de cálculo**

Dada la escasa experiencia en el análisis e implantación de glorietas, la capacidad de éstas se calcula en base a fórmulas empíricas obtenidas en países más experimentados, como son Francia o Gran Bretaña.

El CETUR francés emplea un procedimiento iterativo para garantizar un adecuado funcionamiento de las glorietas, consistente en analizar cada uno de los ramales que la conforman, comprobando que en todos ellos la intensidad entrante no supera la capacidad máxima del ramal.

El citado método fija la capacidad máxima de un ramal en 1.500 vt/h.; capacidad que se ve reducida por la presencia de un tráfico molesto para el vehículo que pretende acceder y que está formado por los vehículos que circulan por la calzada anular (Q) y por un porcentaje concretamente el 20% de los vehículos que abandonan la intersección por la salida del ramal estudiado (Q), en la medida que su decisión de salir no es percibida con el tiempo suficiente por el conductor para iniciar la maniobra de acceso:

$$TM = Qc + 0.2Qs \quad (23)$$

De cara a homogeneizar la composición del tráfico, cada vehículo pesado se asimilará a 2 ligeros y cada bicicleta con 0.5 vehículos ligeros.

La sistemática del proceso se resume en los siguientes puntos:

(a) Estimación del tráfico entrante: En primer lugar, se aforarán o estimarán, según el caso, los tráficos circulantes por cada ramal ( $Q_e$ ,  $Q_s$ ), así como por la calzada anular ( $Q_c$ ).

(b) Comprobación de cada entrada: Con los anteriores datos, se comprobará que la capacidad de cada entrada ( $C_e$ ) es superior al tráfico de entrada ( $Q_e$ ). Para ello, se emplea la siguiente fórmula empírica:

$$C_e = 1500 - k \cdot (5/6 \cdot (Q_c + 0.2Q_s)) > Q_e \quad (24)$$

Donde:

$C_e$  es la capacidad de la entrada en vehículos ligeros por hora (vl/h)

$Q_c$  es el tráfico que circula por el anillo, delante de la entrada (vl/h)

$Q_s$  es el tráfico de salida en el ramal analizado (vl/h)

$Q_e$  es el tráfico de entrada en el ramal analizado (VI/ h)

$k$  es un coeficiente de corrección por la geometría del acceso:

1.00 para glorietas con calzada anular de un carril

0,90 en gloriets de pequeño diámetro (10-30 m.) con calzada anular de 8 m. de anchura media (2 carriles)

0.70 si se trata de gloriets de mayor diámetro, con calzada anular de al menos 8 m. (2 carriles)

También se ha observado que, en gloriets de gran diámetro con calzada anular de dos carriles, una entrada de dos carriles aumenta la capacidad de la misma en un 40%; en este caso, la capacidad real se obtendrá multiplicando la anterior expresión por un coeficiente de 1.40:

$$C_e = 1.4(1500 - k.(5/6.(Q_c + 0.2Q_s))) > Q_e \quad (25)$$

Si la capacidad obtenida en alguna de las entradas es insuficiente, deberá procederse a rediseñar la intersección, ampliando el número de carriles de entrada, de salida o en el anillo. De acuerdo Con las guías existentes, debe considerarse la utilización de ramales directos de giro d la derecha cuando el porcentaje de giros supere el 50% del total o déficits de tráfico superiores a los 300 Wh en hora punta.

### **2.3. Definición De Términos Básicos**

#### **LOS**

Level of service, nivel de servicio, término empleado en el HCM 2000.

#### **HCM 2000**

Highway Capacity Manual, Metodología del Manual de Capacidad de carreteras versión 2000.

#### **Nivel de servicio**

medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, según el HCM 2000 pueden ser A, B, C, D, E y F.

**Accidente de tránsito**

Cualquier hecho fortuito u ocurrencia entre uno o más vehículos en una vía pública.

**Capacidad**

Número máximo de vehículos que pueden circular por una sección dada o un carril, durante un periodo de tiempo determinada y bajo condiciones prevaecientes, tanto de la propia vía como de la operación de tránsito.

**Ciclo**

Secuencia completa de indicación de semáforo.

**Duración de ciclo**

Duración total de tiempo de semáforo que completan un ciclo, está dado en segundos y su símbolo es C.

**Circulación continua**

Es la condición del tránsito para la cual un vehículo que recorre un tramo de una vía, no se ve obligado a detenerse por cualquier causa externa a la corriente del tránsito, si bien dicho vehículo puede verse obligado a detenerse por causas propias de la corriente de tránsito en el cual circula.

**Circulación discontinua**

Es la condición del tránsito para la cual un vehículo que recorre un tramo de una vía se ve obligado a detenerse por causas que no sean propias de la corriente del tránsito, pero que proceden fuera de ella, tales como señales o semáforos en una intersección.

**Condiciones viales**

Los factores que afectan a la vía comprenden las condiciones geométricas y los elementos del proyecto.

**Control vehicular**

Consiste en la manera tecnológica en la cual los vehículos son guiados en la infraestructura estática.

**Demora**

La demora es una medida fundamental de las prestaciones existentes en vías para una circulación discontinua, esta implica la determinación de una velocidad media realista para cada segmento de carretera y eta implícito en las estimaciones de las velocidades medias de recorrido de las carreteras urbanas.

**Densidad**

La densidad se define como el número de vehículos que ocupan un tramo de longitud dado de un carril o carretera, en un instante concreto y se expresa, normalmente en vehículos por kilómetro (v/km).

**Detectores**

Son los dispositivos capaces de registrar y transmitir los cambios que se producen o los valores que se alcanzan en una determinada corriente del tránsito.

**Estructura vial**

Conjunto de elementos de distinto tipo y jerarquía cuya función es permitir el tránsito de vehículos y peatones, así como facilitar la comunicación entre las diferentes áreas o zonas de actividad. Puede tener distinto carácter en función del medio considerado: local, urbano, regional, nacional, etc.

**Fase**

Es la parte ciclo asignada a una combinación de movimiento de tráfico.

**Hora punta**

Se define como el periodo de 60 minutos (1 hora) durante un día en el cual la vía o segmento de vía experimenta la mayor cantidad de volumen.

**Intervalo**

Periodo de tiempo durante el cual las indicaciones del semáforo permanecen constantes.

### **Intervalo de cambio y limpieza**

Se el intervalo de señales amarillo mas todo rojo que ocurre entre fases, para proveer de limpieza en la intersección antes de que los movimientos de conflicto se realicen, está dado en segundos y su símbolo es Y.

### **Jerarquía vial**

Diferenciación del carácter de las vías en función de la duración de los trayectos y la compatibilidad de dicha duración con las exigencias o necesidades de los usuarios. Se refiere generalmente a la viabilidad urbana y se manifiesta dicha jerarquía en las características físicas y operacionales de las vías.

### **Nivel de servicio**

Medida cualitativa de la operación del tránsito sobre una vía, se reconocen seis niveles de servicio, a saber:

- A. corresponde a la condición de flujo libre.
- B. Corresponde a la zona de flujo estable.
- C. Corresponde a la zona próxima del flujo estable.
- D. Corresponde a la zona próxima de flujo inestable.
- E. Corresponde a la condición de flujo inestable (capacidad)
- F. Corresponde a la circulación forzada.

### **Pare**

Esta señal se empleará para notificar al conductor que debe detener completamente el vehículo.

### **Peatón**

Se denomina peatón a la persona que transita por la vía publica a pie o ayudado por un medio mecánico no considerado en la clasificación vehicular.

### **Percepción**

Impresión material producida en los sentidos por un estímulo exterior. Para un conductor, es el intervalo de tiempo comprendido entre la aparición del objeto exterior y su reconocimiento a través de su sensación visual.

### **Semáforos totalmente accionados**

Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en todos los accesos de la intersección.

### **Semáforos parcialmente accionados**

Disponen de medios para ser accionados por el tránsito en uno o más accesos de la intersección, pero no en todos.

### **Señalamiento vertical**

Son todas aquellas señale construidas con placas e instaladas a través de postes.

### **Señalamiento horizontal**

Son las rayas, palabras, símbolos y objetos, aplicados o adheridos sobre el pavimento.

### **Señales preventivas**

Son señales de color amarillo que tienen un símbolo, su objeto es prevenir a los conductores de la existencia de algún peligro en el camino y su naturaleza.

### **Señales restrictivas**

Señales de color blanco con un aro de color rojo. Su objeto es indicar la existencia de limitaciones físicas o prohibiciones reglamentarias que regulan el tránsito.

### **Señales informativas**

Son las que tienen como propósito ayudar a los conductores en su desplazamiento por la vía que les permita llegar a su destino de la manera más simple y directa posible.

### **Señal cruce de peatones**

Se utilizará para advertir la proximidad de cruces peatonales. Los cruces peatonales se delimitarán mediante marcas en el pavimento.

## **Seguridad vial**

Es la prevención de accidentes de tránsito o la minimización de sus efectos, especialmente para la vida y la salud de las personas.

## **Tráfico**

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

## **Tránsito**

Desplazamiento de vehículos y/o peatones a lo largo de una vía de comunicación, en condiciones relativas de orden, eficacia, seguridad y comodidad. Se le clasifica de urbano, regional, local, etc.

## **Transito anual (TA)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 365 días consecutivos. (T = 1 año).

## **Transito mensual (TM)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 30 días consecutivos. (T = 1 mes).

## **Transito semanal (TS)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 7 días consecutivos. (T = 1 semana).

## **Transito diario (TD)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 24 horas consecutivas. (T = 1 día).

## **Transito horario (TH)**

Es el número de vehículos que pasan en el lapso de 60 minutos consecutivos. (T = 1 hora).

**Transportar**

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

**Tiempo de verde**

Es el tiempo dentro de una fase, durante el cual el indicador muestra verde, está dado en segundos y su símbolo es g.

**Tiempo efectivo de rojo**

Es el tiempo durante el cual un movimiento dado o grupo de movimientos no están permitidos que ocurran, la duración del ciclo menos el tiempo efectivo de verde, está dado en segundos y su símbolo es ti.

**Tiempo efectivo de verde**

Es el tiempo efectivamente disponible para un movimiento, generalmente es tomado como el tiempo de verde más el intervalo de cambio y limpieza, menos el tiempo perdido para el movimiento designado, está dado en segundos y su símbolo es gi.

**Tiempo perdido**

Es el tiempo durante el cual la intersección no es efectivamente usada por algún movimiento, lo cual ocurre dentro del intervalo de cambio y limpieza (cuando la intersección está limpia) y en el comienzo de cada fase cuando los primeros vehículos de la fila inician la marcha experimentan demoras en el arranque, su símbolo es l.

**Unidad de control**

Es un mecanismo electromecánico o electrónico que sirve para ordenar los cambios de luces en los semáforos.

**Vehículo**

Cualquier componente del tránsito cuyas ruedas no están confinadas dentro de rieles.

**Vía**

Camino, arteria o calle.

**Volumen de servicio**

Número de vehículos que pueden pasar por una sección dada de un carril o calle en una dirección, durante un periodo de tiempo determinado, bajo las condiciones de operación correspondientes a un nivel de servicio seleccionado.

**Volumen de tránsito**

Número de vehículos o personas que pasan por un tramo de la vía en un intervalo de tiempo determinado. Los intervalos más usuales son la hora y el día.

**Zonas peatonales**

Es un área en el cual el peatón tiene la prioridad y de forma muy excepcional se permite el ingreso de transporte público y de bicicletas.

## **2.4. Hipotesis**

### **2.4.1. Hipótesis General**

El efecto de la semaforización forzada de la Rotonda Parque de los Héroes afecta en el nivel de servicio de dicha Rotonda – Huancayo 2017.

### **2.4.2. Hipótesis Específicas**

- a) Afecta el ciclo de los semáforos instalados en la Rotonda, en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.
- b) Afecta la capacidad de los ramales alimentadores de la Rotonda en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.
- c) Afecta el diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.

## **2.5. Variables**

### **2.5.1. Variable Dependiente**

- Nivel de Servicio.

### **2.5.2. Variables Independientes**

- Ciclos de los semáforos.
- Capacidad de los ramales alimentadores.
- Diseño geométrico y señalización.

### **2.5.3. Definición conceptual de la variable**

➤ Nivel de servicio

Se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Son varios los factores que entran en juego a la hora de definir un concepto tan poco cuantificable como es la calidad de una vía.

➤ Ciclo de semáforo

El ciclo de un semáforo es la secuencia completa de todas las señales indicadas (rojo, verde y ámbar).

➤ Capacidad de los ramales

La capacidad es para cuantos vehículos esta diseñado los ramales alimentadores o entradas a la rotonda.

➤ Diseño geométrico

Es las medidas por la cual esta compuesto la estructura vial, como son ancho de carril, bermas, radio interior y exterior.

### **2.5.4. Definición operacional de la variable**

Se tiene la forma matemática del comportamiento de las variables ya que al variar la variable en relación a la variación del ciclo de semáforo o la

intervención de este afecta directamente a variable dependiente que es el nivel de servicio, representándolo en una función:

$$Y=F(x)$$

Y: Variable independiente; X: Variable dependiente

### 2.5.5. Operacionalización de la variable

VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL		
		DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS
<b>VD.</b> Variable Dependiente <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Nivel de servicio</b></li> </ul>	Se define como una medida de la calidad que la vía ofrece al usuario. Son varios los factores que entran en juego a la hora de definir un concepto tan poco cuantificable como es la calidad de una vía.	D1: A B C D E F	I1: según demora en segundos.	cronometro cámara filmadora
<b>VI.</b> Variable Independiente <ul style="list-style-type: none"> <li><b>Ciclo del semaforo</b></li> </ul>	El ciclo de un semáforo es la secuencia completa de todas las señales indicadas (rojo, verde y ámbar).	D1: Optimo No optimo	I1: Valores en segundos	- Observación in situ

## CAPITULO III: METODOLOGIA

### 3.1. Diseño De La Investigación

#### **Diseño Descriptivo** (Hernández , Metodología de la Investigación)

El Diseño de investigación descriptiva es un método válido para la investigación de temas o sujetos específicos y como un antecedente a los estudios más cuantitativos. Aunque hay algunas preocupaciones razonables en relación a la validez estadística.

#### ESQUEMA



Donde:

**M** = Muestra

**O** = Observación de la muestra

Figura 7 Diseño de la Investigación

Fuente: Elaboración propia

Donde "X, Y" son muestras

X: Influencia de los semáforos en la Rotonda – Parque los Héroes

Y: Utilizando software de modelamiento y una correcta señalización.

## **3.2. Método De Investigación**

### **Investigación científica**

Es un proceso que, mediante la aplicación del método científico de investigación, procura obtener información relevante y fidedigna, para entender, verificar, corregir o aplicar el conocimiento.

Para obtener algún resultado de manera clara y precisa es necesario aplicar algún tipo de investigación, la cuál está muy ligada a los seres humanos, ésta posee una serie de pasos para lograr el objetivo planteado o para llegar a la información solicitada, tiene como base el método científico y este es el método de estudio sistemático de la naturaleza que incluye las técnicas de observación, reglas para el razonamiento y la predicción, ideas sobre la experimentación planificada y los modos de comunicar los resultados experimentales y teóricos.

### **3.2.1. Tipo De Investigación**

El tipo de investigación es correlacional, ya que busca determinar el comportamiento y la relación entre dos o más variables; y así cuando conozcamos la magnitud de asociación de las variables se tendrán bases para predecir con mayor exactitud (Hernández, Metodología de la Investigación).

### **3.2.2. Nivel De Investigación**

Investigación explicativa o de comprobación de hipótesis causales. Porque su objetivo es la explicación de los fenómenos y el estudio de sus relaciones

para conocer su estructura y los aspectos que intervienen en la dinámica de aquéllos.

### **3.2.3. Método De Investigación**

#### **Investigación Cuantitativa**

Debido a que se una la recolección de datos para probar la hipótesis, basándose en una medición numérica y análisis estadístico y así establecer patrones de comportamiento para probar teorías. En la investigación se hará uso de conteos de vehículos y tiempos de ciclos de semáforo, para poder evaluar la línea de estudio.

### **3.3. Población Y Muestra De La Investigación**

#### **3.3.1. Población**

Calles, intersecciones y rotondas de la red vial Chilca – Huancayo – Perú.

#### **3.3.2. Muestra**

Línea de estudio que consiste en la Rotonda Parque de los Heroes ubicado en el Distrito de Chilca.

### **3.4. Técnicas e Instrumentos De Recolección De Datos**

#### **3.4.1. Técnicas**

- Aforo vehicular, realizando un conteo de todos los ramales de acceso a la rotonda.
- El conteo se realizará al mismo tiempo en todos los accesos durante el mismo periodo.
- Se realizará con ayuda de cámaras de video para así poder ser más exactos en el conteo.
- Luego en gabinete se realizará el conteo observando las filmaciones.
- Con ayuda del Excel se realizará los cálculos del nivel de servicio.
- Se hará un modelamiento en el programa synchro para poder modificar las variables y obtener los resultados.

### **3.4.2. Instrumentos**

Los instrumentos que se utilizarán para la presente investigación serán las siguientes: formato de aforo, cámaras de video, calculadoras, programa Excel y synchro.

### **3.4.3. Importancia**

La importancia de la presente investigación que se pretende realizar, radica en analizar los resultados obtenidos en los aforos vehiculares y verificando el tiempo que será necesario para cada ciclo de los semáforos existentes. Se podrá determinar la influencia que puede tener la semaforización forzada y la simulación donde no existen semáforos, pero si una adecuada señalización.

## **CAPITULO IV: DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Condiciones Prevalcientes De La Línea De Estudio**

Existen varios factores que influyen o afectan el flujo vehicular, entre ellos podemos mencionar: las características geométricas de la vía (ancho, pendiente, curvatura), tipo de superficie (trocha, afirmado, tratamiento superficial, carpeta asfáltica), deterioros en la vía (baches, hundimientos, ahuellamientos, etc.) y la señalización o dispositivos de control de tránsito tales como semáforos y señales restrictivas. Todas estas condiciones son las que determinan la capacidad de las vías, y es desde aquí el punto de partida para este trabajo de investigación.

El desarrollo y análisis de la información de campo se ha realizado en la línea de estudio que es la Rotonda Parque Los Héroes, ubicada en el Distrito de Chilca, Provincia Huancayo y departamento Junín.



**Figura 8 Ubicación de Línea de Estudio**

El punto de control establecido para realizar el análisis es:

La Avenida Huancavelica y la Avenida 9 de Diciembre, que presenta dos carriles en su sentido de circulación vehicular EO, de 3.60 m/carril y sección de calzada de 4.0 m. tiene zona de parqueo a ambos lados de la Avenida 9 de diciembre que favorece a los distintos negocios que hay por esa zona. La señalización está deteriorada debido a la falta de mantenimiento, existen obstrucciones laterales como el parqueo inapropiado de los diferentes negocios que se localizan por esa zona. Asimismo, en el sentido de circulación OE, tiene dos carriles de 3.60 m/carril y sección de calzada de 4.0 m. En esta también se observa obstrucciones laterales. El sentido de circulación NS de la intersección presenta dos carriles de 3.30 m/carril y sección de calzada de 2.5 m no se presenta obstrucciones solo son los

vendedores en carretillas y los paraderos de vehículos rumbo a pampas, Huancavelica, Ayacucho, etc. El acceso SN tiene dos carriles de 3.30 m/carril, y su sección de calzada es de 2.0 m. La señalización está deteriorada debido a falta de mantenimiento además tiene una salida varios vehículos que pertenecen a los vehículos que cubren la ruta antes dicha, aparte una obstrucción son los vendedores en carretillas. Esta intersección tiene una berma central de 1.8 m. en la Avenida Huancavelica y una berma central de 1.80 m en la Avenida 9 de diciembre, y el flujo corresponde al transporte privado y público, la rotonda tiene una geometría de radio interior 14.0 metros, radio exterior 28 metros con cuatros ramales la figura N°11. muestra la rotonda mencionada.



**Figura 9 Rotonda Parque Los Héroes**

Una vez conocida las condiciones de la línea de estudio, se determina la capacidad y nivel de servicio de cada intersección, para lo cual se procede a realizar un aforo vehicular manual, en la estación de aforo ya mencionada. Para el inicio de la toma de datos de campo se clasifico los tipos de vehículos que transitan por la intersección (Automóviles, Camionetas, Combis, Coasters, Motos, Camiones y Buses), y los giros que estos realizan. El procedimiento de este se realizó con la

ayuda de una cámara que permitió grabar el flujo vehicular de la intersección. La duración del aforo fue de tres días (lunes, miércoles y viernes), en horarios de 6 am a 9 am, 11 am a 2 pm y 5 pm a 8 pm, todo esto con el fin de obtener datos exactos y confiables. Una vez realizado el aforo vehicular se percibe que el día con mayor intensidad vehicular es viernes, por lo tanto, se trabaja con el día crítico, todos estos datos están reflejado en el Anexo 1.

Para efectos de uniformizar el registro de los datos de los aforos vehiculares se hace uso de los factores de conversión a unidad de coche patrón, en el cual los automóviles y camionetas tienen un valor equivalente a 1, las combis a 1.5, las coasters a 2, las motos a 0.75, los camiones y buses a 2.5, todas están desarrolladas en el Anexo 2.

Una vez uniformizado los datos, según la teoría desarrollada en el capítulo 2.4.14., se calcula el factor de la hora máxima demanda para la mañana, tarde y noche, el cual se puede observar en el anexo 3 y los resultados en la siguiente tabla.

**Tabla 11 Factor de la hora de máxima demanda**

Rotonda PLH	Mañana	Tarde	Noche
Av. Huancavelica – Av. 9 de diciembre	0.97	0.98	0.99

**Fuente: Elaboración propia**

Como se observa en la tabla 11, los FHDM nos muestran la uniformidad de la demanda o la “hora pico” de la intersección para la mañana, tarde y noche.

#### **4.2. Módulo De Ajuste De Volúmenes**

El ajuste de volúmenes se realiza con el fin de convertir volúmenes horarios en flujos ajustado para cada grupo de carril establecido. Además, se determina el número de carriles (N) y el factor de utilización de carril ( $U_i$ ), para la intersección en la mañana, tarde y noche, para lo cual se aplica la teoría desarrollada en el capítulo

2.4.15.2., los cálculos se pueden encontrar en el Anexo 4 y los resultados resumidos en las siguientes tablas. Cabe mencionar que las posteriores tablas usaran la simbología como N (acceso Norte), S (acceso Sur), E (acceso Este), O (acceso Oeste), F (movimiento de frente), I (movimiento de vuelta a la izquierda), D (movimiento de vuelta a la derecha), FD (movimiento de frente y derecha), FI (movimiento de frente e izquierda) y D/I (movimiento a la derecha e izquierda)

Tabla 12 Módulo de ajuste de volúmenes Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre

Acceso	Movimiento	Volumen movimiento	Flujo Ajustado
N	I	205	423
	F	416	-
	D	369	591
S	I	126	338
	F	408	-
	D	258	473
E	I	105	412
	F	595	-
	D	113	421
O	I	116	426
	F	600	-
	D	78	387
Acceso	Movimiento	Volumen movimiento	Flujo Ajustado
N	I	309	535
	F	435	-
	D	440	668
S	I	130	369
	F	468	-
	D	373	617
E	I	105	438
	F	651	-
	D	160	494
O	I	127	467
	F	665	-
	D	120	460
Acceso	Movimiento	Volumen movimiento	Flujo Ajustado
N	I	286	506
	F	428	-
	D	431	653
S	I	103	257
	F	302	-
	D	251	406
E	I	121	434
	F	616	-
	D	164	477
O	I	106	412
	F	603	-
	D	101	408

Fuente: Elaboración propia

La tabla 12 muestra el flujo ajustado para cada grupo de carril en la mañana, tarde y noche.

### 4.3. Módulo De Ajuste De Flujo De Saturación

Después de haber calculado el módulo de ajuste de volúmenes, se procederá a realizar el ajuste del flujo de saturación bajo condiciones prevalecientes para cada uno de los grupos de carriles establecidos. En dicha intersección se tomará un flujo de saturación ideal de 1800 vehículos ligeros por hora de luz verde por carril y se hará uso de los factores de ajuste desarrollada en el capítulo 2.4.15.2., los cálculos se muestran en el Anexo 5 y los resultados en la tabla siguiente.

Tabla 13 Módulo de ajuste de flujo de saturación Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre

	Acceso	Movim.	Flujo de Sat. Ideal	Número de carriles	fA	fVP	fP	fE	fB	fL	fVD	fVI	Flujo de Sat. Ajustado
	MAÑANA	Norte	FI	1500	1	0.97	0.95	1	0.92	1	0.9	1.00	0.98
FD			1500	1	0.97	0.94	1	0.92	1	0.9	0.91	1.00	1033
Sur		FI	1500	1	0.97	0.98	1	0.93	1	0.9	1.00	0.98	1169
		FD	1500	1	0.97	0.98	1	0.93	1	0.9	0.91	1.00	1089
Este		FI	1500	1	0.99	0.93	1	0.92	1	0.9	1.00	0.98	1116
		FD	1500	1	0.99	0.92	1	0.92	1	0.9	0.92	1.00	1046
Oeste		FI	1500	1	0.99	0.92	1	0.90	1	0.9	1.00	0.97	1078
		FD	1500	1	0.99	0.93	1	0.90	1	0.9	0.93	1.00	1039

	Acceso	Movim.	Flujo de Sat. Ideal	Número de carriles	fA	fVP	fP	fE	fB	fL	fVD	fVI	Flujo de Sat. Ajustado
	TARDE	Norte	FI	1500	1	0.97	0.98	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98
FD			1500	1	0.97	0.95	1	0.94	1	0.9	0.92	1.00	1072
Sur		FI	1500	1	0.97	0.98	1	0.93	1	0.9	1.00	0.98	1172
		FD	1500	1	0.97	0.98	1	0.93	1	0.9	0.91	1.00	1082
Este		FI	1500	1	0.99	0.97	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98	1191
		FD	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	0.92	1.00	1110
Oeste		FI	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98	1176
		FD	1500	1	0.99	0.97	1	0.93	1	0.9	0.93	1.00	1116

	Acceso	Movim.	Flujo de Sat. Ideal	Número de carriles	fA	fVP	fP	fE	fB	fL	fVD	fVI	Flujo de Sat. Ajustado
	NOCHE	Norte	FI	1500	1	0.97	0.96	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98
FD			1500	1	0.97	0.93	1	0.94	1	0.9	0.92	1.00	1049
Sur		FI	1500	1	0.97	0.98	1	0.93	1	0.9	1.00	0.98	1172
		FD	1500	1	0.97	1.00	1	0.93	1	0.9	0.91	1.00	1104
Este		FI	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98	1178
		FD	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	0.92	1.00	1110
Oeste		FI	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	1.00	0.98	1176
		FD	1500	1	0.99	0.96	1	0.94	1	0.9	0.93	1.00	1116

Fuente: Elaboración propia

La tabla 13 muestra los flujos de saturación ajustado para la intersección en estudio para la hora punta mañana, tarde y noche; en la cual se considera la geometría de dicha intersección para determinar los factores y los movimientos que presenta. En el acceso Norte, los datos obtenidos como flujo de saturación ajustado para la hora punta mañana FI y FD son 1121 y 1033 respectivamente; para la hora punta tarde 1180y 1072 y para la hora punta noche 1156 y 1049. En el acceso Sur, los datos obtenidos como flujo de saturación ajustado para la hora punta mañana FI y FD son 1169 y 1089 respectivamente; para la hora punta tarde 1172 y 1082 y para la hora punta noche 1172 y 1104. En el acceso Este, los datos obtenidos como flujo de saturación ajustado para la hora punta mañana FI y FD son 1116 y 1046 respectivamente; para la hora punta tarde 1191 y 1110 y para la hora punta noche 1178 y 1110. En el acceso Oeste, los datos obtenidos como flujo de saturación ajustado para la hora punta mañana FI y FD son 1078 y 1039 respectivamente; para la hora punta tarde 1176 y 1116 y para la hora punta noche 1176 y 1116.

#### **4.4. Módulo De Análisis De Capacidad**

Teniendo los resultados de los módulos anteriores, se procede a determinar la relación de flujo que tienen cada grupo de carriles para posteriormente calcular el grado de saturación crítico. También se debe de tener en cuenta el ciclo que tiene cada semáforo (C) y la duración del tiempo verde efectivo en cada fase (g) lo cual nos sirve para determinar la capacidad (Ci) y el grado de saturación (X) de cada acercamiento en la intersección. Toda la teoría mencionada se encuentra en el capítulo 2.4.15.2., y los respectivos cálculos e observan en el Anexo 6 y los resultados resumidos en la siguiente tabla.

Tabla 14 Módulo de análisis de capacidad Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre

Fase	Acerc.	Movim.	v/s	v/s crit.	X=v/c
A	Norte	FI	0.38	0.57	0.76
		FD	0.57		1.16
	Sur	Movim.	v/s	0.43	X=v/c
		FI	0.29		0.58
		FD	0.43		0.88
B	Este	Movim.	v/s	0.40	X=v/c
		FI	0.37		0.98
		FD	0.40		1.07
	Oeste	Movim.	v/s	0.40	X=v/c
		FI	0.40		1.05
		FD	0.37		0.99
Fase	Acerc.	Movim.	v/s	v/s crit.	X=v/c
A	Norte	FI	0.45	0.62	0.92
		FD	0.62		1.26
	Sur	Movim.	v/s	0.57	X=v/c
		FI	0.32		0.64
		FD	0.57		1.15
B	Este	Movim.	v/s	0.44	X=v/c
		FI	0.37		0.98
		FD	0.44		1.18
	Oeste	Movim.	v/s	0.41	X=v/c
		FI	0.40		1.05
		FD	0.41		1.09
Fase	Acerc.	Movim.	v/s	v/s crit.	X=v/c
A	Norte	FI	0.44	0.62	0.89
		FD	0.62		1.26
	Sur	Movim.	v/s	0.37	X=v/c
		FI	0.22		0.44
		FD	0.37		0.75
B	Este	Movim.	v/s	0.43	X=v/c
		FI	0.37		0.98
		FD	0.43		1.14
	Oeste	Movim.	v/s	0.37	X=v/c
		FI	0.35		0.93
		FD	0.37		0.97

Fuente: Elaboración propia

La tabla 14 muestra la capacidad de cada grupo de carriles de la intersección de la Avenida 9 de Diciembre y la Avenida Huancavelica, para la hora punta mañana,

tarde y noche. Para el acceso Norte, en hora punta mañana el movimiento FI y FD tienen una capacidad de 0.76 y 1.16 respectivamente, para la hora punta tarde es de 0.92 y 1.26, y para la hora punta noche es de 0.89 y 1.26. Para el acceso Sur, en hora punta mañana el movimiento FI y FD tienen una capacidad de 0.58 y 0.88 respectivamente, para la hora punta tarde es de 0.64 y 1.15, y para la hora punta noche es de 0.44 y 0.75. Para el acceso Oeste, en hora punta mañana el movimiento FI y FD tienen una capacidad de 0.98 y 1.07 respectivamente, para la hora punta tarde es de 0.98 y 1.18, y para la hora punta noche es de 0.98 y 1.14. Para el acceso Este, en hora punta mañana el movimiento FI y FD tienen una capacidad de 1.05 y 0.99 respectivamente, para la hora punta tarde es de 1.05 y 1.09, y para la hora punta noche es de 0.93 y 0.97.

#### **4.5. Nivel De Servicio**

luego de realizar los cálculos de los diferentes módulos se procede a calcular las demoras para los grupos de carriles de dicha intersección, para los accesos de todas las direcciones; las cuales permiten determinar los niveles de servicio, toda esta teoría fue desarrollada en el capítulo 2.4.15.2., y los cálculos se pueden observar en el Anexo 7 y los resultados en la siguiente tabla.

Tabla 15 Nivel de servicio Av. Huancavelica – Av. 9 de Diciembre

Fase	Acerc.	Movim.	DEMORA	LOS
A	Norte	FI	17.62	B
		FD	113.20	B
	Sur	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	12.75	B
		FD	25.44	B
B	Este	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	49.14	C
		FD	77.98	D
	Oeste	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	70.29	D
FD	52.63	F		
Fase	Acerc.	Movim.	DEMORA	LOS
A	Norte	FI	29.20	B
		FD	183.69	B
	Sur	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	13.74	B
		FD	110.43	B
B	Este	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	47.09	C
		FD	133.92	F
	Oeste	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	70.34	D
FD	87.44	F		
Fase	Acerc.	Movim.	DEMORA	LOS
A	Norte	FI	25.63	B
		FD	182.24	B
	Sur	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	10.96	B
		FD	16.92	B
B	Este	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	47.84	E
		FD	111.02	E
	Oeste	Movim.	DEMORA	LOS
		FI	38.23	D
FD	46.55	E		

Fuente: Elaboración propia

En esta tabla observamos el nivel de servicio de la intersección entre la Avenida 9 de Diciembre y Avenida Huancavelica para la hora punta mañana, tarde y noche.

La intersección en la hora punta mañana tiene un nivel de servicio E con una demora de 55.92 segundos, para la hora punta tarde tiene un nivel de servicio F con una demora de 91.73 segundos, y en la hora punta noche tiene un nivel de servicio E con una demora de 70.39 segundos.

#### 4.6. Ciclo Óptimo

Una vez calculado el nivel de servicio de la intersección se procede a emplear la más crítica para poder desarrollar el ciclo óptimo, es necesario saber las fases de los semáforos, el ciclo de estos y la duración de cada uno de los tiempos sea tanto en verde, rojo y ámbar. Según la teoría desarrollada en el capítulo 2.14.16., se calcula un ciclo óptimo para dicha intersección, este es desarrollado en el anexo 8 y los resultados son resumidos en las siguientes tablas.

Tabla 16 Ciclo de las intersecciones

FASES	DIRECC.	CICLO	VERDE	AMBAR	ROJO
A	N-S	85	42	3	40
	S-N	85	42	3	40
B	E-O	85	32	3	50
	O-E	85	32	3	50

**Fuente: Elaboración propia**

Tabla 17 Ciclo óptimo

		V	A	R
A	85	50	3	32
B	85	35	3	47

**Fuente: Elaboración propia**

Como se observa en la tabla la intersección tiene un ciclo óptimo, y la distribución adecuada de sus tiempos, donde la luz verde es asignada en proporción a los flujos críticos de cada fase.

## 4.7. Aplicación Del Programa Synchro 8

Para poder continuar con el análisis se procederá con la hora punta más congestionada, la cual nos permitirá aumentar el nivel de servicio; para lo cual se tendrá que hacer uso del programa Synchro 8 que nos ayudara con el modelamiento de la intersección.

### 3.7.1. Observacion De La Línea De Estudio

En base a los datos obtenidos en los cálculos anteriores, se procederá a introducir los datos en el programa Synchro 8. El primer paso es modelar la línea de estudio, considerando la geometría de las vías (nombre de las vías, número de carriles, sentido de las vías, sección de la vía, anchos peatonales y las bermas centrales).



Figura 10 Modelamiento de línea de estudio

Fuente: Elaboración propia

El segundo paso del modelamiento es la configuración del carril, donde se introducirán los volúmenes de tráfico, velocidad de diseño, factor de diseño, factor de área, inclinación de la rasante, flujo inicial de saturación entre otros.

Synchro 8 - E:\24 ALBERTS EMERSON COLLAO - rotonda\rotonda synchro\rotonda actual.syn

File Edit Transfer Options Optimize Help

0 hr 28 min 8 sec / 0 hr 28 min 14 sec

3 Huancavelica & 9 de Diciembre

LANE SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)	↑↑			↑↑			↑↑			↑↑		
Traffic Volume (vph)	440	651	130	373	665	309	120	435	105	127	468	160
Street Name	9 de Diciembre						Huancavelica					
Link Distance (m)	107.2			110.0			61.0			60.2		
Links Speed (km/h)	50			50			50			50		
Set Arterial Name and Speed	EB			WB			NB			SB		
Travel Time (s)	7.7			7.9			4.4			4.3		
Ideal Satd. Flow (vphpl)	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500	1500
Lane Width (m)	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3
Grade (%)	0			0			0			0		
Area Type CBD	<input checked="" type="checkbox"/>											
Storage Length (m)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Storage Lanes (#)	-			-			-			-		
Right Turn Channelized	None			None			None			None		
Curb Radius (m)	-			-			-			-		
Add Lanes (#)	-			-			-			-		
Lane Utilization Factor	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95	0.95
Right Turn Factor	0.984			0.966			0.976			0.968		
Left Turn Factor (prot)	0.982			0.986			0.991			0.992		
Saturated Flow Rate (prot)	2084			2026			2284			2152		
Left Turn Factor (perm)	0.982			0.986			0.991			0.992		
Right Ped Bike Factor	1.000			1.000			1.000			1.000		
Left Ped Factor	1.000			1.000			1.000			1.000		
Saturated Flow Rate (perm)	2084			2026			2284			2152		
Right Turn on Red?	<input type="checkbox"/>											
Saturated Flow Rate (RTOR)	0			0			0			0		
Link Is Hidden	<input type="checkbox"/>											
Hide Name in Node Title	<input type="checkbox"/>											

Figura 11 Configuración de carril

Fuente: Elaboración propia

Una vez colocado esos datos, se hace el ajuste de volumen y el flujo de saturación haciendo uso de los factores de ajuste como el factor de hora punta, porcentaje de vehículos pesados, factor de ajuste por estacionamiento, factor por parada de autobuses, entre otros.

Synchro 8 - E:\24 ALBERTS EMERSON COLLAO - rotonda\rotonda synchro\rotonda actual.syn

File Edit Transfer Options Optimize Help

0 hr 28 min 8 sec / 0 hr 28 min 14 sec

3 Huancavelica & 9 de Diciembre

VOLUME SETTINGS	EBL	EBT	EBR	WBL	WBT	WBR	NBL	NBT	NBR	SBL	SBT	SBR
Lanes and Sharing (#RL)		↑↑		↑↑			↑↑			↑↑		
Traffic Volume (vph)	440	651	130	373	665	309	120	435	105	127	468	160
Conflicting Peds. (#/hr)	0		0	0		0	0		0	0		0
Conflicting Bicycles (#/hr)			0			0			0			0
Peak Hour Factor	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92	0.92
Growth Factor	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
Heavy Vehicles (%)	9	10	8	10	11	12	3	6	3	10	11	10
Bus Blockages (#/hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Adj. Parking Lane?	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>										
Parking Maneuvers (#/hr)	10	12	10	10	12	11						
Traffic from mid-block (%)		0			0			0			0	
Link OD Volumes												
Adjusted Flow (vph)	478	708	141	405	723	336	130	473	114	138	509	174
Traffic in shared lane (%)												
Lane Group Flow (vph)	0	1327	0	0	1464	0	0	717	0	0	821	0

Figura 12 Ajuste de volumen

Fuente: Elaboración propia

### 3.7.2. Proyección En La Línea De Estudio

Consiste en proyectar los volúmenes de tráfico perteneciente a la intersección de la línea de estudio para 5 y 10 años, esto nos ayudara a ubicarnos en una posible situación al cabo de esos años.

Tabla 18 Tasa de crecimiento promedio del parque automotor de la Provincia de Huancayo

TIPO DE VEHÍCULO	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	TASA PROMEDIO ANUAL
Automóvil	431	256	168	131	88	131	243	404	751	602	779	1044	8.38%
Camión	252	92	31	25	35	24	49	80	200	223	220	179	-3.06%
Camioneta Panel	5	5	7	10	9	11	9	10	9	8	11	10	6.50%
Camioneta Pickup	68	45	30	67	66	94	172	235	362	295	432	559	21.11%
Camioneta Rural	406	196	109	18	44	47	48	118	302	332	401	625	4.00%
Ómnibus	30	17	1	9	4	3	4	4	10	11	13	15	-6.11%
Remolcador	47	33	10	13	6	5	0	2	7	7	1	6	-17.07%
Remolque	35	22	34	9	1	0	4	5	2	5	9	5	-16.21%
Semi Remolque	39	37	36	11	20	6	35	73	86	58	60	63	4.46%
Station Wagon	895	908	909	557	415	537	665	891	614	878	875	531	-4.63%
Vehículo Menor	56	40	47	79	116	286	308	738	1206	1441	1967	3259	44.69%
TOTAL	2264	1651	1382	929	804	1144	1537	2560	3549	3860	4768	6296	9.75%

**Fuente: Tesis – Impacto Vial por la construcción del centro comercial Open Plaza en Huancayo**

La tabla muestra el crecimiento en forma continua, por lo tanto, la tasa de crecimiento anual es de 9.75%, así como indica la Municipalidad Provincial de Huancayo en su Plan de Desarrollo Urbano, después de conocer este valor se aplica este porcentaje a los volúmenes de tráfico con:

$$Vt = V * (1 + r)^n$$

Donde:

Vt = Volumen del año futuro

V = Volumen del año base

r = Tasa de crecimiento anual

n = Periodo de tiempo

Tabla 19 Proyección de volúmenes para 2022 y 2027

Intersección	Acc.	Mov.	Volumen Actual	Tasa de Crecimiento	Volumen Futuro 2022	Volumen Futuro 2027
AV. J9 DE DICIEMBRE - AV. HUANCVELICA	NORTE	I	309	9.75%	492	783
		F	435	9.75%	692	1102
		D	440	9.75%	700	1115
	SUR	I	130	9.75%	206	328
		F	468	9.75%	745	1186
		D	373	9.75%	594	945
	ESTE	I	105	9.75%	167	266
		F	651	9.75%	1037	1651
		D	160	9.75%	255	406
	OESTE	I	127	9.75%	202	322
		F	665	9.75%	1058	1685
		D	120	9.75%	191	304

Fuente: Elaboración propia

## **CAPITULO V: RESULTADOS Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

Aquí nos basaremos en el análisis de los resultados de los módulos desarrollados anteriormente. El siguiente análisis es en base a la intersección en la hora punta tarde, por lo que solo veremos en la hora más crítica.

### **5.1. Análisis De Capacidad**

Los resultados del análisis de capacidad de la intersección estudiada nos brindan una idea clara del comportamiento del flujo vehicular con respecto a las características operacionales de la misma.

#### **Intersección Avenida 9 de Diciembre y Avenida Huancavelica**

El acercamiento Norte tiene dos movimientos FI y FD, los cuales tienen la capacidad de 583 veh/h y 529 veh/h. asimismo su grado de saturación es de 0.92 y 1.26, que nos indica que la demanda supera en 26% la capacidad del carril FD. El acercamiento Este tiene dos movimientos FI y FD, los cuales tienen la capacidad de 448 veh/h y 417 veh/h. asimismo su grado de saturación es de 0.98 y 1.18, que nos indica que la demanda supera en 18% la capacidad del carril FD. El acercamiento Oeste tiene dos movimientos FI y FD, los cuales tienen la capacidad de 443 veh/h y 420 veh/h. asimismo su grado de saturación es de 1.05 y 1.09, que nos indica que la demanda supera en 5% la capacidad del carril FI y en 9% el carril FD. El acercamiento Sur tiene dos movimientos FI y FD, los cuales tienen la capacidad de 579 veh/h y 534 veh/h. asimismo su grado de saturación es de 0.64 y 1.15, que nos indica que la demanda supera en 15% la capacidad del carril FD.

### **5.2. Análisis De Capacidad De La Rotonda**

**Tabla 20 CAPACIDAD DE LA ROTONDA SEGUN METODO FRANCES**

RAMAL	Qc	Qs	TM	k	Ce	Qe	$\Delta Q$
HUANCAVELICA NORTE	1038	1347	1307	1	728	755	-27
9 DE DICIEMBRE OESTE	628	912	810	1	1249	1298	-49
HUANCAVELICA SUR	1169	970	1363	1	669	746	-76
9 DE DICIEMBRE ESTE	641	916	824	1	1235	1347	-112

**Fuente: Elaboración propia**

Como podemos observar en esta tabla los ramales presentan una carencia de capacidad en especial la Avenida 9 de Diciembre Este donde vemos que está casi al 50% de 300 vehículos/hora.

Podemos observar que la glorieta o rotonda presenta un nivel de servicio deficiente, lo cual lo convierte en un elemento funcional invalido.

## **CAPITULO VI: PROCESO DE CONTRASTE DE HIPÓTESIS**

### **6.1. Prueba De Hipótesis General**

El efecto de la semaforización forzada de la Rotonda Parque de los Héroes afecta en el nivel de servicio de dicha Rotonda – Huancayo 2017.

Como pudimos observar y analizar en esta investigación el Nivel de Servicio depende en este caso del tipo de intersección, si es o no semaforizada y al estar esta semaforizada vemos en los cálculos que si afecta en el nivel de servicio de la rotonda.

### **6.2. Prueba De Hipótesis Específicas**

- a) Afecta el ciclo de los semáforos instalados en la Rotonda, en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.

Esta hipótesis es verdad debido a que el Nivel de Servicio depende mucho de los tiempos del semáforo, es decir del tiempo de verde (g) y el ciclo (C). Así se pudo observar que hay un tiempo óptimo, que es diferente al tiempo actual de los semáforos en dicha intersección.

- b) Afecta la capacidad de los ramales alimentadores de la Rotonda en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.

Como pudimos constatar el número de ramales como la capacidad misma de ellas si afecta, debido a que habrá más rutas de salida y entrada, por lo cual es un factor predominante en el nivel de servicio de la rotonda

- c) Afecta el diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.

Tanto el diseño geométrico como la señalización son esenciales en este tipo de infraestructura, la primera debido a que gracias a las dimensiones el número de carriles varía y también el tiempo que se ve afectado por este, la segunda también es importante debido a que si no existe una buena señalización los vehículos generalmente no saben el funcionamiento de la rotonda y ocasiona malestar como lo vemos actualmente. Por lo tanto estos factores sí afectan al nivel de servicio.

## CAPITULO VII

### 7.1. Conclusiones

- Mediante la investigación se pudo conocer el volumen que tiene dicha rotonda y consecuentemente se determinó los niveles de servicio de cada acceso, así como para toda la rotonda, las cuales indican una situación relativamente pésima.
- La intersección actualmente tiene un nivel de servicio “F” pues posee una demora de 91.73 segundos. Los cálculos se hicieron tomando en cuenta que es una intersección semaforizada, debido a que cuenta con ello.
- Se cambiaron ciertos parámetros y se adecuo al tipo de infraestructura que es, debido a que en la rotonda los vehiculos no circulan a la misma velocidad que en una intersección recta.
- Al simular en el programa nos dimos cuenta que la semaforización afecta y adecuándonos a la realidad ayuda a controlar la falta de educación vial en los transportistas, debido a ello es beneficioso la semaforización.
- Actualmente la capacidad de la rotonda esta al limite y debido a ello es necesario buscar algunas alternativas como incluir mas carriles.

## 7.2. Recomendaciones

- Se recomienda a la Municipalidad Provincial de Huancayo y a la Municipalidad Distrital de Chilca realizar la señalización correcta de la rotonda, ya que por ser una vía principal y muy transitada por sus zonas comerciales además de ser una de las arterias principales de la ciudad.
- Se recomienda reducir los niveles de congestión de la intersección ya que podría generar accidentes de tránsito. Asimismo, el desorden generado por el comportamiento inestable de la rotonda colapsaría en unos cuantos años.
- Se recomienda hacer un mantenimiento de las señales verticales y horizontales de la línea de estudio. Y en este caso se encuentran muy deterioradas, también implementar las señales de “Paradero Prohibido”, entre otros.
- Se recomienda de inmediato trasladar los paraderos de los vehículos que van hacia las pampas, Huancavelica, así como los diferentes negocios que existen alrededor debido a que se estacionan en los accesos y salidas de la rotonda sin respetar el tráfico que por ahí circula.
- Se recomienda educar adecuadamente a los conductores ya que como se ve estos no tienen mucha educación vial y terminan ocasionando problemas en la circulación.

**MATRIZ DE CONSISTENCIA**  
**“ZEMAFORIZACIÓN FORZADA Y EL NIVEL DE SERVICIO DE LA ROTONDA – PARQUE DE LOS HEROES – HUANCAYO 2017”**

PROBLEMA	OBJETIVO	HIPOTESIS	VARIABLES	INDICADORES	DIMENSIÓN	ESCALA DE MEDICIÓN	DISEÑO METODOLOGICO
<b>GENERAL</b>			<b>VARIABLES DE ESTUDIO</b>	<b>INDICADORES</b>			<b>POBLACIÓN</b>
¿Cuál es el efecto de la semaforización forzada en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017?	Determinar el efecto de la semaforización forzada en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017	El efecto de la semaforización forzada de la Rotonda Parque de los Héroes afecta en el nivel de servicio de dicha Rotonda – Huancayo 2017.	<b>Variable Independiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Ciclos de los semáforos instalados.</li> <li>Capacidad de los ramales alimentadores.</li> </ul> <b>Variable Dependiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Diseño geométrico y señalización.</li> <li>Nivel de Servicio de la Rotonda Parque de los Héroes.</li> </ul>	<b>Indicadores VI</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Optimo.</li> <li>Señalización</li> <li>Semáforos.</li> </ul> <b>Indicadores VD</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Bueno, regular, malo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Veh/Via</li> <li>Km/hr</li> <li>seg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Estudio de tráfico de la intersección.</li> <li>Manual de capacidad de carreteras HCM.</li> <li>Programa para simulación de tráfico synchro.</li> </ul>	<p>Calles, intersecciones y rotondas de la red vial Chilca – Huancayo – Perú.</p> <p><b>MUESTRA</b></p> <p>Línea de estudio que consiste en la Rotonda Parque de los Heroes ubicado en el Distrito de Chilca.</p> <p><b>TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p>El tipo de investigación es correlacional, ya que busca determinar el comportamiento y la relación entre dos o más variables; y así cuando conozcamos la magnitud de asociación de las variables se tendrán bases para predecir con mayor exactitud.</p> <p><b>DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p><b>Diseño Experimental</b></p> <p>Puesto que se medirá y manipulará la variable independiente para analizar las consecuencias sobre la variable independiente. Se hará un aforo vehicular para determinar el nivel de servicio actual y poder manipular la intervención de los semáforos con el fin de ver la influencia de estos.</p> <p><b>TÉCNICAS DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p>DIRECTA - Observación. Con ayuda de cámaras de video, y realizando los demás cálculos en gabinete.</p> <p><b>INSTRUMENTOS DE LA INVESTIGACIÓN</b></p> <p>Los instrumentos que se utilizarán para la presente investigación serán las siguientes: formato de aforo, cámaras de video, calculadoras, programa Excel y synchro.</p>
<b>ESPECIFICO</b>							
a) ¿Cómo afecta el ciclo de semáforos instalados de la rotonda en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017?	a) Determinar el efecto del ciclo de semáforos instalados en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017.	a) Afecta el ciclo de los semáforos instalados en la Rotonda, en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.					
b) ¿Cómo afecta la capacidad de los ramales alimentadores de la rotonda en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017?	b) Determinar el efecto de la capacidad de los ramales alimentadores en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017.	b) Afecta la capacidad de los ramales alimentadores de la Rotonda en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.					
c) ¿Cómo afecta el diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017?	c) Determinar el efecto del diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la rotonda - PARQUE DE LOS HÉROES - HUANCAYO 2017.	c) Afecta el diseño geométrico y la señalización de flujos en los anillos en el nivel de servicio de la Rotonda Parque de los Héroes – Huancayo 2017.					

## BIBLIOGRAFÍA

**TRAFICO EN VIAS URBANAS** Luis Bañon Blazquez

**THE HIGHWAYS AGENCY 2007** Design Manual for Roads and Bridges. Volume 6, Section 2, Part 3: Geometric Design of Roundabout. London: Stationery Office Books.

**NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM 2010 NCHRP REPORT 572:** Roundabouts in the United States. Second Edition Washington D.C.: Transportation Research Board.

**Silvera L.** 2015. Diapositivas del curso Gestión y Operación de vías urbanas y carreteras, Semestre 2015-1, Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

**VERA LINO, FAVIO 2012** Aplicabilidad de las metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas en Lima. (Tesis de título). Pontificia Universidad Católica del Perú, Facultad de Ciencias e Ingeniería, Lima.

**HCM.2000.** Highway Capacity Manual 2000, Washington D.C.: Transportation Research Board, National Research Council.

**Trafficware.2008. Synchro Studio 8 User Guide**, Texas: Trafficware Ltd.

**Morales L., Gonzales S.** 2013. Control del Tráfico Vehicular por medio de Semáforos Inteligentes.

**MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES 2013** Manual de diseño geométrico de carreteras. Segunda edición. Lima: MTC – DGC

**Vera L. 2012.** Aplicabilidad de las Metodologías del HCM 2000 y Synchro 7.0 para analizar intersecciones semaforizadas.

**Ing. Ramírez Vélez Gonzalo.** Análisis para la determinación del nivel de servicio y demora en intersecciones viales semaforizadas. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú 2004.

**ATI Mohamed & Yasser HOSNI 2001** Roundabouts Design, Modeling and Simulation. University of Central Florida, Department of Civil & Environmental Engineering, Florida.

**MTC. Reglamento Nacional de Transito** – Código de Transito. Perú- 2014.

**Dr. Ing. José Matías León.** Diseño de Proyectos Viales y Semaforizaciones Sección de Post Grado. Facultad de Ingeniería Civil. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima – Perú 1997.

**Pedro Canales García,** Redes de Transporte Urbano: Un Algoritmo para Estimar una Matriz de Demanda de Viajes. TECNIA 12(2) 2004.

**Pedro Canales García,** Asignación de Flujos de Tránsito a redes de Transporte Urbano. TECNIA Vol. 13 No 2 diciembre 2003

**Dr. Roberto Hernández Sampieri, Dr. Carlos Fernández Collado, Dra. María del Pilar Baptista Lucio.** Metodología de la Investigación, quinta edición 2010