



**UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**Estudio de tráfico, modelación y rediseño del trazado vial de la intersección en el redondel de la Plaza “General José Artigas”**

**Pedro José Zevallos Turriaga**

**Richard Hidalgo V., MSc., Director de Tesis**

Tesis de Grado presentada como requisito  
para la obtención del Título de Ingeniero Civil

Quito, mayo de 2014

**Universidad San Francisco de Quito**

**Colegio de Ciencias e Ingeniería**

**HOJA DE APROBACIÓN DE TESIS**

**Estudio de tráfico, modelación y rediseño del trazado vial de la intersección en el  
redondel de la Plaza “General José Artigas”**

Pedro José Zevallos Turriaga

Richard Hidalgo V., MSc. ....  
Director de Tesis  
Miembro del comité de tesis

Fernando Romo, MSc. ....  
Director de Ingeniería Civil  
Miembro del Comité de Tesis

Ximena Córdova, Ph.D. ....  
Decana de la Escuela de Ingeniería  
Colegio de Ciencias e Ingeniería

Quito, mayo de 2014

## © DERECHOS DE AUTOR

Por medio del presente documento certifico que he leído la Política de Propiedad Intelectual de la Universidad San Francisco de Quito y estoy de acuerdo con su contenido, por lo que los derechos de propiedad intelectual del presente trabajo de investigación quedan sujetos a lo dispuesto en la Política.

Asimismo, autorizo a la USFQ para que realice la digitalización y publicación de este trabajo de investigación en el repositorio virtual, de conformidad a lo dispuesto en el Art. 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Firma:

---

Nombre: Pedro José Zevallos Turriaga

C. I.: 1715361893

Fecha: Quito, mayo de 2014

## **DEDICATORIA**

A mi familia por el apoyo incondicional, en especial a mi madre por ser la fuerza para lograr mis metas y por apoyarme en todo momento.

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Ingeniero Richard Hidalgo por su paciencia y ayuda durante estos meses de trabajo. Quiero agradecer a las personas que me ayudaron a recopilar la información para el proyecto, especialmente a Bernarda Zevallos, Adriana Hidalgo, Martin Campos, Juan Diego Villacís. Agradezco también la inmensa ayuda de Klause Banse y Juan Pablo Muñoz (ITS Colombia), por su apoyo desinteresado y tiempo dedicado a mi proyecto. A María Luz Zevallos por su ayuda en la organización del documento. Finalmente, quiero agradecerle infinitamente a mi madre por ayudarme y tenerme paciencia durante todo este proceso; sin ella esto jamás hubiera sido posible.

## **RESUMEN**

Actualmente, la ciudad de Quito presenta graves problemas congestión y movilidad, en especial en puntos neurálgicos como son las intersecciones de ejes principales; tal es el caso redondel de la plaza “General José Artigas”. Este trabajo comprende el estudio de las características de tráfico y demanda, tanto vehicular como peatonal sobre dicha intersección. El estudio alcanza la modelación computacional de la intersección y el rediseño geométrico de la misma. Finalmente, se propone el diseño de la señalización horizontal y vertical, complementaria al diseño geométrico definitivo.

## **ABSTRACT**

Currently, Quito has serious congestion and mobility problems, especially at key points such as intersections of principal axes; this is precisely the case of “General José Artigas” a roundabout controlled intersection. The present work includes the study of traffic characteristics, as well as vehicular and pedestrian demand analysis on that intersection. The study includes computational modeling and geometric re-design of the roundabout. Complementally to final geometric design, a proper roundabout design of pavement markings and signals; is also proposed.



## TABLA DE CONTENIDO

RESUMEN .....	7
ABSTRACT .....	8
TABLAS.....	13
FIGURAS .....	15
CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO.....	17
Introducción.....	17
Importancia y justificación del proyecto .....	18
Ubicación y planteo del problema.....	20
Objetivos.....	23
Objetivo general. ....	23
Objetivos específicos.....	24
Alcance y limitaciones.....	24
Alcance. ....	24
Limitaciones. ....	25
Limitación de tiempo.....	25
Limitación de espacio.....	26
Limitación de Recursos. ....	26
CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO.....	28
Glosario de términos.....	28
Metodología del estudio .....	30
Marco teórico.....	33
Generalidades. ....	33
Usuarios. ....	34
Peatón. ....	34
Ciclista.....	36
Conductor. ....	38
Vehículos.....	40
Configuración del sistema vial urbano. ....	42
Fundamentos teóricos de tráfico.....	45
Tráfico. ....	46
Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).....	46
Tráfico Futuro.....	48
Crecimiento esperado del tráfico actual. ....	48
Criterios para determinar el tráfico futuro.....	49

Tráfico generado.....	49
Factores socio-económicos del crecimiento del tráfico.....	50
Volumen de tránsito. ....	50
Hora Pico. ....	52
Factor de hora pico. ....	53
Distribución direccional en intersecciones urbanas.....	54
Recolección de datos y trabajos de campo. ....	55
Inventarios para estudios de tránsito. ....	55
Volúmenes de tránsito. ....	56
Demoras en intersecciones. ....	58
Aspectos de diseño y caracterización del trazado. ....	59
Velocidad de diseño.....	60
Relación entre la velocidad de diseño y de circulación.....	61
Vehículo de diseño. ....	64
Nivel de servicio.....	66
Intersecciones. ....	68
Intersecciones a nivel.....	71
Intersecciones a desnivel. ....	73
Redondeles. ....	74
Mini-Redondeles. ....	75
Redondeles de un Carril. ....	76
Redondeles de Múltiples Carriles.....	76
Señalización y dispositivos de control de tránsito.....	77
Clasificación de los dispositivos de control. ....	78
Dispositivos de control del tráfico en redondeles.....	79
<b>CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO</b> .....	<b>81</b>
Generalidades y funcionalidad actual.....	81
Uso de suelo e incidencia en el área de estudio.....	82
Crecimiento poblacional de Quito.....	86
Análisis operacional y estudio de demanda.....	87
El efecto del flujo vehicular y el comportamiento del conductor.....	88
El efecto de la geometría. ....	89
El efecto del peatón. ....	90
Recolección de datos de campo.....	90
Aforos automáticos.....	91
Análisis del flujo direccional.....	92

Aforos manuales.....	97
Análisis de los datos de aforos manuales.....	100
Composición vehicular.....	104
Calculo TPDA .....	109
Cálculo del TPDA futuro.....	111
Volumen máximo horario (VHP) y factor de hora pico (FHP).....	114
Giros .....	119
Análisis de los datos.....	121
Estudio de velocidades y tiempos de pérdida.....	130
Análisis de capacidad y limitaciones de la metodología HCM 2010.....	137
<b>CAPÍTULO 4: MODELACIÓN DEL REDONDEL .....</b>	<b>140</b>
Introducción.....	140
Funcionamiento y características del software.....	140
Carga dinámica de red.....	143
El modelo microscópico.....	143
El modelo mesoscópico.....	143
Otros modelos adicionales.....	144
Estocasticidad.....	145
Resultados del modelo mesoscópico y microscópico.....	145
El modelo.....	146
Propuestas y alternativas para el problema.....	152
Opción 0 (situación actual).....	152
Opción 1 (Paso a desnivel).....	154
Opción 2 (Rediseño Geométrico).....	156
Resultados de la simulación.....	158
<b>CAPÍTULO 5: DISEÑO GEOMÉTRICO DEFINITIVO.....</b>	<b>164</b>
Elementos de diseño, principios y objetivos .....	164
Tamaño, posición, y alineación de los ramales de aproximación.....	168
Diámetro del círculo inscrito.....	169
Alineación de los ramales de aproximación.....	170
Ángulo entre los ramales de aproximación.....	172
Geometría de entrada y salida del redondel.....	172
Distancia de visibilidad.....	173
Distancia de visibilidad en la intersección.....	175
Consideraciones adicionales.....	177
Consideraciones sobre el carril de bypass para giro a la derecha.....	178

Elementos geométricos del diseño final. ....	179
Modificaciones a la estructura geométrica actual para el diseño definitivo.....	180
Señalización para el diseño definitivo .....	182
Principios.....	182
Semaforización actuada para peatones.....	183
<b>CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>187</b>
Conclusiones.....	187
Recomendaciones .....	189
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>191</b>
<b>ANEXO A. CONFIGURACIONES TÍPICAS DE REDONDELES.....</b>	<b>193</b>
Anexo A.1. Configuración Típica Mini-Redondel.....	193
Anexo A.2. Configuración Típica Redondel de un carril.....	194
Anexo A.3. Configuración Típica Redondel de dos carriles. (NCHRP, 2010).....	194
Anexo A.4. Configuración Típica Redondel de tres carriles. (NCHRP, 2010).....	195
Anexo A.5. Señalización vertical y horizontal típica para un redondel de dos carriles. .....	195
<b>ANEXO B. REGISTROS DE LOS CONTEOS AUTOMÁTICOS .....</b>	<b>196</b>
Anexo B.1. Datos contador Av. Coruña (entrada al redondel).....	196
Anexo B.2. Datos contador Av. Coruña (salida del redondel).....	197
<b>ANEXO C. HOJA DE REGISTRO CONTEO VEHICULAR Y PEATONAL .....</b>	<b>198</b>
<b>ANEXO D. VOLUMEN ANUAL DE VEHÍCULOS – PEAJE AUTOPISTA RUMIÑAHUI.....</b>	<b>199</b>
<b>ANEXO E. CÁLCULO DEL FACTOR DE HORA PICO – CONTADORES AUTOMÁTICOS .....</b>	<b>200</b>
<b>ANEXO F. CALCULÓ FACTOR DE HORA PICO – TODOS LOS RAMALES .....</b>	<b>201</b>
<b>ANEXO G. HOJA DE REGISTRO –VOLUMEN DE GIROS .....</b>	<b>202</b>
<b>ANEXO H. REGISTROS DE TIEMPOS DE CRUCE POR TRAMOS .....</b>	<b>203</b>
<b>ANEXO I. TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS GLOBALES DE LA SIMULACIÓN PARA LAS TRES OPCIONES. ....</b>	<b>207</b>
<b>ANEXO J. CARACTERÍSTICAS VEHÍCULO DE DISEÑO – AUTOMÓVIL .....</b>	<b>208</b>
<b>ANEXO K. CARACTERÍSTICAS VEHÍCULO DE DISEÑO – AUTOBUS .....</b>	<b>209</b>
<b>ANEXO L. GEOMETRÍA TÍPICA DE ISLETAS DIVISORIAS O PARTERRES.....</b>	<b>210</b>
<b>ANEXO M. DISTANCIAS CRÍTICAS DE VISIBILIDAD DE PARADA .....</b>	<b>211</b>
<b>ANEXO N. CÁLCULO ESTADÍSTICO DEL TIEMPO DE CRUCE PEATONAL .....</b>	<b>212</b>
<b>ANEXO O. SEÑALIZACIÓN ACTUAL.....</b>	<b>213</b>
<b>ANEXO P. SEÑALIZACIÓN PROPUESTA.....</b>	<b>214</b>
<b>ANEXO Q. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA PROPUESTA.....</b>	<b>215</b>

## TABLAS

Tabla 1. Niveles de servicio peatonal según HCM 2010. ....	36
Tabla 2. Extensión los sistemas urbanos viales .....	44
Tabla 3. Relación entre Velocidad de Circulación y Diseño, en diferentes volúmenes de Tránsito. ....	64
Tabla 4. Resumen de los pesos y dimensiones de buses y camiones, vigentes para Ecuador. .....	66
Tabla 5. Definición de niveles de servicio (A-F), según HCM. ....	67
Tabla 6. Guía para seleccionar el nivel de servicio para diseño. ....	67
Tabla 7. Definición de los niveles de servicio para intersecciones controladas. ....	71
Tabla 8. Comparación de características de los tipos de redondeles. ....	75
Tabla 9. Proyección de la población Urbana de Quito. ....	86
Tabla 10. Volumen horario direccional (día fin de semana). ....	95
Tabla 11. Volumen horario direccional (día entre semana). ....	96
Tabla 12. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. Coruña N/S (desde calle San Ignacio). .....	98
Tabla 13. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. Colon W/E (desde calle Plácido Caamaño). ....	98
Tabla 14. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. 12 de Octubre W/E (desde calle Francisco Salazar). ....	99
Tabla 15. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. La Coruña S/N (desde calle Isabel La Católica). ....	99
Tabla 16. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. 12 de Octubre E/W (desde calle Lincoln). ....	100
Tabla 17. Conversión del volumen de hora pico en volumen diario, factor de contribución de hora pico. ....	110
Tabla 18. Cálculo del tráfico anual. ....	111
Tabla 19. Tasa de crecimiento del parque automotriz. (Fuente: INEC, 2013). ....	112
Tabla 20. TPDA proyectado para 20 años. ....	113
Tabla 21. Resumen de FHP para las horas de mayor demanda durante la semana en la Av. Coruña N/S .....	115
Tabla 22. Factores de equivalencia de vehículos livianos, según HCM. ....	117
Tabla 23. Resumen del FHP para todos los ramales para el martes 30 de Julio 2013. ....	117
Tabla 24. Porcentaje de giros, entrada Av. 12 de Octubre desde Lincoln. ....	122
Tabla 25. Porcentaje de giros, entrada Av. Coruña desde Isabel la Católica. ....	123
Tabla 26. Porcentaje de giros, entrada Av. 12 de Octubre desde Salazar. ....	124
Tabla 27. Porcentaje de giros, entrada Av. Colon desde Plácido Caamaño. ....	125
Tabla 28. Porcentaje de giros, entrada Av. Coruña desde San Ignacio. ....	126
Tabla 29. Porcentajes totales de salida de vehículos del redondele, por cada ramal. ....	127
Tabla 30. Matriz de líneas de transporte público que atraviesan la intersección. ....	130
Tabla 31. Distancias de recorrido completo entre ramales (entrada y salida). ....	132
Tabla 32. Velocidades de operación promedio por ramal. ....	132
Tabla 33. Nivel de servicio, según HCM. [Tabla Modificada del original]. ....	135
Tabla 34. Tiempos de demora y niveles de servicio. ....	136
Tabla 35. Cálculo de pérdida diaria en la intersección. ....	137
Tabla 36. Resumen de resultados de los modelos .....	159
Tabla 37. Comparación de las opciones 1 y 2, contra la opción base. ....	163

Tabla 38. Dimensiones para el diseño de facilidades para usuarios no-motorizados. [Traducida por el autor] .....	168
Tabla 39. Rangos típicos para el diámetro del círculo inscrito. [Traducido y modificado por el autor] .....	170
Tabla 40. Distancia de parada calculada en función de la velocidad. (Transformada a SI) .....	175
Tabla 41. Distancia de visibilidad del flujo de entrada y circulatorio, calculada en función de la velocidad del flujo conflictivo. (Transformada a SI).....	177
Tabla 42. Características geométricas generales. ....	180

## FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la intersección en la ciudad de Quito .....	22
Figura 2. Ubicación de la intersección, límites y calles adyacentes.....	23
Figura 3. Giros y puntos de conflicto en intersecciones.....	52
Figura 4. Curvas típicas de relación Volumen-Velocidad-Densidad. ....	63
Figura 5. Relación entre velocidad de diseño y de circulación, en diferentes volúmenes de Tránsito.....	64
Figura 6. Esquema para la elección del tipo de intersección en base al T.P.D.A. futuro...	69
Figura 7. Área de influencia y uso de suelo. ....	84
Figura 8. Esquema del flujo fundamental en la intersección.....	93
Figura 9. Gráfica comparativa de flujos Norte-Sur (día fin de semana). ....	95
Figura 10. Gráfica comparativa de flujos Norte-Sur (día entresemana).....	96
Figura 11. Volumen de entrada de vehículos por cada ramal para las horas pico en la mañana.....	101
Figura 12. Volumen de entrada de vehículos por cada ramal para las horas pico en la tarde. .....	101
Figura 13. Volumen de peatones que cruzan cada ramal en las horas pico de la mañana.	102
Figura 14. Volumen de peatones que cruzan cada ramal en las horas pico de la tarde.....	102
Figura 15. Composición tráfico porcentual para la Av. La Coruña N/S (horas pico en la mañana y tarde). ....	104
Figura 16. Composición tráfico porcentual para la Av. C. Colón W/E (horas pico en la mañana y tarde) .....	105
Figura 17. Composición tráfico porcentual para la Av. 12 de Octubre W/E (horas pico en la mañana y tarde). ....	105
Figura 18. Composición tráfico porcentual para la Av. La Coruña S/N (horas pico en la mañana y tarde). ....	106
Figura 19. Composición tráfico porcentual para la Av. 12 de Octubre E/W (horas pico en la mañana y tarde). ....	107
Figura 20. Composición tráfico porcentual de la intersección durante las horas pico de la mañana.....	108
Figura 21. Composición tráfico porcentual de la intersección durante las horas pico de la tarde. ....	108
Figura 22. Línea de tendencia del crecimiento vehicular.....	113
Figura 23. Variabilidad del FHP durante la semana en la Av. Coruña N/S.....	115
Figura 24. Ubicación de las horas de máxima demanda durante la semana para la Av. Coruña N/S. ....	116
Figura 25. Ubicación de las horas de máxima durante el día, para cada ramal.....	119
Figura 26. Variabilidad del FHP por ramal. ....	119
Figura 27. Esquema de la distribución numérica de ramales para determinar los giros. ..	121
Figura 28. Porcentaje de vehículos que abandonan la intersección durante la mañana. ...	128
Figura 29. Porcentaje de vehículos que abandonan la intersección durante la tarde.....	129
Figura 30. Diagrama de los componentes de la demora en una intersección.....	134
Figura 31. Esquema del algoritmo del modelo de Aimsun. ....	141
Figura 32. Geometría base de la intersección para el modelo. ....	147
Figura 33. Proceso jerárquico para modelar en Aimsun. ....	148
Figura 34. Simulación de la opción 0, Vista 2D.....	153
Figura 35. Simulación de la opción 0, vista 3D.....	153
Figura 36. Simulación de la opción 1, vista 2D.....	155

Figura 37. Simulación de la opción 1, vistas 3D.....	155
Figura 38. Simulación de la opción 2, vista 2D.....	157
Figura 39. Simulación de la opción 2, vistas 3D.....	158
Figura 40. Superposición de trayectorias en redondeles de múltiples carriles. [Traducción del autor].....	166
Figura 41. Distancias de visibilidad de la intersección. [Traducido por el autor].....	176
Figura 42. Configuración típica de un carril bypass en redondel. [Traducido por el autor] .....	179
Figura 43. Secuencia de funcionamiento, semáforo actuado peatonal propuesto. ....	185



## **CAPÍTULO 1: INTRODUCCIÓN Y GENERALIDADES DEL PROYECTO**

### **Introducción**

El tránsito y en general el transporte es una actividad humana tan inherente a su naturaleza como antigua. Por tal razón, es definitivamente un elemento propio de la cotidianeidad y al mismo tiempo, al ser sumamente intuitivo podría tender a ser desordenado. Justamente de la organización del mismo y de la creación de sistemas funcionales, depende que dicha actividad humana no sea caótica.

El transporte está compuesto por múltiples elementos y actores que además de formar parte del mismo se convierten en determinantes fundamentales de su funcionalidad. Los elementos constitutivos de los sistemas de transportes son por ejemplo las calles, las intersecciones, los puertos, los aeropuertos, los vehículos, entre otros; mientras que los actores son las personas, aquellas que precisamente generan una demanda de movilización que termina el resto de los elementos constitutivos de los sistemas de transporte.

Entonces, siendo las personas aquellas que tienen la necesidad de transportarse o transportar objetos de cualquier tipo, los sistemas de transporte deben entenderse y ser diseñados en función de la necesidad o demanda de las personas. Al mismo tiempo que deben cumplir éstos con la demanda, deben ser sujetos a evaluación y constante cambio; dado que la demanda tiene como característica fundamental que varía con los cambios que se dan en la sociedad, y por tanto ésta es muy sensible.

Tomando en cuenta que la demanda es variable, definitivamente se debe prever los cambios que en ella pueden darse, con la finalidad de planificar los sistemas de transporte para evitar así problemas a partir del deterioro de la funcionalidad del mismo. Entonces, dada la sensibilidad y variabilidad de la demanda ante cambios de diversos ámbitos de la sociedad, podemos imaginar a este problema del transporte con múltiples connotaciones;

por esto, se debe necesariamente buscar solucionar los problemas de transporte de manera integral. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

La característica fundamental del tránsito, para la que se diseñan los elementos, es el volumen de circulación por un espacio determinado y durante un tiempo definido también. Dado que las personas se movilizan o necesitan movilizar carga, dependiendo de sus actividades, se pueden definir tipos de viajes y recorridos que estas realizan.

Precisamente sobre esto se deberían basar los sistemas de transporte, tomando en cuenta la incidencia de variados factores que determinan los recorridos o viajes; como son la época del año, el uso de suelo, entre muchos otros. (Hay, 1983)

Puntualizando sobre el transporte en las ciudades, los elementos del transporte anteriormente mencionados (calles, pasos peatonales, intercambiadores, etc.), si bien es necesario que sean diseñados para cierta demanda y tomando en cuenta las variaciones que ésta pueda tener; una vez en funcionamiento, no necesariamente operan con los volúmenes de demanda esperados. Aquellos elementos que en definitiva funcionan por sobre su capacidad pueden en conjunto comenzar a generar congestión, resultando en un deterioro del funcionamiento del sistema de tránsito en las ciudades.

El deterioro generalizado del sistema al operar por sobre sus capacidades genera varios problemas para los directos beneficiarios del sistema como son los usuarios. Ejemplos de estos problemas son la disminución de la productividad y el comercio, pérdidas considerables de tiempo, accidentes, enfermedades relacionadas con el estrés y la tensión, entre múltiples problemas cada vez más importantes.

### **Importancia y justificación del proyecto**

Cuando uno o varios puntos de convergencia de calles dentro de una ciudad están funcionando con una sobrecarga y por tanto, están constantemente generando congestión ya sea puntual o extendido a otras intersecciones y donde las pérdidas

de tiempo en dichas intersecciones sean considerables, para los usuarios; entonces se convierte en un problema para la movilidad de la urbe. Este problema, que muchas veces comienza en una intersección, puede agravarse enormemente inclusive hasta extenderse a las intersecciones aledañas. Si se amplía el espectro del análisis, repitiéndose ésta situación ya mencionada, a varias intersecciones de la ciudad; resulta un congestionamiento generalizado y por tanto es evidente que el sistema de transporte de la urbe no funciona de acuerdo a las necesidades de la misma.

Es cada vez más apremiante la situación del tránsito en las ciudades de mayor densidad poblacional del mundo donde las soluciones clásicas a los problemas de congestión se ven obsoletas e indiscutiblemente fallidas, Quito sin tener una densidad poblacional comparable con las ya mencionadas; sufre de similares problemas viales. Desde ésta perspectiva, y ante el hecho de que el parque automotriz se incrementa constantemente mientras que la capacidad de las vías no crece a una velocidad similar; el centro urbano tiene continuas crisis de tránsito que en el corto plazo contribuyen al deterioro de la calidad de vida de sus habitantes. (INEC, 2013)

Siendo esta una necesidad imperiosa de prácticamente todo centro urbano en el mundo y en especial de la ciudad de Quito, resulta evidente investigar y dar solución práctica a los puntos de congestión sobresalientes de cada ciudad; las intersecciones. Ya que muchos autores concuerdan que la mayoría de problemas que se presentan en las intersecciones están dados por un diseño deficiente de la geometría y los tiempos de espera en las mismas; el objetivo del presente proyecto es proporcionar un modelo de intersección eficiente para la intersección en cuestión, al mismo tiempo que sirva como modelo aplicable a la realidad de muchas otras intersecciones en la ciudad de Quito.

El proyecto encuentra su justificación al proporcionar una solución de diseño geométrico a una intersección determinada que mejore la capacidad de la misma ante la

creciente demanda vehicular. Dado que el actual redondel no cumple con la función para la que fue diseñado, es necesario plantear alternativas para lograr cubrir la demanda existente. De esta manera, dar una solución a la congestión y los prolongados tiempos de espera que los usuarios experimentan a determinadas horas al transitar por la misma.

### **Ubicación y planteo del problema**

Se puede definir a Quito, en términos que interesan al estudio, como una ciudad de baja densidad poblacional comparada con otras urbes a nivel mundial y que sufren considerables problemas de tránsito. Quito también es una ciudad que si bien es alargada en sentido Norte-Sur, e históricamente ha crecido en dicho sentido; también forman parte importante los valles ubicados al este de la ciudad, más aún cuando los valles cargan a la ciudad de una gran cantidad de vehículos. Según las directrices del Plan Maestro de Movilidad para el Distrito Metropolitano de Quito, la ciudad consta de 423.000 hectáreas pero solamente 18.860 de éstas corresponden a la “macro centralidad” de la ciudad; que justamente encierra la mayor parte de la población, aproximadamente un 72%. (Municipio Del Distrito Metropolitano de Quito, 2008)

La gran mayoría de la producción y actividades económicas y sociales, se concentran en el Centro y Centro-Norte de la misma, mientras que justamente en estas zonas, además de la actividad comercial también se tienen otros diferentes usos del suelo. Según el informe del Plan Maestro para la Movilidad en la ciudad, el “hipercentro” de Quito (justamente la zona donde se encuentra la intersección en cuestión) tiene la característica fundamental que concentra en su inmensa mayoría, los servicios y oficinas públicas, centros comerciales, centros educativos, oficinas privadas y empresas; inclusive una importante cantidad de viviendas. Consecuentemente la cuantía de actividades, de toda índole, es exorbitantemente mayor en dicha zona. (Municipio Del Distrito Metropolitano de Quito, 2008) Todo esto se suma a que el parque automotriz ha tenido un incremento

acelerado, completamente desfasado al de los cambios y mejoras en el sistema vial. También es importante la gran distancia que recorren los usuarios para su actividad diaria y las escasas vías de acceso a la ciudad disponibles desde los valles y las afueras de la misma. Todo ello en conjunto con la escasa planificación de la movilidad que históricamente ha sido característico de la ciudad; hacen que en la actualidad la urbe tenga una problemática creciente en cuanto al transporte se refiere.

La ciudad de Quito, sufre de un problema de congestión importante y si bien hasta hace unos años se podía identificar algunas intersecciones que generaban congestión, en la actualidad parecería ser que el número de intersecciones que operan por sobre sus capacidades es inmensamente mayor. Definitivamente la solución ideal para los problemas que tiene Quito en la actualidad, consisten en implementar soluciones integrales de transporte y movilidad (discusión que no forma parte de este estudio); pero al mismo tiempo, es sumamente importante intervenir ciertos elementos del sistema vial de la ciudad que sea absolutamente necesario, con el fin de realizar mejoras en el nivel de servicio de puntos neurálgicos al borde del colapso. En función de esto, uno de estos elementos tienen que ver con el diseño geométrico de las intersecciones, en particular con el diseño de redondeles.

En este sentido, la intersección escogida para ser intervenida, por su situación emergente, es el actual redondel de la plaza “General José Artigas” misma que se encuentra ubicada en el Centro-Norte de la ciudad. Precisamente, la intersección está definida por la convergencia de la Av. Coruña, Av. 12 de Octubre y Av. Cristóbal Colón; se encuentra localizada dentro de la Parroquia “La Floresta”, Cantón Quito, Provincia de Pichincha, Ecuador (ver Figura 2).

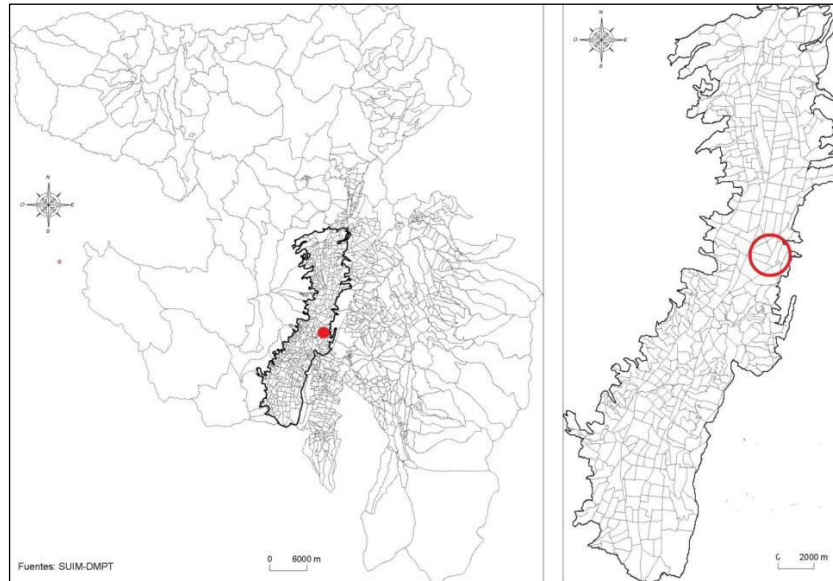


Figura 1. Ubicación de la intersección en la ciudad de Quito (Fuente: DMPT, modificado)

Por otro lado, los límites designados para el estudio de tránsito de la intersección son la calle Francisco Salazar sobre la Av. Cristóbal Colón w/e, la Calle San Ignacio sobre la Av. Coruña n/s, la calle Abraham Lincoln sobre la Av. 12 de Octubre e/w, la calle Isabel La Católica sobre la Av. Coruña s/n, y finalmente la calle Francisco Salazar sobre la Av. 12 de Octubre w/e.



El objetivo principal del proyecto es evaluar la intersección de la Plaza General José Artigas, sobre la base de un análisis de capacidad y de la geometría existente y proponer una alternativa de diseño de la intersección. El rediseño de la intersección incluirá el componente geométrico y el de señalización, necesarios para su correcto funcionamiento.

### **Objetivos específicos.**

- Diagnosticar los múltiples problemas de tránsito que pueda tener la intersección.
- Determinar la capacidad de la intersección a partir de estudios de tráfico, de velocidad y tiempos de pérdida.
- Explicar el comportamiento del tránsito en una intersección por medio de la utilización de un modelo de simulación.
- Diseñar una solución geométrica en función de las necesidades de tránsito y el tipo de vehículos, de acuerdo a los condicionamientos actuales de la intersección y a la normativa adecuada para diseño de intersecciones.
- Diseñar la señalización necesaria, que complemente la propuesta geométrica.

### **Alcance y limitaciones**

#### **Alcance.**

En el presente estudio, se analizan diversos factores e indicadores, de los vehículos y usuarios que circulan por la intersección, como son, el volumen, la densidad y la velocidad. En cuanto a las preferencias del usuario, no se realiza un estudio pormenorizado origen-destino. Sin embargo, se realiza un conteo vehicular para cada uno de los giros que allí se producen. Además, se evalúa el funcionamiento de la señalización actual (tanto vertical como horizontal), se toman en cuenta adicionalmente otros aspectos como son el



comportamiento del peatón, la zonificación de velocidad, limitaciones existentes en el estacionamiento, entre otras. Por otro lado, se evalúa el funcionamiento de los elementos geométricos y el estado actual de la intersección. Finalmente, se pretende diseñar una alternativa geométrica que mejore sustancialmente el problema de congestión que actualmente tiene la intersección sobre una base de demanda, complementando este diseño con la señalización correspondiente.

### **Limitaciones.**

Es importante señalar que todo estudio de ingeniería de transporte tiene limitantes e incógnitas por más minucioso y extenso que este sea. El estudio de tráfico que propone se encuentra irremediamente sujeto a limitantes fundamentales tanto por el tipo de estudio como por los recursos con los que este cuenta. De cualquier manera argumentan Lane et al, que es prácticamente imposible no tener limitaciones y generar un modelo perfecto ya que las variables y factores, tanto conscientes como inconscientes, influyen en las decisiones de los usuarios y subsecuentemente en la demanda. Por estas razones es que en definitiva, las condiciones están en constante cambio, y por tanto el modelo jamás será perfecto. Podemos agrupar estas limitantes en tres tipos fundamentales: tiempo, espacio, recursos. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

### **Limitación de tiempo.**

La limitación de tiempo es un aspecto a tomar en cuenta, en cuanto a la duración del levantamiento de información y las actividades a realizar. Por tanto al realizar los trabajos de campo para levantar la información, se debe definir cuál es el período indicado para tomar los datos que va a depender entre otras cosas de la disponibilidad de personal y de herramientas que se tenga. Para un proyecto cualquiera sería ideal poder evaluar la demanda por ejemplo durante períodos largos como un año; pero aquello no sería lo más indicado para este tipo de proyectos ya que muchos de ellos se los realiza por encontrarse

en una situación emergente. Por otro lado, otros indicadores también podrían evaluarse durante un período prolongado de tiempo más allá del que se plantea en este proyecto, con la finalidad de tener una idea más exacta de lo que está pasando en la intersección.

(Guaman Carrazco & Lara Romero, 2008)

En el caso puntual del trabajo de campo para este estudio, dada las condiciones del proyecto y tomando en cuenta la disponibilidad de recursos y por otro lado las limitaciones de espacio. Se planificó tomar los datos de aforo vehicular durante una semana utilizando contadores automáticos, para definir las horas pico; mientras que una vez definidos los intervalos fundamentales, realizar los conteos manuales respectivos para estos horarios. Se planificó tomar dichos datos durante un mes de circulación vehicular común y corriente, como son los meses de Junio y Julio, dado que todavía los colegios están en clases mientras que continua la circulación normal de los vehículos particulares (misma que puede ser irregular en el mes de agosto).

#### **Limitación de espacio.**

La limitación de espacio engloba todos aquellos errores e inconvenientes que se pueden presentar al elegir el área de estudio. Si bien sería ideal poder extender el área del proyecto más allá de la propia intersección y calles adyacentes; ampliar el espacio de desarrollo del proyecto implica un detalle muy elevado, el manejo de una cantidad mayor de variables y definitivamente, implica ampliar enormemente la recolección de información. Si bien podía resultar ser un estudio de mayor envergadura, seguramente las variaciones que presentarían ambos escenarios no resultarían significativamente diferentes. El ampliar el estudio más allá del espacio definido anteriormente, comprometería aún más los otros dos grupos de limitantes como son el tiempo y los recursos. (Guaman Carrazco & Lara Romero, 2008)

#### **Limitación de Recursos.**

El limitante de recursos es fundamental para este tipo de estudios, entre los recursos podemos identificar los siguientes sobresalientes: económicos, equipo de trabajo y herramientas de trabajo. Es preciso muchas veces y dependiendo del tipo de proyecto, considerar reducir la exactitud y precisión potencial que podría buscarse; con el fin de reducir un innecesario gasto de recursos. Más aún es necesario cuando los proyectos son autofinanciados (sin financiamiento externo tanto público como privado) y en definitiva todos los gastos corren por parte de los realizadores. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

Justamente esta línea de pensamiento nos lleva a la limitante de equipo de trabajo, y esta se da como consecuencia de la limitación de recursos económicos. En el caso del presente estudio, el equipo fue conformado por la ayuda voluntaria de familiares y amigos para términos de la recolección de datos, en este sentido; la ayuda si bien es invaluable, al mismo tiempo tiene límite muy corto por las actividades propias de todos ellos. Por otro lado, ocurre algo similar con las herramientas que consecuencia del limitante de recursos económicos, también son escasas. Si bien la cantidad de herramientas y aparatos que se necesitarían es menor, sobre todo en la fase de levantamiento de la información resultan necesarios. En este sentido, dentro de la planificación de recolectar los datos estaba aprovechar el equipo existente tanto de los realizadores (automóviles, material de oficina, entre otros) como el proporcionado por el Ingeniero Richard Hidalgo Vásquez, director de la investigación; mientras que el material necesario restante sería necesario adquirirlo.

## CAPÍTULO 2: METODOLOGÍA Y MARCO TEÓRICO

### Glosario de términos

**Demanda vehicular:** se refiere a la cantidad de personas que quieren moverse de un punto determinado a otro, y por ende a cuántos de ellos se les posibilita esto de conformidad con las opciones disponibles en la oferta del sistema vial. Dentro de esta definición están los vehículos en movimiento, aquellos esperando en fila para circular y los que transitan por rutas alternativas o diferentes. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

**Densidad vehicular:** se refiere al cociente entre la cantidad de vehículos que ocupan una vía y la longitud de ésta (por lo general un número de kilómetros especificados) definida para un flujo vehicular y durante un período de tiempo determinado. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Evaluación de la operatividad:** se denomina a una valoración de los volúmenes de tráfico asignados a la demanda comparada con la capacidad de la red de transporte. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Matriz de viajes:** Cuando se habla de la planificación del transporte los valores de viajes entre los diversos orígenes y destinos, colocados en una matriz (dispuestos en forma de valores en una tabla) tiene relación con los viajes intrazonales e interzonales para una zona definida. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Modelo matemático:** Se refiere a una secuencia lógica matemática que se emplea para reproducir relaciones entre dos o múltiples variables. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Nivel de servicio:** se refiere a una medida cualitativa que caracteriza las condiciones de operación de un flujo de tráfico y de la percepción que tienen los usuarios del mismo. El nivel de servicio depende enormemente del tipo de vía que está siendo

evaluada y se ve influenciado por múltiples factores como son la velocidad de circulación, tiempo, seguridad, confort, entre otros. (NCHRP, 2010)

**Nodo o intersección:** se entiende como un punto que define el fin de un ramal en una red de transporte. En una red vial, comúnmente se lo conoce como intersección o centroide de zona. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Oferta Vial:** se refiere a los elementos constitutivos de un sistema vial como son calles, autopistas, intersecciones, entre otras; por las que se desplazan todo tipo de vehículos y peatones. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Rama o Ramal:** es un elemento de la red de transporte que une dos nodos o intersecciones. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Viajes interzonales:** son aquellos viajes que tienen el origen o destino en una zona interna definida para el estudio y al mismo tiempo tienen destino u origen en una zona externa. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Viajes intrazonales:** son aquellos viajes que tienen tanto su origen como su destino en zonas internas para la zona definida para el estudio. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Volumen:** la cantidad de vehículos que se desplazan durante un período previamente determinado y espacio también delimitado. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

**Zona de tráfico:** se le conoce como tal a una unidad básica para el análisis, dentro de la misma se analiza los viajes y se encuentra delimitada por barreras importantes para el flujo y por el uso del suelo asociado con la zona delimitada para el estudio. (Lane, Powell, & Prestwood Smith, 1975)

## **Metodología del estudio**

Cualquier tipo de estudio que forme parte de un proyecto debe tener una metodología clara que funcione como una guía de pasos a seguir para lograr los resultados esperados. Por esta razón, es necesario primero definir el tipo de estudio que amerita el caso. Para la presente investigación se toma como metodología, un estudio de caso de forma analítica. Se estudiará el caso específico de la intersección del redondel de la Plaza “General José Artigas”. Si bien, parte fundamental del estudio es recabar la información y la tabulación de la misma; el estudio comprende y deviene importante en la simulación de la intersección y la interpretación de los resultados, con la finalidad de rediseñar geoméricamente la intersección y así mejorar significativamente el actual problema de tránsito de la misma.

Entonces, las fases del estudio comprenden seleccionar la intersección a ser intervenida; en base a la magnitud del problema e importancia para la ciudad. Una vez elegida la intersección, se procede a recabar toda la información histórica que pueda existir; para ello se recurre a las instituciones públicas encargadas del tránsito como es la Secretaría de Movilidad del Distrito Metropolitano de Quito. Por otro lado, también se necesita la implantación de la intersección o el levantamiento planimétrico de la misma (adicionalmente se puede necesitar el levantamiento altimétrico de la intersección dependiendo del tipo de solución que se proponga). Parte de la información necesaria de recabar es la ubicación de todo tipo de establecimiento que pueda verse afectado por los cambios propuestos en la intersección, por lo tanto se debe localizar locales comerciales, establecimientos educativos, hospitales, entre otros. En este sentido también es necesario tomar en cuenta la distribución del uso del suelo, en la zona de directa influencia sobre la intersección.

Una segunda fase, que en definitiva es la de mayor importancia; es la relacionada con los aforos vehiculares y el levantamiento de la información sobre la demanda en la intersección. Los diferentes conteos vehiculares se los realiza para conocer la cantidad de vehículos que ingresan a la intersección por cada uno de los ramales que la componen, así como los diferentes tipos de giros que los vehículos realizan una vez dentro de la intersección. Éstos se los realiza únicamente durante días donde se espere una demanda y comportamiento típico de los usuarios en la intersección; en otras palabras, no se debe bajo ningún concepto realizar los conteos en días feriados o cuando exista por ejemplo un evento de gran magnitud que pueda afectar los factores ya mencionados. Es sumamente importante controlar este factor ya mencionado dado que las soluciones que se intentan plantear son completamente dependientes de la cuantificación de la demanda existente en la actualidad; por lo tanto los datos recabados deben ser tan reales como sea posible y asemejarse al comportamiento normal de la intersección, para que los resultados tengan validez.

Para el caso de nuestra intersección escogida, se analizó primero realizar conteos automáticos, mediante el uso de contadores por diferencia de presión (sistema de contadores conectados a mangueras colocadas sobre la calle a través de la calzada). Estos contadores, se colocaron sobre la Avenida “La Coruña” n/s en ambos sentidos (entrando y saliendo de la intersección). La función del contador automático en este caso es poder ubicar con mayor precisión las horas pico de la intersección. Una vez conocida esta información, el siguiente paso es realizar conteos manuales durante las horas pico determinadas anteriormente. Primero, durante un día se realiza el conteo de vehículos que llegan a las entradas de la intersección en base a una clasificación por tipo de vehículo. En un segundo día, se realiza un conteo durante las mismas horas pico, para cuantificar los tipos de giros que los automóviles realizan (en definitiva, se observa por cuál calle sale

cada vehículo de la intersección). Para el levantamiento de esta información se cuenta con un equipo de trabajo que previamente se capacita para dichos procedimientos.

La siguiente fase del estudio es el procesamiento de la información. Primeramente, se deben depurar los datos obtenidos por los contadores automáticos. Teniendo ya los datos de demanda, se debe correlacionar los giros con los aforos volumétricos totales. En el caso de recopilar información histórica existente, se debe cotejar con los datos obtenidos. Para el caso puntual del proyecto, los organismos a cargo de la movilidad en el Municipio de Quito; o bien no tienen datos al respecto o en su defecto no nos fue permitido el acceso a éstos. Con toda la información procesada se calcula los indicadores de tráfico necesarios para el estudio.

Seguidamente llega la etapa de analizar los datos y en función de las primeras conclusiones al respecto, plantear alternativas de solución del problema en base a la demanda y suponiendo; que la intersección se encuentra superada en su capacidad dada la geometría actual, con respecto a la demanda encontrada (soluciones parciales o si fuera el caso completas al problema). Se procede a determinar las propuestas evaluando también el impacto que pueden tener tanto en el área de estudio como en su inmediato alrededor.

La siguiente fase del estudio, es realizar una modelación tanto de la situación actual del redondel como de la o las propuestas de rediseño geométrico de la intersección. Para este fin, se pretende utilizar un programa de simulación microscópica llamado Aimsun que es desarrollado por TSS (Transport Simulation Systems). Finalmente, se realiza una elección de la alternativa que resultara más adecuada que, al mismo tiempo mejore o resuelva los problemas que presenta la intersección, mientras que sea definitivamente superior a las otras alternativas en base a los parámetros definidos para la comparación. Se sustenta la elección y se realizan recomendaciones y conclusiones con respecto al proceso seguido así como las observaciones correspondientes a la propuesta final.



## **Marco teórico**

### **Generalidades.**

Si se quieren estudiar los aspectos operacionales para aplicar correctamente la ingeniería de tránsito, se debe primero y de manera muy general, definir y analizar los elementos básicos que intervienen e interactúan entre sí para producir los flujos de tránsito y los problemas inherentes al mismo.

Estos elementos son:

- El usuario, donde están los conductores, peatones, ciclistas y pasajeros de cualquier vehículo.
- Los vehículos, que constituyen los medios por los cuales se transportan los usuarios, sean estos privados o públicos.
- El tercer elemento es el sistema vial que está compuesto por calles, carreteras, dispositivos de control y el medio en el que estos se insertan.

Si bien el presente estudio no contempla un análisis a profundidad de éste grupo; los seres humanos son la principal razón por la que existen los sistemas de transporte. Se debe entender a los mismos como los usuarios de los diferentes medios de transporte y como tal deben ser puntualmente estudiados y entendidos en cuanto a sus comportamientos. La razón fundamental para esto es que los usuarios deben ser guiados y controlados de una forma que permita el correcto funcionamiento y seguridad en la interacción de los tres elementos anteriormente mencionados. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

En cuanto al segundo elemento, los vehículos, es necesario entender las características que estos tienen para poder regular su funcionamiento en el sistema vial con el fin de que sea adecuado para los usuarios y no represente peligro para los mismos. Estas características son: la potencia, el tamaño y peso, la capacidad de aceleración, frenado, y

todas sus características operacionales, la seguridad del usuario al interior, entre otros. Por otro lado, también se debe conocer las características en cuanto a su uso, público o privado; y la calidad y suficiencia de dicho uso. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

Las características propias del sistema vial, son el tercer factor importante para su funcionamiento, y estas en definitiva son la accesibilidad, la geometría, función, cantidad de vías, entre otras. Por otro lado, se tienen como parte de este sistema vial a los dispositivos de control que podríamos definirlos como las formas de comunicación entre los usuarios del sistema. Esta comunicación está definida por ejemplo por las regulaciones de tránsito y las leyes de tránsito existentes, además de todo tipo de instrucciones que recibe el usuario por parte de los organismos de control del sistema vial. En este punto cabe mencionar que otro componente del sistema vial es el medio donde se encuentra; en este sentido identificamos factores que pueden ser muy variables, desde la situación meteorológica hasta las condiciones de visibilidad que puedan cambiar el comportamiento de los usuarios, la iluminación, entre muchas otras. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

### **Usuarios.**

Como se mencionó ya, los usuarios son los peatones, los conductores de automóviles, motociclistas, ciclistas y pasajeros. De entre todos estos usuarios, seguramente los más vulnerables en el sistema vial son los peatones, los ciclistas y motociclistas. Mientras que los conductores de vehículos y pasajeros, si bien son vulnerables, tienen en cierto sentido mayor protección que aquellos ya mencionados; además históricamente han tenido una ventaja implícita de circulación durante muchos años, especialmente por sobre los peatones y ciclistas.

### **Peatón.**

Como argumentan Cárdenas y Cal y Mayor, todos hemos sido alguna vez peatones y potencialmente toda la población es peatón, por lo tanto es posiblemente el grupo más

grande de usuarios y al mismo tiempo es el más vulnerable entre todos estos; desde esta perspectiva es importante su estudio dentro de la seguridad vial. Si bien las cifras de peatones fallecidos siguen siendo elevadas, la mayoría de accidentes sufridos por peatones ocurren como consecuencia de una pobre educación vial de los mismos; sobre todo en cuanto se refiere a los países hispanos y latinoamericanos en general. Esta pobre educación vial se demuestra en la poca observancia, tanto de conductores como peatones, a las zonas demarcadas para el flujo peatonal. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

En cuanto a las formas de caracterizar al peatón y el flujo que este tiene en el sistema vial, son similares con respecto aquellas utilizadas para caracterizar por ejemplo el flujo vehicular. En este sentido, se puede tomar en cuenta la velocidad de circulación, la capacidad de realizar maniobras por ejemplo un adelantamiento, entre otras. De manera similar, se puede evaluar la calidad del servicio que el sistema vial brinda al peatón en cuanto al confort, la comodidad, la seguridad, entre otras. Existen diferentes criterios para evaluar la situación del peatón, como son el espacio, la tasa de flujo, la velocidad, entre los más importantes. Comúnmente la clasificación responde a un conjunto de intervalos que definen nivel de servicio del sistema vial para los peatones. En Quito, no existe clasificación alguna sobre el nivel de servicio del sistema vial. Según el Manual de Capacidad de Carreteras (por sus siglas en inglés HCM 2010), de Estados Unidos, el nivel de servicio se puede clasificar como lo muestra la tabla a continuación.

Tabla 1. Niveles de servicio peatonal según HCM 2010. (National Research Council, 2010)

<b>Nivel de servicio</b>	<b>Espacio (m<sup>2</sup> por peatón)</b>	<b>Tasa de Flujo (peaton/min/m)</b>	<b>Velocidad (m/s)</b>
<b>A</b>	>5.6	≤16	>1.3
<b>B</b>	>3.7-5.6	>16-23	>1.27-1.3
<b>C</b>	>2.2-3.7	>23-33	>1.22-1.27
<b>D</b>	>1.4-2.2	>33-49	>1.14-1.22
<b>E</b>	>0.75-1.4	>49-75	>0.75-1.14
<b>F</b>	≤0.75	variable	≤0.75

En el nivel de análisis, que establece el HCM, conociendo el número de peatones en cierta zona, se podría diseñar el ancho de la vereda o acera. Mientras que por otro lado, a nivel operacional, se puede usar esta información para evaluar cuan eficientes son las veredas actuales. En este sentido si se encontrara que las veredas resultan deficientes, poder solucionar el problema de estas en función de sus necesidades de demanda de peatones. Se debe tomar en cuenta también la premisa que la velocidad de los peatones se reduce a medida que la densidad aumenta. También juega un papel muy importante los múltiples obstáculos que se colocan sobre las veredas como pueden ser los puestos de periódicos y revistas, lugares designados para los postes de cableado eléctrico, desniveles, entre otros. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

#### Ciclista.

Deviene cada vez más importante el análisis del papel que juega el ciclista en el sistema vial, dado que la tendencia de las grandes ciudades que sufren de problemas de movilidad, es implementar ciclovías e incentivar el uso de la bicicleta en los ciudadanos. Este creciente interés en implementar carriles exclusivos para ciclistas dentro del sistema vial tiene su fundamento, para promover la actividad física en función de la salud los ciudadanos, reducir el impacto ambiental que causan los vehículos, e inclusive según múltiples estudios, para lograr mejoras de la movilidad y reducción del congestionamiento.

Si bien la bicicleta ha sido ampliamente utilizada para fines recreativos desde su invención, cada vez más personas tanto en las grandes ciudades como en las pequeñas; la usan como medio de transporte para sus actividades diarias. La principal barrera que el uso generalizado de bicicletas tiene es que ha sido históricamente vulnerable, sobre todo desde el punto de vista de la alta accidentalidad al convivir en el sistema vial con los vehículos motorizados. En ciudades como Quito, también es determinante el factor topográfico como limitante del uso generalizado; cosa que no pasa comúnmente en ciudades con menor cantidad de accidentes geográficos y diferencias de altura considerables entre los sectores de la ciudad. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

En definitiva, parte fundamental de una planificación para lograr un uso generalizado de bicicletas es proveer de ciclovías o carriles para bicicletas en el sistema vial de la ciudad. En el caso de las ciclovías, definitivamente son carriles exclusivos para la circulación de bicicletas y desde el punto de vista del diseño; éstas tienen consideraciones similares al diseño de una vía para vehículos motorizados. Estas características que se diseñan son el ancho de la ciclovía, la velocidad de diseño del proyecto, alineamiento vertical como horizontal, entre las más importantes. Si bien son características comunes de diseño a una carretera, éstas están definidas por la operatividad de las bicicletas que son completamente diferentes a las de los automóviles. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

Según Cárdenas G. & Cal y Mayor (2007), “se ha constatado que en ciudades congestionadas y para distancias de hasta 5-7 kilómetros, la bicicleta es el medio de transporte más rápido.” Entonces evaluando las bondades del uso generalizado de la bicicleta es que en Quito, desde el año 2003 se realizan ciclopaseos en la ciudad para promover el uso de este medio de transporte. Ya se han implementado y adecuado espacios para ciclovías y carriles especiales para bicicletas en múltiples calles (por ejemplo en la Avenida Diego de Almagro, entre muchas otras), incluso se cuenta ya con la red de

ciclovías (Proyecto Ciclo-Q) que tiene una longitud de 46 km. Las opciones en las ciudades congestionadas son varias, y entre ellas está rehabilitar antiguas rieles de trenes para convertirlos en ciclovías, generar incentivos y fomentar el uso de la bicicleta para ir al trabajo, entre otras. (Municipio Del Distrito Metropolitano de Quito, 2008)

Conductor.

Precisamente el conductor de cualquier vehículo en un sistema vial, es el usuario más analizado y al mismo tiempo es aquel que se ve responsable por la mayoría de problemas que se presentan en el sistema. Por un lado, sin lugar a dudas es quien comete la mayor cantidad de errores que derivan tanto en accidentes con otros usuarios y por otro, son parte del problema de la congestión. Si bien, conducir es una actividad relativamente reciente para el ser humano; éste se ha podido acoplar tanto al mecanismo como a las limitaciones que presenta un vehículo pero aquello que le ha costado mayor dificultad es logra adaptarse a un medio generalizado de conductores, peatones y todo tipo de usuarios del sistema vial. Por lo tanto no es una cuestión de condiciones físicas del individuo que conduce sino por el contrario la falta de adaptación de la masa de usuarios a una convivencia conjunta en el sistema vial. En este sentido resulta necesario, casi vital lograr que todos los usuarios, tengan una preparación o educación vial para evitar o reducir al máximo los peligros de esta actividad, inclusive con el fin de mejorar los problemas de congestión. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

Según la AASHTO el diseño vial debe ser compatible con las capacidades del conductor puesto que de esta manera se reduce la probabilidad de los errores por parte del conductor, accidentes o un nivel de operación ineficiente. También argumenta que las decisiones que toma el conductor están basadas en una correcta información disponible en la vía y tomar decisiones a tiempo en base a dicha información. El conducir depende de tres actividades que realiza el conductor, estas son: control, guía y navegación. Estas

actividades están listadas en orden creciente de dificultad para el conductor, simultáneamente se encuentran listadas en orden decreciente en cuanto a seguridad vial se refiere. Entonces, la navegación deviene el nivel más complejo para el conductor siendo este la planeación de las rutas a tomar. La guía es el nivel intermedio en cuanto a complejidad se refiere, y se define como el seguir el camino en respuesta a las condiciones instantáneas de tráfico y de la vía. Finalmente, guiar el vehículo desde la dirección y las señales de tránsito que limitan la velocidad de circulación constituyen el nivel de control. (AASHTO, 2011)

Parte importante del análisis del conductor es la manera en la que recibe información. Si bien la mayoría de esta información es visual, por medio de marcas en la calzada, señales de tránsito, entre otras; también el conductor conecta la información que llega por otros medios sensoriales que tienen que ver más con el instinto del conductor, estos son por ejemplo las variaciones de la textura en la calzada por medio de vibraciones o al escuchar la sirena de un vehículo de emergencia. En este sentido, toda la información se procesa en conjunto pero toma cierto tiempo que es fundamental analizar al momento de realizar el diseño de una vía así como las señales necesarias. La complejidad de la información recibida por parte de un conductor es directamente proporcional al tiempo que le toma reaccionar y tomar una decisión al respecto. Según estudios sobre la reacción al frenar realizados por Johansson y Rumar, a un conductor le toma entre 0.6 - 2.0 segundos reaccionar cuando un evento es esperado por el conductor; mientras que cuando no es esperado el evento, este rango se incrementa en un 35 por ciento. (Johansson & Rumar, 1971)

Los errores por parte del conductor, se deben a diferentes causas que se engloban en deficiencias en las capacidades del conductor, estados psicológicos desfavorables y una información deficiente en la vía. A continuación el listado de las causas más comunes que

influyen en los errores por parte del usuario, que pueden conducir a accidentes.

(AASHTO, 2011)

- Experiencia insuficiente y/o entrenamiento deficiente.
- Riesgo inapropiado en el que incurre el conductor.
- Deslumbramiento momentáneo.
- Baja reacción por el uso de drogas y/o alcohol.
- Baja reacción por fatiga.
- Las condiciones climáticas.
- El cambio de luminosidad entre el día y la noche y viceversa.
- Complejidad en la maniobra que debe realizar el conductor.

Se debe tomar en cuenta especialmente el deterioro que se produce en la percepción, el estado mental y las capacidades motrices; en los conductores de avanzada edad ya que es un factor crítico a tomar en cuenta y puede resultar muy significativo en poblaciones urbanas con alta densidad poblacional de adultos de avanzada edad.

(AASHTO, 2011)

### **Vehículos.**

Analizar la función de los vehículos en el problema complejo del transporte es fundamental para entender como este elemento resulta ligado tanto a las soluciones como a los problemas que existen de movilidad. El uso de vehículos se produce por la necesidad de transportar personas o cargas de una manera más rápida y eficiente. Paradójicamente, el uso de vehículos ha resultado en problemas de movilidad con el paso del tiempo. Dado que la comprensión de las características de los vehículos ha estado muchas veces en un segundo plano, es que no se logra entender la importancia que este elemento representa en el sistema vial. Si bien, el funcionamiento de un vehículo depende de la destreza del



conductor; gran parte de la influencia de los vehículos en el sistema vial depende justamente de las características inherentes a éste. (Valdez Gonzales-Roldan, 1982)

La clasificación generalmente de los vehículos tiene directa relación con características físicas como el peso, la movilidad y el tamaño. En este sentido se definen cinco categorías generales para agrupar a los tipos de vehículos: bicicletas, motocicletas, livianos, buses y especiales. Las bicicletas y motocicletas son dos grupos que en la actualidad representan una cantidad del tráfico significativo y cada vez tienen mayor importancia en la movilidad de las urbes. Si bien por su dimensión permiten mayor movilidad, también representan un porcentaje muy alto en cuanto a la cantidad de accidentes relacionados con cualquier tipo de bicicleta. En cuanto a los livianos o ligeros se refiere, todo vehículo de cuatro ruedas destinado al transporte de pocas personas (2 y 9) y cargas livianas (que puedan ser transportadas en camionetas y furgonetas); entra en esta clasificación. Su importancia en el sistema vial urbano es alta desde el punto de vista de la movilidad y congestión, dado que la incidencia y aportación en el sistema es superior al de los otros grupos. Desde esta perspectiva, la gran cantidad de este tipo de vehículos determina y condiciona el diseño de los elementos geométricos de las vías. El grupo de los pesados o buses, está constituido por vehículos cuyo peso y capacidad de transporte de personas y carga es significativamente mayor comparado con los vehículos livianos. Entonces, las dimensiones y peso de estos son muy superiores y variables. Finalmente, los vehículos especiales son aquellos poco comunes pero que en definitiva pueden causar un impacto sensible en el tráfico y la movilidad, entre ellos se encuentran los vehículos de transporte de proporciones mayores a los camiones, maquinaria de obras públicas, entre otros. (Valdez Gonzales-Roldan, 1982)

Si bien no se podría diseñar para todos estos tipos de vehículos al mismo tiempo, se definen vehículos de diseño para los proyectos que cumplan con las características más

comunes y al mismo tiempo necesarias de acuerdo al contexto del proyecto y a la composición del tránsito. Las dimensiones de los vehículos y las características de la vía tienen una relación de interdependencia, ejemplos de esta relación son los anchos de carriles definidos, la altura existente entre las estructuras en pasos deprimidos, las mismas características geométricas, los pesos totales (o por ejes) que resulta necesario conocer para el diseño de la capa de rodadura, entre muchos otros ejemplos. (Valdez Gonzales-Roldan, 1982)

En cuanto a los vehículos como medio de transporte, al relacionarse en su entorno vial, es importante el análisis de las características fundamentales geométricas y motoras del mismo que puedan condicionar el funcionamiento del sistema vial. Es necesario desde la perspectiva de la planificación y diseño; conocer las fuerzas que actúan sobre el vehículo, la resistencia que las diferentes capas de rodadura puedan presentar, la capacidad de aceleración y deceleración en proporción de su peso, el radio mínimo de giro, entre las más importantes. Por otro lado en el análisis del vehículo y su importancia en el sistema, se debe incluir los costes de funcionamiento, desde el punto de vista económico y ambiental; guardando coherencia con la planificación del sistema vial y de los requerimientos del diseño del proyecto. (Valdez Gonzales-Roldan, 1982)

### **Configuración del sistema vial urbano.**

El sistema vial, es la infraestructura a gran escala con la que cuenta una unidad de territorio que puede ser por ejemplo, un país o una ciudad. Sin lugar a dudas la calidad de este sistema vial, está directamente relacionada con el nivel de desarrollo de dicha unidad de territorio. Existen diferentes clasificaciones para un sistema vial pero en el caso particular de este estudio, se deja de lado los componentes rurales del sistema para concentrar la atención en el sistema vial urbano exclusivamente.

Seguramente, la clasificación más apropiada para el sistema vial urbano es la funcional. La clasificación del tipo de vías, vigente para el DMQ, consta de 5 categorías: Expresas, Arteriales, Colectoras, Locales y Sin Clasificar. (PNUMA, FLACSO, 2011) En este sentido, la clasificación del DMQ es conceptualmente muy similar a la de AASHTO donde existen cuatro grupos para las áreas urbanas: arterias principales, arterias menores o secundarias, colectoras y calles locales. (AASHTO, 2011)

Las arterias principales tienen como función el servir a los centros de actividad de la urbe, los corredores de mayor tráfico y las mayores distancias de viaje. Si bien, estas arterias constituyen una proporción menor del total de las vías de una ciudad, también son las que se usan en una gran proporción de los viajes que se realizan en el sistema vial; tanto en viajes internos de la ciudad como los que salen de la misma. Ejemplos de estos son las arterias principales que conectan los centros de negocios con las áreas residenciales en las afueras de la ciudad. Si bien no existe alguna regla específica, por lo general la distancia que separa arterias principales en una zona urbana va por lo general de 2-8 km. (AASHTO, 2011)

Las arterias menores o secundarias constituyen una parte del sistema vial que interconecta las arterias principales. Los viajes que se realizan por estas arterias secundarias tienen una longitud moderada y ofrecen un menor nivel de movilidad comparadas con las arterias principales, distribuyendo así, el tráfico a menores áreas de la ciudad. Este subgrupo del sistema vial, puede llevar líneas de transporte público pero idealmente no debería ser parte de áreas definidas como residenciales. Por lo general la distancia que separa arterias secundarias varía desde 0.2-1.0 km en los centros de negocios de la ciudad y en las afueras varía entre 3-5 km. (AASHTO, 2011)

Los sistemas colectores urbanos, sirven para dos propósitos y pueden ser identificados en función de los mismos. Estos propósitos son ofrecer circulación entre

áreas residenciales y áreas comerciales e industriales. Al mismo tiempo que recolectan el tráfico de calles locales y lo canalizan a sistemas de arterias principales, justamente al formar parte de áreas residenciales llevan líneas de transporte público. (AASHTO, 2011)

Finalmente, las calles locales urbanas conforman un sistema local que permite tener acceso directo a las residencias y terrenos en general ubicados en áreas residenciales. Si bien provee el nivel más bajo de movilidad, también el tráfico tiene escaso control y es casi intuitivo. Por otro lado, no se identifica claramente a este sistema local como propenso a dar el servicio de transporte público. (AASHTO, 2011)

A continuación, se presenta una tabla que resume cuanto representa cada sistema anteriormente mencionado comúnmente en un sistema vial urbano desarrollado bajo estos conceptos recomendados por AASHTO.

Tabla 2. Extensión los sistemas urbanos viales (AASHTO, 2011)

<b>Sistemas urbanos</b>	<b>Porcentaje de la longitud de las vías urbanas</b>
Arterias Principales	5% - 10%
A. Principales mas A. secundarias	15% - 25%
Colectoras	5% - 10%
Calles Locales	65% - 80%

La organización de las vías urbanas desde una perspectiva funcional, tal como está planteado, representa ciertos problemas para el diseñador. Uno de estos problemas es que el diseño se basa en volúmenes de tránsito y muy poco tiene que ver con la funcionalidad prevista; por ejemplo, para dos vías conceptualmente diferentes desde su funcionalidad, se podría diseñar de la misma manera de acuerdo a que tienen volúmenes de demanda similares. Si bien, es correcto el diseño en base a la demanda; el diseñador debe tener en mente el concepto de funcionalidad y el propósito que tiene en el sistema así como el contexto y el área en el que va a estar ubicado el proyecto. Todo esto, con la premisa de

lograr consistencia y sistemáticamente lograr el enfoque de planeación del organismo encargado de la movilidad en la urbe. (AASHTO, 2011)

### **Fundamentos teóricos de tráfico.**

Cuando se quiere rediseñar un tramo del sistema vial o una intersección previamente existente, se debe partir de la cuantificación de la demanda y en conocimiento de los problemas que ésta genera. Precisamente, se debe analizar el tráfico y sus componentes tanto en la situación actual como la situación que se puede proyectar y esperar en el futuro. Ahora bien, existen varias metodologías en el mundo para realizar este análisis, entre ellas se encuentran la de la ASSHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials), FHWA (Federal Highway Administration) ambas de Estados Unidos; por otro lado podemos mencionar la AIPCR (Asociación Mundial de la Carretera) que es una organización de varios países. En definitiva, las opciones metodológicas son varias pero en Ecuador, el manual de Normas de Diseño Geométrico 2003 es el documento que es ampliamente utilizado; tanto para estudios de tránsito como para diseño geométrico de los elementos del sistema vial. Esta normativa emerge sobre una base de la normativa ASSHTO, al mismo tiempo que correlaciona varios documentos preexistentes que servían de normativa anterior para el diseño vial en el país.

En este sentido, se ha adaptado la normativa internacional ASSHTO (de mayor aceptación y aplicación en el mundo occidental) para las particularidades del territorio Ecuatoriano, sobre todo considerando las condiciones y limitantes topográficas del país. Al respecto de esto, en el manual de Normas de Diseño Geométrico de Carreteras; se ha reclasificado y valorizado los parámetros de diseño como son la velocidad de diseño del proyecto, radios de giro, en definitiva todos los parámetros que forman parte del diseño geométrico. Si bien el documento original del manual anteriormente mencionado, fue creado en el año 1973; es el documento que ha servido de guía para el diseño en el país

desde entonces, incluso siendo utilizado actualmente. Si bien el documento fue creado hace ya algunos años, se han hecho algunas ediciones del mismo; por otro lado, también es necesario mencionar que la nueva normativa del MTOP se encuentra actualmente en proceso de elaboración y análisis [MTOP : NEVI 2013]. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

### **Tráfico.**

Sobre el tráfico, el manual de Normas de Diseño Geométrico 2003 determina que para diseñar una carretera o un tramo urbano, el diseñador, “...debe basarse entre otras informaciones en los datos sobre tráfico, con el objeto de compararlo con la capacidad o sea con el volumen máximo de vehículos que una carretera puede absorber. El Tráfico en consecuencia, afecta directamente a las características del diseño geométrico.” (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Esta información, debe tener en cuenta principalmente el estado del tráfico actual, tanto en el volumen actual como el tipo de vehículos que circulan por el lugar. Y por otro lado la información debe tener como alcance proyectar el tráfico futuro, mediante pronósticos. En los proyectos que tienen como objetivo intervenir para realizar un mejoramiento de una vía existente; el trabajo de cuantificar el tráfico actual y lograr pronosticar la demanda futura es menor que el que requiere para nuevas vías donde el tráfico será un producto de la nueva vía. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

### **Tráfico Promedio Diario Anual (TPDA).**

El TPDA o tráfico promedio diario anual, es la unidad de medida que históricamente se ha utilizado ampliamente para cuantificar el tráfico en una vía. Sin ser esta medida la más adecuada para tener una idea certera del tráfico en las horas de mayor congestión, dado que el resultado es un valor muy general y al mismo tiempo un promedio del día; no nos permite poder evaluar el o los momentos de mayor demanda durante el día, siendo justamente éstos los más importantes para el análisis. Sin embargo el TPDA nos

permite en definitiva conocer a grosso modo (siempre dependiendo de la calidad de la información recolectada y de los factores utilizados como se verá más adelante) cuantos vehículos circulan en promedio durante un día. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Para el cálculo del TPDA que en definitiva servirá para proyectar el Tráfico futuro, es necesario tomar en cuenta si la vía que se está planificando tiene uno o dos sentidos de circulación. Se puede usar para dicho cálculo tanto ambos sentidos o de haber un solo sentido se puede utilizar exclusivamente ese. Si bien, depende de cada caso; debe quedar constancia al momento de realizar el cálculo claramente cuantos sentidos se tomaron en cuenta para los cálculos. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

La importancia de conocer el sentido de la vía se resume en el factor direccional. Este factor no es fijo (varía constantemente durante el día, mensualmente e inclusive anualmente), y se ve afectado por el uso del área de influencia de la vía. El volumen horario direccional para el diseño, viene dado por la multiplicación del TPDA por una dos factores (K y D); estos son la proporción del TPDA que ocurre durante la hora pico y la proporción del tráfico en la hora pico que transita en la dirección de mayor volumen, respectivamente.

Para lograr determinar el TPDA con mayor precisión, idealmente se podría utilizar un contador permanente durante un año; pero dado que lograr esto tomaría demasiado tiempo y comprometería recursos, se puede registrar los datos en una semana (o al menos 4 días, que incluyan sábado y domingo) durante 24 horas continuas, para luego realizar los ajustes correspondientes para la semana del año a la que pertenecen. Finalmente, se puede llegar al TPDA necesitado mediante factores de corrección semanales con respecto al mes que pertenecen y finalmente mensuales. En el caso de no estar disponibles aquellos registros que permitan correlacionar los datos de todo el año, se pueden alternativamente

utilizar factores de variación estacional o inclusive factores de consumo de gasolina.

(T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

### **Tráfico Futuro.**

Determinar el tráfico futuro implica llevar mediante un cálculo estimado, el tráfico actual a términos de tráfico en un instante del futuro; por lo general se toma como período proyectado 15 o 20 años. Predecir correctamente el tráfico en los años venideros permite realizar diseños que funcionen durante varios años, idealmente para los que fueron previstos, por ello es importante lograr una aproximación tan precisa como sea posible. Por otro lado el diseño también se basa en el tráfico generado y el crecimiento del tráfico por desarrollo. Con este valor de tráfico futuro, se determina entre otros indicadores necesarios como son, la velocidad de diseño de la vía y se definen también los demás parámetros geométricos del proyecto. Adicionalmente, la proyección del tráfico al futuro tiene importancia en el diseño de pavimentos y capas de rodadura que se necesitan para soportar los volúmenes esperados. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

#### Crecimiento esperado del tráfico actual.

Para cualquier estudio, el tráfico actual es el número de vehículos que circulan por la vía antes de haber realizado cualquier modificación a la misma. Entonces, para dicha vía a ser mejorada, el tráfico que se espera tenga la vía una vez realizada las modificaciones tiene dos componentes; tráfico existente y el tráfico desviado. El tráfico existente, está definido por el volumen medido antes de realizar la mejora. El tráfico desviado es aquel que debido a la mejora realizada en una vía, en una sección vial o en una intersección, cambia su ruta original y ahora decide ir por la nueva opción; los usuarios, que antes transitaban por diferentes vías, toman la opción de transitar precisamente por la vía en cuestión a partir de la mejora realizada. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)



### Criterios para determinar el tráfico futuro

Cuando no se tiene información suficiente de la demanda y durante extensos períodos (por ejemplo, el volumen correspondiente durante años consecutivos). Es conveniente realizar las proyecciones del tráfico futuro en relación a diversos factores que de alguna manera se correlacionan con el volumen de tráfico, como son; el crecimiento poblacional, la producción, el crecimiento del parque automotriz, entre otros. Para el Ecuador, seguramente se puede encontrar en las tendencias de crecimiento respecto al consumo de gasolina y diésel o la conformación del parque automotriz; los indicadores más convenientes para determinar el tráfico futuro. También, se puede usar la tasa de crecimiento poblacional en una ecuación como la que se muestra a continuación.

(T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

$$T_F = T_A(1 + i)^n$$

Dónde:

- $T_F$  , es el tráfico futuro.
- $T_A$  , es el tráfico actual.
- $i$  , es la tasa de crecimiento del tráfico (en caso de no existir información, se puede usar la tasa de crecimiento de la población u otra tasa relacionada con el crecimiento del tráfico)
- $n$  , es la cantidad de años a los que se quiere proyectar el tráfico actual.

Tráfico generado.

El tráfico generado es aquel que se produce aproximadamente durante los siguientes dos años a la mejora realizada, y por su puesto solo se genera dicho tráfico a partir de que se realicen dichas mejoras, por lo tanto es bastante complicado de predecir este incremento en el tráfico. Ecuador no tiene estudios al respecto del tráfico que se ha generado a partir de cambios en el sistema vial, pero de alguna manera, es adecuado

relacionar el grado del mejoramiento con el volumen de tráfico generado. Por esta razón, a groso modo, “se ha establecido que el volumen de tráfico generado que provoca la terminación del proyecto, será igual a un porcentaje del tráfico normal que se espera en el primer año de vida del proyecto.” (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Mientras se pronostica que el tráfico generado aumentaría a una tasa muy similar a la del tráfico normal, se establece también que la cantidad de tráfico generado resulta parecida a un porcentaje del tráfico normal que se supone en el primer año una vez terminado el proyecto. Por esta razón, se sugiere en las Normas de Diseño Geométrico de Carreteras tomar como tráfico generado a la mitad en porcentaje que se cree que ahorrará el usuario con las modificaciones durante el primer año de su funcionamiento. Las causantes de la generación de esta parte del tráfico son las siguientes.

- Viajes creados a partir de la mejora (viajes que no se realizaron antes)
- Viajes que se han cambiado su ruta a partir de la mejora o que se puede decir que han sido atraídos por la misma.

Factores socio-económicos del crecimiento del tráfico.

En general, la generación de viajes está considerada consecuencia de cambios o alteraciones en la interacción socio-económica. En el caso específico de una ciudad, ejemplos de esto puede ser el ubicar en cierto punto de la ciudad el parque industrial, alterando así la generación y atracción de los viajes. Estos factores socio-económicos son: la variación de la población, el nivel de renta per cápita, cambios en el uso del suelo, entre otros.

### **Volumen de tránsito.**

Como se ha mencionado anteriormente, el diseño de nuevas propuestas para una intersección depende del volumen de tránsito, y en definitiva de la calidad de información que se tiene sobre el mismo. Cualquier diseño se basa particularmente en esta información

ya que representa la demanda de tránsito sobre la parte del sistema vial analizada; y encuentra sentido al lograr contraponerla con la oferta de capacidad actual. En definitiva, el diseño debe tener como fin lograr cambiar la oferta para lograr satisfacer la demanda tanto actualmente como aquella que se puede esperar en un futuro.

Dada las características propias de cada problema a ser analizado, se debe elegir la información a ser recolectada, tanto en cantidad de información como en la forma de recolección de ésta. En definitiva, es fundamental medir el volumen de vehículos que transitan por la fracción del sistema vial analizado; a tal fin, se puede llegar por medios mecánicos y/o manuales. En el caso específico de intersecciones, es importante además del aforo por cada ramal que la compone, determinar el volumen de giro saliendo de la intersección por cada ramal. Por otro lado, comúnmente es importante tener la información sobre la naturaleza de los usuarios en sus viajes en cuanto a su origen y destino (O/D); en definitiva, esta información servirá para tomar en cuenta tanto la modalidad de los viajes así como la tendencia y distribución de los mismos.

A continuación se muestra una gráfica que evidencia los giros comunes en una intersección típica de 4 ramales (perpendiculares de dos en dos), tanto para el caso de un redondel así como para el caso de una intersección sanforizada o controlada por otro dispositivo como pueden ser señales de pare. Se encuentran señalados los puntos donde ocurren conflictos (mismos que serán analizados en el siguiente capítulo), estos son de tres tipos: divergentes, convergentes y de cruce.

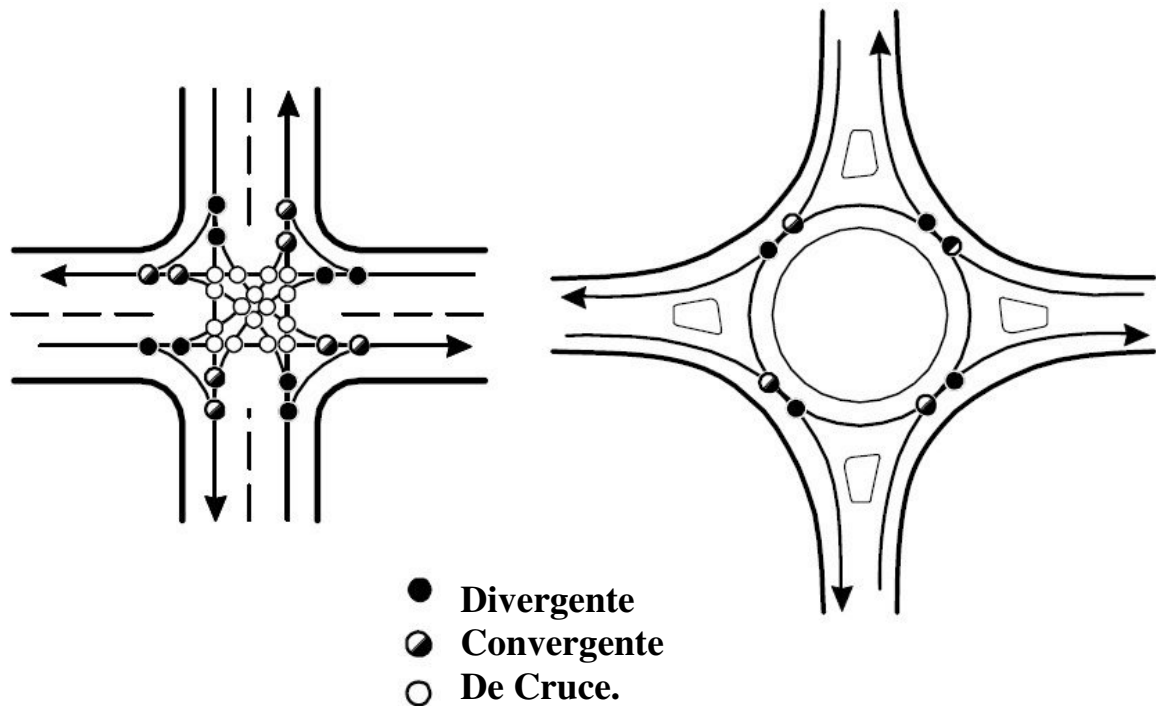


Figura 3. Giros y puntos de conflicto en intersecciones. (NCHRP, 2010)

### **Hora Pico.**

Si bien el TPDA puede ser una medida tanto del tráfico como de su intensidad a lo largo del día, realmente éste indicador no es suficiente para efectos de diseño. La razón fundamental es que existen variaciones importantes a lo largo el día que ocurren durante períodos cortos y reflejan la situación de demanda con mayor precisión. Por ello, los cortos períodos de tráfico extremo, se juntan en horas de máxima demanda; estos períodos consecutivos, resultan de mayor significancia y prácticos para el diseño geométrico (en la gran mayoría de casos). (AASHTO, 2011)

Si bien, elegir la hora pico o de punta máxima del año resultaría un desperdicio de recursos y el diseño estaría por encima de las necesidades reales, tampoco el tráfico de una hora pico promedio sería un diseño adecuado. Por lo tanto, la hora pico que se debería elegir es una que no se vea excedida muy seguido durante el año por otras horas pico, ni que la demanda se vea superada significativamente. En definitiva, que se pueda admitir

cierta tolerancia a una demanda superior en ciertos casos no tan comunes. En este sentido la AASHTO recomienda sobre una base estadística que la hora a ser tomada para diseño es la 30ava hora de mayor volumen del año. En definitiva esta hora es un punto de tolerancia aceptable para pocas horas (29 horas) que superarían este valor demanda en el año. Cuando no se tienen registros anuales estadísticos apropiados para definir la 30ava hora, se puede recurrir a porcentajes del TPDA. Mientras que en vías rurales la 30ava hora puede representar el 15 por ciento del TPDA, según AASHTO; según el manual de “Normas de Diseño Geométrico” usado en el País, asume que el valor del volumen correspondiente a la 30ava hora sufre una variación entre el 5 y 10 por ciento con respecto al valor de TPDA. (AASHTO, 2011) (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Para el caso de áreas urbanas, una hora de diseño apropiada puede ser determinada sobre la base de estudios de tráfico durante días normales del año y sus correspondientes períodos de volumen extremo. Dados los picos de tráfico durante las mañanas y en las tardes, existe poca diferencia entre la “hora 30” y la “hora 200” de mayor volumen. Típicamente, el pico de mayor significancia es durante las horas de la tarde cuando los viajes trabajo-hogar se realizan. En áreas urbanas, en el caso que la información histórica no sea suficiente, se puede tomar un valor representativo del TPDA, mismo que varía entre el 8 y 12 por ciento. (AASHTO, 2011)

Factor de hora pico.

La unidad de tiempo que sirve para expresar y caracterizar el flujo es un período de una hora. Dado que el flujo no es uniforme durante una hora, y que existen momentos o períodos de la misma durante los cuales la congestión es mayor mientras que otros en cambio donde la congestión baja sustancialmente; el HCM (por sus siglas en inglés, “HighwayCapacity Manual”) considera que las condiciones de operación durante los 15 minutos de mayor congestión prevalecen durante una hora. Por esta razón, el volumen total

de la hora de máximo volumen (4 períodos consecutivos de 15 minutos), es menor o igual a cuatro veces el volumen de los 15 minutos de mayor congestión. (AASHTO, 2011)

El factor que se utiliza entonces para convertir el volumen durante el período de 15 minutos de mayor congestión al total del volumen de la hora, es el factor de hora pico (FHP). El FHP entonces, se puede definir como la razón entre el volumen total de la hora y el volumen máximo durante 15 minutos multiplicado por 4. Por ejemplo, para una vía que presenta un factor de hora pico alrededor de 0.85, se puede decir que el total de vehículos que puede manejar dicha vía es el 85 por ciento del volumen registrado durante el período de 15 minutos de mayor congestión. (AASHTO, 2011)

#### **Distribución direccional en intersecciones urbanas.**

Al diseñar intersecciones e intercambiadores, es sumamente importante tener la información sobre los volúmenes de todos los movimientos que ocurren durante la hora de diseño. Esta información debe ser recopilada durante las horas pico de la mañana y la tarde típicamente, dado que podría variar significativamente la distribución direccional de los volúmenes al comparar las horas de la tarde con las horas de la mañana. Por lo general el diseño viene dado por el volumen de diseño y este puede ser diferente tanto en los picos de la mañana como en los de la tarde. Si bien los volúmenes totales en ambos sentidos de los ramales de la intersección pueden ser los mismos, no necesariamente cada uno de estos sentidos tienen el mismo volumen en las horas pico de la mañana comparado con los de la tarde; en muchas ocasiones resultan invertidos los volúmenes. Por esta razón, se debe tener la información, por separado, de los giros en la intersección tanto en las horas pico de la mañana y la tarde. Los datos sobre los giros necesariamente deben provenir de conteos, estudios Origen/Destino u ambos; siempre dependiendo de las condiciones particulares de la intersección que permitan usar uno u ambos métodos. (AASHTO, 2011)

### **Recolección de datos y trabajos de campo.**

Toda mejora o cambio que se quiera realizar, debe basarse en hechos concretos que permitan establecer la magnitud y características del problema que se está tratando.

Puntualmente, estos hechos se traducen en la información que se pueda obtener sobre el tránsito de la zona en cuestión. Es sumamente importante la calidad de la información que se tenga ya que en base a ésta se plantearán soluciones, por esta razón, es necesario un programa adecuado, ejecución y análisis de un estudio de tránsito apropiado para el problema estudiado.

### **Inventarios para estudios de tránsito.**

Una buena parte del diseño responde a las necesidades de la zona del proyecto, por esto es esencial contar con la mayor cantidad de información actualizada posible. Esta información del medio donde se realiza el proyecto debe ser abundante y práctica. Se debe realizar un inventario vial que contenga todo tipo de clasificación funciona de las calles, el control de las intersecciones, los sentidos de circulación de la clases, altura libre de estructuras, paradas de buses, límites de velocidad, uso del suelo, entre otras. Por otro lado, se deben realiza planos específicos del sistema de semaforización, restricciones de estacionamiento en la vía (límites de tiempo, lugares específicos, etc.), restricciones de visibilidad, entre otros; en definitiva caracterizar la vía o el conjunto de éstas en su situación actual. (Box, 1985)

Adicionalmente, se debe consultar en todos los archivos de información oficiales para recabar la información concerniente a reportes sobre accidentes, aforos de tránsito históricos, reportes de análisis de tránsito, en general cualquier otro dato que aporte al entendimiento de la situación actual de movilidad de la zona. Por otro lado, es importante levantar la información en cuanto a las rutas de transporte público que afectan

directamente al proyecto, dado que desde un punto de vista práctico deberán estar consideradas al momento de diseño por ser relativamente fijas. (Box, 1985)

### **Volúmenes de tránsito.**

Los aforos o medición de volumen de tránsito, se los realiza con el fin de encontrar el número de vehículos o peatones que circulan por un punto, pasan por una intersección, o usan una parte de la vía. El resultado del aforo es el volumen actual, el mismo que se puede realizar durante el tiempo que se requiera para el estudio; desde minutos hasta meses, incluso años. (Box, 1985)

Existen fundamentalmente dos tipos o métodos de aforo, mecánico o manual. El aforo manual es el más simple y que permite tener un alto nivel de detalle en cuanto a clasificación vehicular se refiere y a diferentes especificaciones que requiera el estudio. Dichos procedimientos manuales requieren de una hoja de campo, tan específica y fácil de usar como sea posible; para facilitar el trabajo de quien la vaya a emplear. Una sola persona puede manejar hasta 6 movimientos direccionales, pero todo depende de la complejidad del flujo y de cuan simultaneo este sea. De acuerdo al tipo de estudio que se esté realizando y a la complejidad de los flujos, giros y características del tránsito; se debe planificar tanto la cantidad de personas que realicen los conteos así como el diseño de la hoja de campo que mejor se ajuste a las necesidades del estudio. (Box, 1985)

En cuanto al aforo mecánico, existen diferentes aparatos y equipos tan sofisticados como cámaras fotográficas y de video, hasta los contadores más simples que funcionan con diferencia de presión sobre un tubo neumático o manguera colocada en la calzada. El registro automático, debe ser durante al menos 12 horas continuas en el mismo lugar. Si bien los contadores automáticos pueden separar el tipo de vehículos, clasificándolos según los parámetros ya descritos anteriormente, éstos son comúnmente usados cuando se requiere conocer el conteo simple del número de vehículos. El uso de los contadores



automáticos por lo general tiene tres usos fundamentales, la determinación de la variación horaria (establecer horas de máxima demanda), determinar variaciones periódicas o diarias y encontrar tendencias de crecimiento, finalmente para estimar el tránsito anual. (Box, 1985)

Posiblemente, uno de los métodos más efectivos y ampliamente utilizados en Ecuador en cuanto a contadores automáticos se refiere, es el uso en conjunto, de tubos neumáticos sobre la calzada y un contador que funciona en base diferencia de presión. El funcionamiento es bastante simple pero efectivo al mismo tiempo. Una vez colocados los tubos neumáticos flexibles sobre la calzada y sujetos al pavimento perpendicularmente a la dirección del tráfico, se sella en un extremo el tubo y en el otro extremo se conecta al interruptor de presión en el contador. Con el paso de los vehículos sobre la manguera, existe un desplazamiento del aire al interior del tubo que, al estar sellado, genera una diferencia de presión advertida por el interruptor. Esta presión, hace que el contador se active incrementando su valor (se cuenta un vehículo cada dos impulsos). (Box, 1985)

La ubicación de la manguera del contador es fundamental para su correcto funcionamiento; ésta debe estar cerca de un elemento fijo de la calle como un árbol o un poste para poder sujetarla y asegurar el contador. Por otro lado, debe estar colocada lejos de los lugares donde los vehículos giren o entren en un ángulo diferente del recto, ya que esto podría generar errores en el conteo (duplicidad del conteo). También es importante que la manguera no esté colocada en lugares donde la fricción entre los neumáticos de los vehículos y la manguera sea significativamente alta o en lugares que puedan generarse errores típicos de conteos; estos pueden ser, zonas de frenado o aceleración repentina, zonas de parqueo o estacionamiento (fijos o momentáneos), cercanías de semáforos o peajes, entre otros. Los contadores automáticos tienen algunas limitaciones, por ejemplo en cuanto al número de carriles de aforo en simultáneo (4 máximo), el paso en paralelo de

vehículos produce reiterados errores ya que la cantidad contada de vehículos será inferior a la real. Por otro lado, los vehículos de 3 o 4 ejes generarán un conteo superior, por lo tanto también se debe ser cuidadoso con el tipo de vehículos esperados para el conteo. Además, este tipo de contadores es sensible al vandalismo y solo se puede usar en caminos con una superficie de rodadura plana. En definitiva, los contadores automáticos requieren calibración, cada uno dependiendo del método que utilicen para contar. (Box, 1985)

En el caso puntual de las intersecciones, se requiere aforar detalladamente los giros o movimientos direccionales existentes. También es comúnmente necesario obtener, los datos sobre la composición vehicular y el comportamiento de los peatones; sobre todo cuando estos últimos representen flujos importantes en la intersección. (Box, 1985)

#### **Demoras en intersecciones.**

Cualquier estudio de demoras en intersecciones se realiza con el fin de evaluar el comportamiento de un vehículo cualquiera al cruzar o cambiar de dirección por medio de esta. Principalmente, el interés está en evaluar la eficiencia del control de tránsito que se encuentra implementado en la intersección. El estudio de demoras tiene como aplicaciones las siguientes. (Box, 1985)

- Evaluar la eficiencia de los dispositivos de control de tránsito en la intersección, y los lineamientos que se siguen para carriles especiales.
- Poder desarrollar la programación adecuada si la intersección está controlada por semáforos.
- Determinar si la intersección necesita ser controlada por semáforos.
- Calcular los costos por demoras, para todo tipo de análisis de costos y mejoras.
- Evaluación de la geometría de la intersección.

- Complemento de estudios de tránsito que involucren flujos dentro de la intersección.

Se puede definir la demora como el tiempo invertido en un recorrido, por ficciones de tránsito, congestión, dispositivos de control; comúnmente expresado en minutos. Es necesario también realizar los estudios de demoras en las intersecciones durante los períodos de mayor congestionamiento. Si bien, las demoras importantes se dan durante los períodos de mayor demanda en la intersección, es necesario comparar con los tiempos registrados durante períodos fuera de la máxima demanda con el fin de comparar ambos escenarios. Adicionalmente, los estudios se deben realizar en días comunes del año y bajo condiciones atmosféricas normales, esto con el fin de evaluar el escenario más común y al mismo tiempo real de las demoras en la intersección. (Box, 1985)

#### **Aspectos de diseño y caracterización del trazado.**

Durante el proceso de diseño geométrico, se debe caracterizar el trazado y definir la estructura de la vía. Es necesario, al diseñar cualquier estructura vial considerar los parámetros fundamentales; tanto para la creación de una nueva vía o cuando se plantea realizar una mejora en el sistema vial. Estos parámetros son: Características Humanas o del usuario (características que le permiten al usuario actuar en el sistema vial como la visión, aspectos psicológicos, tiempos de reacción y percepción, entre otros), Características de los vehículos (elementos constitutivos del vehículo como son las dimensiones de los vehículos y características operacionales que definan parámetros de diseño como potencia, velocidad, radio de giro, entre otras), Características de Diseño (parámetros que definen la geometría de la vía como la sección transversal, la velocidad de diseño, distancia de visibilidad, distancia de parada, nivel de servicio, entre otras). (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

### **Velocidad de diseño.**

La velocidad de diseño, es un parámetro fundamental para el diseño de una vía; se lo define como aquella velocidad máxima a la que los vehículos transitan con seguridad. Esta velocidad, siempre está definida para condiciones atmosféricas y meteorológicas propicias. La velocidad de diseño, se determina por diferentes factores como son las condiciones físicas/topográficas, el volumen de tránsito, el uso del suelo, entre otras. Siempre se elige la velocidad de circulación tan alta como lo permitan las condiciones y al mismo tiempo que otorgue la mayor seguridad y eficiencia en cuanto a la movilidad se refiere. Es sumamente importante la velocidad de diseño para una vía puesto que en base a esta, se definen los parámetros geométricos que se deben emplear tanto de alineación vertical, como de horizontal. Por otro lado, la velocidad de diseño también resulta importante al diseñar la señalización de la vía, los controles de tráfico, el lugar de las paradas del transporte público, entre muchos otros elementos de la misma. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Al momento de elegir la velocidad de diseño, existen tres ejes fundamentales para dicha elección. Dichos ejes proveen los lineamientos y las limitaciones a las que debe estar sujeta la elección de la velocidad de diseño. Estos conceptos se detallan a continuación. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Conformación general del terreno: la velocidad de diseño es naturalmente mayor en terrenos llanos contrapuesta a una reducción de la velocidad de diseño en terrenos montañosos o bastante ondulados. Por otro lado, se debe tomar en cuenta si la vía es parte de una zona urbana donde la velocidad será significativamente menor que en zonas rurales y alejadas de lugares poblados.

La particularidad del conductor: definitivamente la velocidad a la que conduce su vehículo el usuario promedio del sistema vial, depende de las limitaciones que encuentra

en el lugar donde transita. El conductor por lo general reacciona a las condiciones y las necesidades momentáneas de su transitar. Cuando puede circular a una velocidad alta dado que no existe ninguna limitante, lo hace; pero cuando advierte algún peligro o necesidad del momento baja la velocidad. Por lo tanto, es evidente que la elección del conductor responde a estímulos instintivos. En este sentido, se debe tomar en cuenta esta particularidad de la reacción del conductor para adoptarse la velocidad de diseño

El factor económico: se debe tomar en cuenta las variaciones en los costos para los usuarios que puede significar operar a velocidades elevadas o viceversa. En definitiva, se debe tomar en cuenta el impacto económico que tendrá en el usuario el diseño a determinada velocidad.

Relación entre la velocidad de diseño y de circulación.

La velocidad a la que los vehículos circulan por el sistema vial, es la velocidad real a la que se desplazan los mismos, definida como la distancia recorrida en un tramo para el tiempo que le toma al vehículo dicho desplazamiento. Si se generaliza esta idea, se puede inducir que la suma de las distancias recorridas por un grupo de vehículos, divididas para el tiempo que les tomó a estos lograr este desplazamiento, se puede definir como la velocidad de circulación del tramo vial analizado. Por otro lado, la velocidad de circulación es un indicador apropiado de la calidad y nivel de servicio que ofrece la vía al usuario. En este sentido es sumamente importante conocer la velocidad real de circulación de los vehículos para diferentes volúmenes de tránsito, puesto que varía sustancialmente la velocidad de circulación en dependencia del volumen de tránsito. Por tanto, al medir la velocidad de circulación, se debe conocer su correspondiente momento del día y el volumen asociado. Se usa la velocidad de circulación durante horas de máxima demanda o a cualquier otra hora para diseño y operación, mientras que se usa el promedio de

velocidades de circulación durante todo el día para realizar análisis económicos. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Desde una perspectiva del diseño, es fundamental conocer la velocidad de circulación aproximada de los vehículos que se espera transiten el tramo diseñado, idealmente para diferentes volúmenes de tránsito. En la tabla a continuación y su gráfica correspondiente, se evidencia la relación general entre la velocidad de circulación y la velocidad de diseño para diferentes volúmenes de tránsito asociados. En definitiva, se puede observar que a medida que se incrementa la velocidad de diseño y el volumen de tránsito se incrementa también; la velocidad de circulación disminuye debido a la congestión e interacciones que se producen entre los vehículos. Se puede observar también que cuando el volumen de tránsito supera un nivel aceptable como el intermedio, la velocidad de diseño disminuye aceleradamente y se puede prever este comportamiento aún más extremo mientras se intensifique el tránsito y consecuentemente sea mayor la saturación. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

A continuación, se muestran las curvas típicas que relacionan el flujo, la velocidad y la densidad. Para las relaciones Flujo-Densidad y Flujo-Velocidad, se observa una tendencia similar. A medida que la densidad y la velocidad se incrementan, ocurre lo mismo con el flujo hasta llegar a la cúspide de la curva. El punto cúspide de la curva representa los valores críticos o límites tanto para la densidad así como la velocidad; a partir de este punto, a medida que la densidad y la velocidad continúen incrementando, el flujo será menor. Para la relación Velocidad-Densidad, la dinámica es muy diferente ya que a medida que la velocidad aumenta, la densidad disminuye y viceversa.

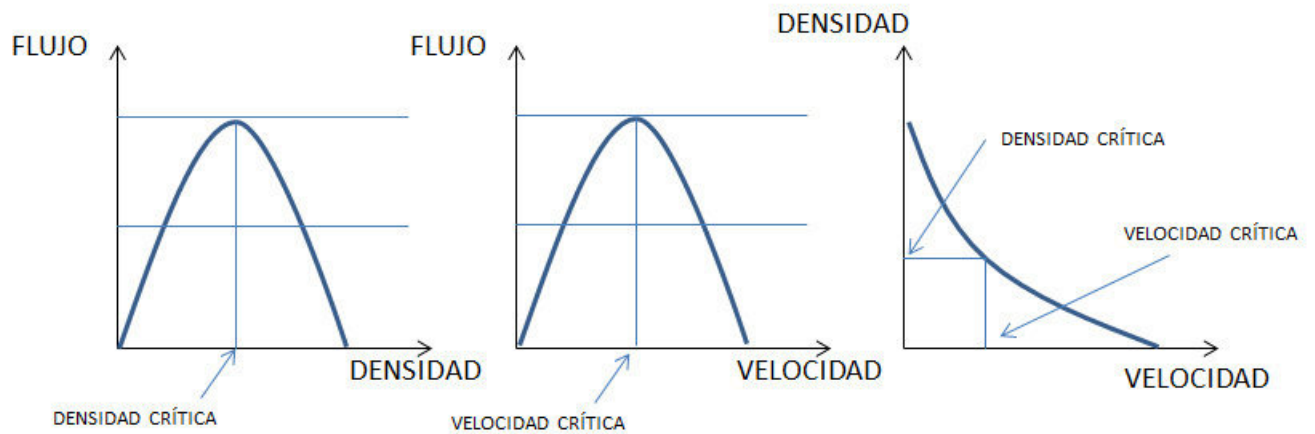


Figura 4. Curvas típicas de relación Volumen-Velocidad-Densidad.

En definitiva, no se puede pensar en la velocidad de diseño para volúmenes altos de tránsito ya que sería muy baja para efectos de diseño. Toda vía debe tener su diseño para cuando los volúmenes de tránsito sean bajos, según este volumen de tránsito se diseñan elementos como el peralte, las curvas en intersecciones, carriles de cambio de velocidad, entre otros elementos importantes. Las velocidades de circulación para volúmenes bajos se usan para calcular aspectos fundamentales como son la distancia de visibilidad de parada, mientras que la velocidad de circulación para volúmenes intermedios tiene su uso fundamental en cuanto al cálculo de distancia de rebasamiento entre los vehículos. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003) (AASHTO, 2011)

Tabla 3. Relación entre Velocidad de Circulación y Diseño, en diferentes volúmenes de Tránsito. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

VELOCIDAD DE DISEÑO EN KM/H	VELOCIDAD DE CIRCULACIÓN EN KM/H		
	VOLUMEN DE TRÁNSITO BAJO	VOLUMEN DE TRÁNSITO INTERMEDIO	VOLUMEN DE TRÁNSITO ALTO
25	24	23	22
30	28	27	26
40	37	35	34
50	46	44	42
60	55	51	48
70	63	59	55
80	71	66	57
90	79	73	59
100	86	79	60
110	92	85	61

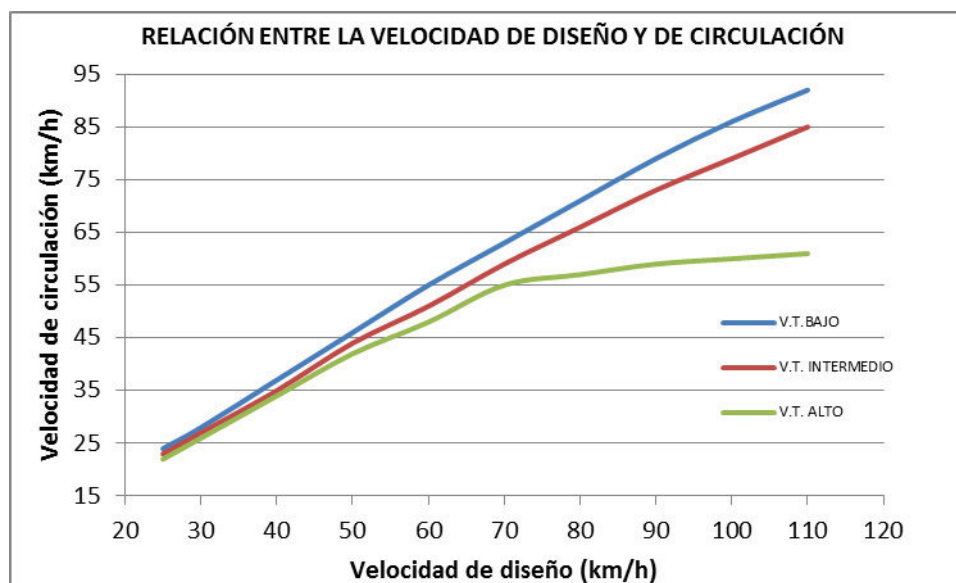


Figura 5. Relación entre velocidad de diseño y de circulación, en diferentes volúmenes de Tránsito. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

### Vehículo de diseño.

Un factor clave en el diseño de la geometría de cualquier vía, son las características físicas y operacionales de los vehículos que transitarán por ésta. Si bien, existe una



variedad inmensa de vehículos en cuanto a su tamaño, funcionamiento y todo tipo de características, no se puede diseñar para absolutamente todos estos tipos de vehículos al mismo tiempo. Esta razón lleva a que se debe agrupar los vehículos de acuerdo a su tamaño, tipo, entre otras características generales que permita definir vehículos representativos para el proyecto. A estos se los conoce como vehículos de diseño y tienen la característica que, para el propósito de diseño, cuentan tanto con un radio de giro así como una longitud mayor que la mayoría de vehículos de su grupo o clase. (AASHTO, 2011)

Se definen para fines de diseño dos tipos generales de vehículos del proyecto, uno ligero o liviano y los vehículos pesados (camiones y autobuses). Las principales características que se buscan detallar al respecto son el radio mínimo de giro, también las que limitan los sobrecanchos o ampliaciones en curvas, como la distancia entre ejes, entre otras. El vehículo de diseño debe seleccionarse de tal manera que sea significativo en cuanto a la composición en volumen de vehículos que se espera transiten por el proyecto. Cada vehículo de diseño debe tomar en cuenta las dimensiones más grandes y el radio mínimo de los vehículos en su clase. (AASHTO, 2011)

En el caso puntual de intersecciones, hay que considerar todo tipo de vehículos que transitan. Es necesario considerar las líneas de buses que pasan por la intersección diseñada, además de la cantidad importante de vehículos livianos que representa el componente más importante del flujo vehicular urbano. Otros vehículos son importantes como los buses escolares, camiones pequeños, entre otros. (AASHTO, 2011)

A continuación, la tabla presentada en el Manual de Diseño geométrico vigente para Ecuador donde se detallan las dimensiones y pesos de camiones y buses; a considerarse para fines de diseño, según consta en el manual y que en definitiva guarda coherencia con lo propuesto en tablas similares de AASHTO.

Tabla 4. Resumen de los pesos y dimensiones de buses y camiones, vigentes para Ecuador. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

DIMENSIONES DE CAMIONES Y BUSES	PROYECTO DE REFORMA SEGUN MOP	VIGENTES MOP
Ancho camión	2.60 m	2.60 m
Ancho bus	2.60 m	2.60 m
Alto camión	4.10 m	4.10 m *
Alto bus	4.10 m	4.10 m
Largo Camión rígido (1,2 o 3 ejes en el semiremolque)	11,50 m (con 2 ejes ) 12,20 m (con 3 ejes)	12.00 m
Largo tracto camión +semiremolque(1,2,3 ejes) en el semiremolque)	17,50m (2S1; 2S2,2S3,3S1) 18,3 m(3S2,3S3)	18,00(3S2 y 3S3) *
Largo semiremolque	9,0 m (1 eje) 12,3 m(2 ejes) 13,0 m(3 ejes)	9.0 (1 EJE) 12.3 (2 EJES) * 13.0 (3 EJES)
Largo remolque	10,00 m	10.00 m.
Largo camión + remolque	18,30 m	18:30 m.
Largo tracto camión + semiremolque + remolque	18,30 m	18.3 m.
Largo bus larga distancia	Convencional 13,3m Semi integral 15,0 m hasta con 3 ejes Integral 15,0m hasta 4 ejes direccionales	
Largo bus articulado	18,3m	-
Largo bus urbano/suburbano	-	-
Ancho vehículos especiales	-	-
Alto Vehículos especiales	-	-
Largo de vehículos especiales (1)	21	21 *
Separación para ejes compuestos	-	min 1.2m max. 1.6m
<b>PESOS CAMIONES</b>		
Eje trasero simple rodado simple (2r)	6,00t	6,00t
Eje trasero simple rodado doble ( 1r)	11,00t	12,00t
Eje trasero doble rodado simple ( 4r)	12,00t	12,00t
Eje trasero doble rodado simple y doble ( 6r)	15,50t	
Eje trasero doble rodado doble (8r)	19,00t	20,00t
Eje trasero triple rodado simple ( 6r)	18,00t	-
Eje trasero triple 1 rodado simple y 2 dobles (10r)	24,00t	-
Eje trasero triple 3 rodados dobles (12r)	24,00t	24,00t
Peso Bruto Total admitido	48,00	46,00t *
Tolerancias de pesos	500 Kg. para eje delantero y 1000 Kg para cualquiera de los ejes posteriores No existe tolerancia para el P.B.V.	-
Relación potencia de pesos	6,5 IIP/t	8IIP/t y 6,5IIP/t

\* En estudio el cambio de valores

### Nivel de servicio.

El nivel de servicio de una vía, caracteriza las condiciones de operación de ésta en términos del desempeño del flujo en medidas relacionadas con la velocidad, el tiempo de viaje, las demoras, la libertad de maniobrar, interrupciones en el tráfico, entre otras. El HCM (por sus siglas en inglés, “HighwayCapacity Manual”) define niveles de servicio desde un nivel de flujo libre (A), hasta un nivel de mucha congestión (F). En la tabla a continuación se muestra las condiciones generales que representan cada nivel de servicio. (AASHTO, 2011)

Tabla 5. Definición de niveles de servicio (A-F), según HCM. (AASHTO, 2011)

<b>Nivel de Servicio</b>	<b>Condiciones Generales de operación</b>
A	Flujo libre
B	Flujo razonablemente libre
C	Flujo estable
D	Flujo cercano al inestable
E	Flujo inestable
F	Flujo Forzado o colapsado

Cabe mencionar que el límite entre cada nivel de servicio, es determinado subjetivamente. Más aún el HCM, no proporciona ninguna recomendación para la elección del nivel de servicio apropiado, esta elección queda abierta a la elección del diseñador. Esta elección debe basarse en una relación entre el grado de congestión y el nivel de servicio requerido, además se debería otorgar a una vía un nivel de servicio tan elevado como sea práctico y conveniente en cuanto a las condiciones lo permitan. Por ejemplo, en áreas urbanas muy desarrolladas, las condiciones pueden hacer que se adopte un grado de servicio D, pero dicho nivel se debe usar solamente en casos especiales, por lo general se debe buscar al menos un nivel C de servicio. A continuación se muestra una guía para la elección de los niveles de servicio para el diseño, exclusivamente para zonas urbanas y suburbanas que es el ámbito que compete al presente estudio. (AASHTO, 2011)

Tabla 6. Guía para seleccionar el nivel de servicio para diseño. (AASHTO, 2011)

<b>Clasificación funcional</b>	<b>Urbano y sub urbano</b>
Autopista	C o D
Arteria	C o D
Colectora	D
Local	D

Una vez que se ha seleccionado un nivel de servicio para la vía a ser diseñada, se debe procurar que todos los elementos de la vía sean diseñados consistentemente para lograr que el flujo sea consecuente con el nivel de diseño requerido. En definitiva esta

consistencia, provee en casi todos los casos; una movilidad sostenida, una velocidad aceptable de operación y se puede eliminar las interrupciones del tráfico por generarse cuellos de botella. Cuando se piensa en el diseño de una intersección, intercambiador, arteria, autopista; la elección del nivel de servicio debe ser realizada con mucha precaución ya que de ésta depende la correcta operación del tráfico. (AASHTO, 2011)

### **Intersecciones.**

Una intersección está definida como el punto en el sistema vial donde convergen o se unen dos o más vías. En esta definición están reconocidos también los bordes de las vías y los movimientos de tráfico en toda el área que compone la intersección. Si bien es la intersección más común aquella donde convergen dos vías que se cruzan (con cuatro ramales), existen aquellas donde convergen una mayor cantidad de vías siendo este un escenario poco recomendable. En general se reconocen dos tipos de intersecciones; a nivel y a desnivel (incluyendo en este último los intercambiadores). (AASHTO, 2011)

Genera siempre disyuntiva elegir entre una intersección a nivel y a desnivel, al diseñar o rediseñar una intersección. Existen ciertos parámetros que diferencian los casos en los que se necesita una intersección de ambos tipos, la mayoría de criterios están basados en el volumen de vehículos esperados en la intersección. Al respecto de esto, a continuación se presenta una gráfica propuesta por el manual de “Normas de Diseño Geométrico” para seleccionar el tipo de intersección a ser elegida en base al T.P.D.A futuro de dos vías que convergen en la intersección (vía principal y secundaria).

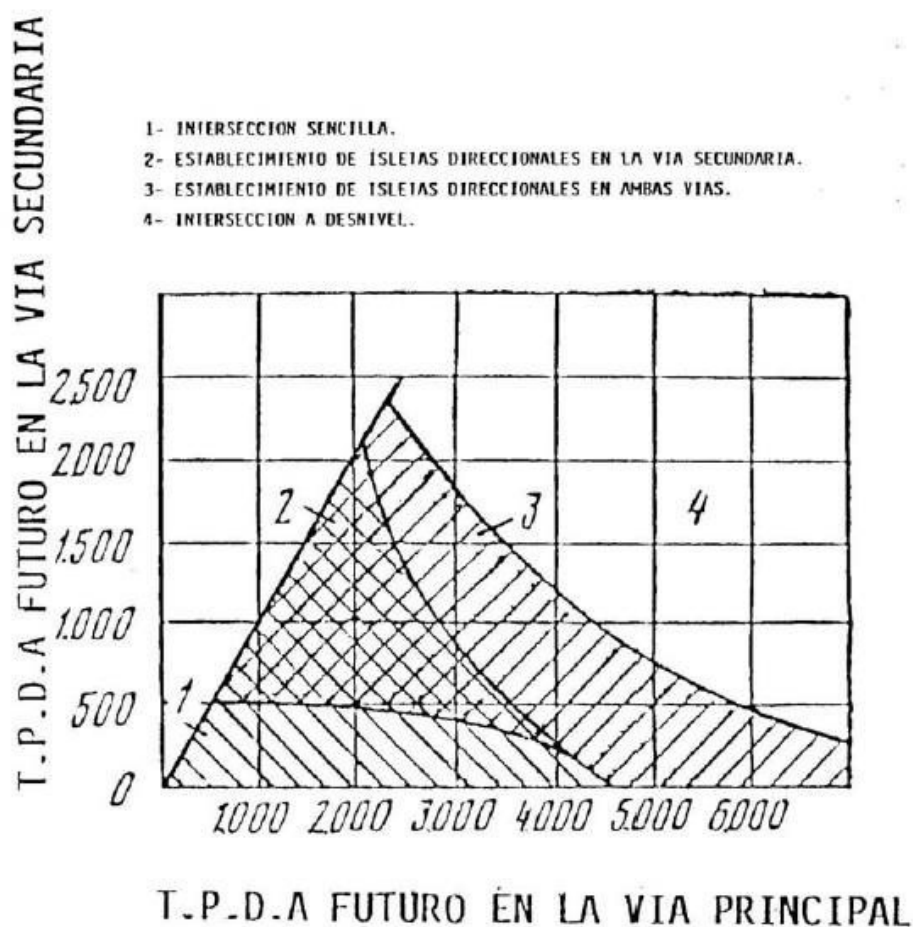


Figura 6. Esquema para la elección del tipo de intersección en base al T.P.D.A. futuro. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Los objetivos del diseño de una intersección, son facilitar la movilidad, el confort de los usuarios en la intersección o al pasar por esta. Se deben distinguir 4 elementos básicos para satisfacer con el diseño. (AASHTO, 2011)

- Factor Humano: hábitos de manejo, habilidad para tomar decisiones, la expectativa, tiempo de reacción, la actividad y hábitos de peatones y ciclistas.
- Consideraciones de Tráfico: clasificación de las calles que forman la intersección, el diseño y la capacidad, los movimientos y giros que se realizan durante la hora de diseño, el tamaño y las características de

operatividad de los vehículos, la variedad de movimientos previstos para la intersección, la velocidad de los vehículos, la información histórica de accidentes, movimientos y giros de peatones y ciclistas.

- Los elementos físicos: Las características del uso del suelo en las propiedades en los alrededores de la intersección, la distancia de visibilidad, los ángulos de intersección, el área de conflicto, los carriles de cambio de velocidad, las características de diseño geométrico, los elementos de control de tráfico, las características del diseño de los bordes de la vía, factores ambientales, entre otros.
- Factores económicos: costo de la mejora, los efectos de ciertas restricciones o control de tráfico en las propiedades adyacentes a la intersección, el consumo energético.

A continuación se presenta una tabla adecuada para clasificar los niveles de servicio en una intersección que presente algún tipo de control y/o señalización. Se definen rangos de aceptación basados, en cuanto al control de las demoras se refiere y las condiciones de la intersección desde la perspectiva del volumen que puede manejar.

Tabla 7. Definición de los niveles de servicio para intersecciones controladas. (AASHTO, 2011)

Nivel de Servicio	Condiciones de la intersección
A	Muy pocas demoras y la mayoría de vehículos no se detiene como resultado de una progresión favorable, llegada de la mayoría de vehículos durante la fase verde y ciclos de corta duración.
B	Pequeñas demoras y muchos vehículos no paran o paran durante un corto período de tiempo, como resultado de un ciclo de corta duración y buena progresión.
C	Demoras moderadas, muchos vehículos se detienen y los ciclos fallan ocasionalmente como resultado de ciclos de mayor duración y una progresión razonable.
D	Demoras de mayor duración, muchos vehículos se detienen, un número significativo de ciclos fallan, elevada razón volumen/capacidad, progresión desfavorable
E	Demoras de gran duración, fallas de ciclos individuales frecuentes como resultado de cualquiera de los siguientes: ciclos de larga duración o alta razón volumen/capacidad, baja progresión
F	Demoras consideradas inaceptables para la mayoría de usuarios, la capacidad de la intersección se ve superada dada la llegada de un volumen muy superior y se prolonga durante largos períodos.

### **Intersecciones a nivel.**

Las intersecciones a nivel están seguramente entre los elementos del sistema vial de mayor complejidad. Las intersecciones son los puntos de mayor congestión y tráfico conflictivo. Los métodos de control de tráfico presentes en las intersecciones requieren que los usuarios disminuyan su velocidad o se detengan, al mismo tiempo que por lo general las intersecciones son elementos del sistema vial con menor capacidad comparadas con otros elementos del mismo. Desde una perspectiva de los usuarios, el diseño de una intersección debe satisfacer las necesidades de todos los grupos de usuarios de la misma, de una manera que encuentre un balance entre movilidad, el medio ambiente, la estética de la zona, las necesidades de la comunidad, entre otras. (AASHTO, 2011)

En las intersecciones a nivel, las condiciones de tránsito de los vehículos que vienen de sus ramales con una dirección recta; se ven sustancialmente disminuidas por las maniobras de otros vehículos y las diferentes trayectorias que estos toman al encontrarse en una intersección. Estas múltiples maniobras de giro entre ramales de las intersecciones provocan interferencias en el tránsito, derivando en demoras y generando puntos de conflicto dentro de las intersecciones. Los puntos conflictivos dentro de las intersecciones son sumamente importantes dado que la mayoría de accidentes y colisiones se dan precisamente en ellos. Si bien los giros a la derecha desde cualquier ramal resultan peligrosos, seguramente los giros a la izquierda son aún más peligrosos y propensos a accidentes de tránsito. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Las intersecciones incluyen todas las áreas necesarias para la movilidad de peatones, ciclistas, y vehículos en general. Entonces, la intersección está formada por la vía, las veredas, veredas, rampas de acceso de peatones, etc. En definitiva existen cuatro factores en cuanto al diseño que se deben considerar. El primero es que las intersecciones son un centro de actividad y concentran múltiples trayectorias de viajes. También son el lugar donde existen variados movimientos conflictivos en cuanto a ciclistas y peatones que cruzan o cambian de dirección. El tercer factor es que existen métodos de control del tráfico propios de las intersecciones que generan demoras a los usuarios. El último factor es una significativa reducción de capacidad comparada con la capacidad de las vías que convergen en la intersección. (AASHTO, 2011)

El área funcional que comprende una intersección, está definida tanto por su parte física o área física, así como su parte funcional correspondiente a las zonas de aproximamiento sobre las vías que llegan a la intersección. Por tanto, esta zona de aproximamiento tiene 3 partes fundamentales, el área próxima a la intersección donde se forman las colas, la distancia de maniobra y finalmente la distancia de percepción, reacción



y decisión (las tres en orden desde el punto más cercano a la intersección hacia atrás).

(AASHTO, 2011)

Los tipos de intersecciones básicos son los que consisten de tres vías convergentes, de cuatro, de múltiples y los redondeles modernos (hasta hace algunos años denominados círculos o rotondas). Después, cada uno de estos puede subdividirse en variaciones que tienen que ver con la canalización de ciertos carriles o bien si no están canalizados, entre otros casos especiales. Cada intersección se caracteriza por su tipo de acuerdo al número de vías que se convergen primeramente, la topografía, la clasificación de las vías que la componen, los volúmenes de tráfico y la operatividad a la que se desea funcione.

(AASHTO, 2011)

#### **Intersecciones a desnivel.**

Las vías que tienen un volumen de vehículos muy alto y constante, requiere muchas veces que se eliminen interferencias al flujo al encontrarse con otras vías. Por definición, un intercambiador o una intersección a desnivel es aquella que modifica la estructura de la vía, creando dos o más niveles de desplazamientos; separando los movimientos de vehículos, peatones, ciclistas y sus giros, evitando el conflicto que puede existir al cruzarse sus trayectorias. En definitiva, una intersección a desnivel tiene la gran ventaja sobre las intersecciones a nivel, que otorga la posibilidad de dar continuidad a flujos en la intersección, sin disminuir su velocidad y/o perder el tiempo en esperas.

(T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Es innegable que las intersecciones a desnivel resultan en mejores soluciones para intersecciones conflictivas, siempre desde el punto de vista de la seguridad, eficiencia y confort para el usuario. Al mismo tiempo, se debe reconocer que no en todos los casos existen las condiciones que justifican la implementación de una intersección a desnivel. Por un lado, está la limitante del alto costo que genera implementar una intersección de

este tipo, si bien este aspecto es fundamental; existen otros aspectos como son regulaciones urbanas, el tiempo que demoraría implementar una intersección de este tipo, la gran superficie que ocupa, entre otras. En definitiva, se reconocen ciertas condiciones que podrían ser suficientes, para justificar el diseño e implementación de intersecciones a nivel. Estas condiciones podrían ser intersecciones entre vías importantes, la eliminación de áreas peligrosas para los usuarios, cuando las condiciones topográficas así lo requieran, cuando el volumen de tránsito es sumamente elevado (condición más efectiva para establecer la necesidad de dichas intersecciones), las demoras son significativamente altas, en cruces entre caminos urbanos y rurales. (T.A.M.S. – ASTEC, 2003)

Los tipos de intercambiadores o intersecciones a desnivel, varían desde una rampa que conecta una vía local con autopistas, hasta diseños mucho más complejos de múltiples niveles. Los tipos de intersección a desnivel son muy variados y dependen finalmente de las condiciones propias de la intersección que se necesita dar solución. Los más comunes son los intercambiadores tipo trompeta, diamante, trébol (parcial, completo, etc), direccional, entre otras variantes. (AASHTO, 2011)

### **Redondeles.**

En esta sección se han separado los redondeles modernos o solo redondeles, por su importancia en el presente estudio dado que la intersección del proyecto se supone tiene el funcionamiento de un redondel. Los redondeles son intersecciones a nivel, que tienen en su centro una isleta circular alrededor de la cual los vehículos deben circular contra-reloj y el tráfico entrante a la intersección debe ceder el paso. Los redondeles solo son un tipo de intersección de forma circular, de hecho existen otros muchos tipos que por lo general se los clasifican como redondeles y no cumplen con las características necesarias. Entre estos están los rotarios que son antiguas estructuras ovoides o circulares de un diámetro muy grande (a veces mayor a 100 metros), después están las intersecciones circulares con

señales de tránsito y semaforización, finalmente las intersecciones circulares de urbanizaciones que carecen de diseño geométrico apropiado para ser considerados redondeles y que cumplen otras funciones (ej: estético). (NCHRP, 2010)

Los redondeles modernos han resultado mucho más eficientes que aquellos anteriormente mencionados. Para términos de clasificación se puede dividir los redondeles modernos en tres tipos: Mini-redondeles, Redondeles de un carril y Redondeles de múltiples carriles. Esta clasificación es independiente de la localización del redondel y son aplicables tanto en zonas urbanas como rurales. La tabla a continuación presenta características de diseño comparativas entre dichos tipos de redondeles. (NCHRP, 2010)

Tabla 8. Comparación de características de los tipos de redondeles. (AASHTO, 2011)

<b>Elementos de Diseño del redondel</b>	<b>Mini-Redondel</b>	<b>Redondel de un Carril</b>	<b>Redondel de múltiples Carriles</b>
Máxima velocidad de diseño de entrada (recomendada)	25-30 km/h	30-40 km/h	40-50 km/h
Máximo número de carriles de aproximación por ramal	1	1	2+
Radio típico del círculo inscrito	13-27 m	27-46 m	40-76 m
Configuración de la isleta central	atravesable	elevado	elevado
Volumenes diarios de los 4 ramales de entrada (veh/día)	0-15.000	0-20.000	20.000+

#### Mini-Redondeles.

Los redondeles más pequeños o Mini-Redondeles, tiene la particularidad de que se usan casi sin excepción en zonas urbanas de baja velocidad (50 km/h o menos). La isleta central es diseñada para que se la pueda atravesar. Estos redondeles tienen su mayor uso cuando los diseños convencionales de redondeles no aplican a causa de la limitación del derecho de vía. Por otro lado, su aplicación implica un gasto de recursos mínimo ya que casi no existen modificaciones a la intersección en términos de construcción de nuevos elementos. Dado que son pequeños, los Mini-Redondeles tienen prestaciones favorables

para los peatones gracias a las cortas distancias de cruce de vía y las bajas velocidades de los vehículos que se aproximan a la intersección. (NCHRP, 2010)

El Anexo A.1, contiene las características típicas en cuanto a configuración y aspectos de diseño del Mini-Redondel según NCHRP. La isleta central tiene la característica de poder ser atravesada dado que este tipo de redondeles no están diseñados para vehículos grandes, mismos que pueden perfectamente cruzar la isleta al pasar la intersección. Por otro lado, los vehículos livianos no tienen necesidad de atravesar la isleta ya que el vehículo de diseño de la intersección toma en cuenta la dimensión de dichos vehículos. (NCHRP, 2010)

#### Redondeles de un Carril.

La característica fundamental de este tipo de redondel es que tiene solamente un carril de entrada por todos sus ramales, adicionalmente solo tiene un carril interno en el redondel para la circulación. En el Anexo A.2, se muestran las características típicas en cuanto a configuración y aspectos de diseño del Redondel de un solo carril según NCHRP. Se diferencian estos de los Mini-Redondeles fundamentalmente en las características del círculo inscrito, dado que el diámetro es considerablemente mayor al mismo tiempo que la isleta central no posee la característica de ser atravesada; por el contrario tiene cierta elevación que lo impide. Por otro lado, su capacidad comparada con los Mini-Redondeles es mayor y lo mismo ocurre con la velocidad aceptada para su funcionamiento. Las dimensiones del redondel y de sus partes constituyentes dependen del vehículo de diseño y del derecho de vía. (NCHRP, 2010)

#### Redondeles de Múltiples Carriles.

Siguiendo la misma perspectiva que se usó para la descripción de los redondeles predecesores, la característica fundamental para clasificar una intersección como redondel de múltiples carriles es cuando al menos una o varias entradas tienen dos o más carriles.

Dependiendo del caso y de las características propias de la intersección, los redondeles de este tipo pueden tener diferente número de carriles en cada entrada (por ejemplo intersecciones formadas por vías principales de dos o tres carriles y una vía secundaria de un carril o dos). Estos redondeles requieren mayor espacio para la circulación interna dado que debe poder ser capaz de aceptar más de dos vehículos circulando paralelamente. En los Anexos A.3 y A.4, se muestran las características típicas en cuanto a configuración y aspectos de redondeles de múltiples carriles (2 y 3) según NCHRP. Las características en cuanto a la velocidad de entrada y velocidad durante la circulación interna en el redondel, son muy similares (incluso un poco superiores) a las descritas para las intersecciones de un solo carril. El diseño incluye la isleta central elevada y no posee la característica de poder ser traspasada, las deflexiones necesarias para los carriles de entrada, entre las más importantes. (NCHRP, 2010)

### **Señalización y dispositivos de control de tránsito.**

Dentro del sistema vial, convergen los elementos ya mencionados que lo constituyen y al mismo tiempo se relacionan en una dinámica muy compleja. En este sentido, desde los inicios del sistema vial, fue necesario utilizar diferentes dispositivos de control de tránsito para logra que esta interacción resulte lo más eficiente y segura posible. Para ello, justamente se desarrolló un lenguaje común a todos los usuarios por el cual, éstos puedan recibir información suficiente y a tiempo para lograr usar adecuadamente en el sistema vial. Este lenguaje, si bien no es común en todas partes del mundo, se realizan esfuerzos por su unificación. Así mismo, en cuestión de una población específica, es necesario que esta información sea tan homogénea como sea posible, ya que de esta manera, la señalización común a todos los usuarios del sistema vial deriva en menores tiempos de respuesta a la información proporcionada. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

Es parte de las responsabilidades del diseñador de una vía o un tramo de la misma, determinar la necesidad y las características de los dispositivos de control complementarios del diseño. Es necesario que se consideren cuatro factores importantes para asegurar la efectividad de la señalización y los dispositivos de control. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

**Diseño:** la configuración y características de los dispositivos como el tamaño, forma, color, entre otras; deben permitir al usuario recibir claramente la información y de manera sencilla.

**Ubicación:** el lugar donde se encuentra el dispositivo es clave para la recepción de la información por parte del usuario. Debe llamar la atención del usuario, colocado a una distancia dada que permita una rápida visualización y a tiempo para poder tomar una decisión.

**Uniformidad:** los dispositivos deben tener el mismo diseño, colores, tamaño; en definitiva las características deben ser iguales para que su interpretación sea igual y evitar ambigüedad.

**Mantenimiento:** la conservación es sumamente importante para que el dispositivo cumpla su función, en definitiva deben estar siempre legibles y limpios.

### **Clasificación de los dispositivos de control.**

Parte fundamental del funcionamiento de cualquier vía y en especial de las intersecciones depende en gran parte de cuán adecuado resulte la información recibida de las señales de tránsito y dispositivos de control. Estas pueden dividirse en señales verticales y horizontales. Dentro de las verticales se encuentran las preventivas, restrictivas, informativas, señales diversas. Por otro lado las señales horizontales son todo tipo de información (delimitación, carriles exclusivos, giros permitidos, etc.) en formas de rayas, marcas y botones. Las características que deben tener estas señales en Ecuador; se

encuentran especificadas en las normas técnicas ecuatorianas RTE INEN 004-1:2011 y RTE INEN 004-2:2011, para las señales verticales así como las horizontales respectivamente. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

Se usan las señales preventivas cuando existe una condición de peligro potencial. Se justifica cuando existen cambios en el alineamiento tanto horizontal como vertical, cuando se aproxima una intersección de cualquier tipo, en el caso de una disminución de carriles o ancho de la calzada, pendientes pronunciadas, pasos peatonales o cruces escolares, presencia de derrumbes, entre los más importantes. Las señales restrictivas fundamentalmente son necesarias cuando se debe prohibir algún movimiento del usuario. Estas se pueden subdividir en seis grupos siendo estos las señales restrictivas de derecho de paso o de vía, inspección, velocidad, circulación, prohibiciones y estacionamiento. Finalmente, las señales informativas que tienen como función guiar al usuario, se clasifican de acuerdo al tipo de información que provee; estos son, de identificación, destino, recomendación e información general, y finalmente de servicios y turísticas. (Cárdenas G. & Cal y Mayor R., 2007)

#### **Dispositivos de control del tráfico en redondeles.**

Dado que la naturaleza de la intersección en cuestión en este estudio es de tipo redondel, es necesario puntualizar sobre los dispositivos de control específicos aplicables a redondeles. En definitiva, las marcas necesarias son las horizontales que demarcan tanto carriles como sentidos de circulación, mientras que son igualmente necesarias y complementarias las señales verticales (fundamentalmente preventivas y ciertas restrictivas). Se debe en definitiva, seguir los siguientes lineamientos o principios. (NCHRP, 2010)

Los dispositivos de control son parte integral del diseño y deben ser considerados durante las primeras fases del mismo, no al final. Estas son especialmente necesarias en redondeles de múltiples carriles.

Si bien las señales horizontales y verticales son necesarias y resultan complementarias al diseño, no son éstas responsables por la seguridad tanto como el diseño geométrico.

Las señales horizontales deben ser compatibles tanto en los carriles de aproximación como dentro del redondel, al mismo tiempo que deben facilitar la elección de los carriles apropiados para el usuario; con el fin de que no se produzcan posibles conflictos al cambiar de carril dentro del redondel.

Las señales verticales y horizontales (especialmente aquellas que definen los carriles) deben ser colocadas en los carriles de aproximación con una distancia suficiente que permita tomar la decisión correcta al usuario sobre la salida del redondel que desea tomar.

El diseño debe tomar en cuenta fundamentalmente las siguientes señales horizontales o marcas sobre la calzada, tanto en los carriles de aproximación como dentro del redondel: líneas divisoras del centro de la calzada y aquellas que definen los bordes, líneas que definen los carriles, pasos peatonales y carriles de bicicletas (en el caso de ser necesarios), flechas de carril de dirección, símbolos y palabras (Parada de bus, ceda el paso, entre otras). En cuanto a las señales verticales, las fundamentales son: señales de ceda el paso, flechas de dirección, señal preventiva de la existencia de redondel (colocada sobre los carriles de aproximación), cruce peatonal e informativas de ubicación de calles. Al respecto de lo anteriormente mencionado, el Anexo A.5 muestra un conjunto de señales tanto verticales como horizontales típicas para un redondel.



### **CAPÍTULO 3: ESTUDIO DE CARACTERÍSTICAS DEL TRÁFICO**

#### **Generalidades y funcionalidad actual**

En un contexto general, la situación de la movilidad en Quito es apremiante. Ante la creciente insatisfacción por parte de los usuarios, las autoridades encargadas de la movilidad han intentado dar soluciones que en la práctica muchas veces no han dado el resultado previsto. Si bien la ciudad tiene una baja densidad poblacional comparada con otras ciudades del mundo, es característica de la población de la ciudad los largos viajes que los usuarios del sistema vial deben hacer para realizar sus actividades diarias. Por las características topográficas de la ciudad, su desarrollo ha sido longitudinal en sentido Norte-Sur y hacia los valles pero ha concentrado la inmensa mayoría sus actividades sociales y empresariales, en el centro y centro-norte de la ciudad.

La influencia que tiene la intersección del proyecto sobre la movilidad del sector es realmente importante. Si bien el área directa de influencia en cuanto a movilidad pareciera puramente local, por la zona en la que se encuentra ubicada la intersección; ésta tiene verdadera preponderancia en los flujos más importantes de la ciudad, aquellos que se dan longitudinalmente de norte a sur y viceversa. Es preciso mencionar que la intersección está compuesta por tres avenidas principales de Quito, dos longitudinales que se cruzan como son la Av. 12 de Octubre y la Av. La Coruña; mientras que la Av. Cristóbal Colón es una arteria transversal sumamente importante que termina justamente en la intersección. Las tres forman parte del grupo de avenidas más transitadas de la ciudad y convergen en uno de los puntos de mayor desarrollo tanto desde el punto de vista económico, empresarial, estudiantil e inclusive social de la ciudad.

Desde hace algunos años, la zona donde se encuentra la intersección y precisamente ésta, ha generado alta insatisfacción en los usuarios. La congestión durante largos períodos del día ha derivado en pérdidas de tiempo y demora en los viajes que incluyen la

intersección. Si bien, las avenidas que componen la intersección tienen volúmenes considerables de vehículos a lo largo del día; quizás los mayores problemas se presentan en las cercanías de la intersección al generarse colas de vehículos prolongadas y mayor ocurrencia de accidentes. Dichas colas muchas veces han producido congestión e incluso el colapso de intersecciones adyacentes, generando un problema cada vez más serio de movilidad. Consecuentemente, la calidad del servicio que ofrece la intersección y las vías convergentes ha bajado sustancialmente dado que los volúmenes de demanda superan la capacidad de las mismas.

Con un incremento significativo de los viajes longitudinales en la ciudad gracias a la expansión de la misma hacia los valles así como al norte y al sur, por otro lado, dado que la intersección se encuentra inmiscuida en una zona de alta productividad y creciente tendencia al desarrollo empresarial; los viajes durante el día y en especial a las horas concernientes a los flujos de entrada y salida de oficinas muestran una constante disminución del nivel de servicio, puntualmente en la intersección y sus alrededores. En definitiva, la zona de inmediata influencia de la intersección es cada vez más propensa a la generación de viajes intrazonales e interzonales, mientras que los cambios y mejoras en la vialidad no han podido mantenerse a la par del crecimiento de la demanda descrito anteriormente.

### **Uso de suelo e incidencia en el área de estudio**

Dentro de los aspectos más importantes para analizar el tráfico en la ciudad y puntualmente en la zona, es el uso del suelo en un área determinada que tenga influencia en la intersección. Si bien no existe una manera concreta para determinar el área de influencia a ser analizada para términos de uso del suelo, se debe tomar en cuenta las características generales de las actividades que principalmente se realizan en las cercanías;

aquellas directamente relacionadas con los viajes que se realizan desde y hacia el área inmediata a la intersección en cuestión.

Para el uso del suelo se recurre al organismo encargado de la regulación que en el caso de la ciudad es el propio Municipio del Distrito Metropolitano de Quito. El mismo organismo define al uso del suelo, en el Artículo 8 de la Segunda Sección de la ordenanza de zonificación No. 31 como, “...el destino asignado a los predios en relación con las actividades a ser desarrolladas en ellos, de acuerdo a lo que dispongan el PGDT (Plan General de Desarrollo Territorial) y el PUOS (Plan de Uso y Ocupación del Suelo) en zonas y sectores específicos determinados en el territorio del DMQ (Distrito Metropolitano de Quito).” (DMQ, 2011)

La ordenanza también define los diferentes tipos de uso de suelo para la ciudad donde encontramos diferentes categorías como uso residencial, comercial, industrial, equipamiento, ecológica, preservación patrimonial, entre muchas otras. Para términos del presente estudio, se fija un área razonable, la comprendida en un radio de 5 km con centro en la intersección, ésta se considera como área efectiva de influencia. El área descrita se puede observar en la figura 7 a continuación.

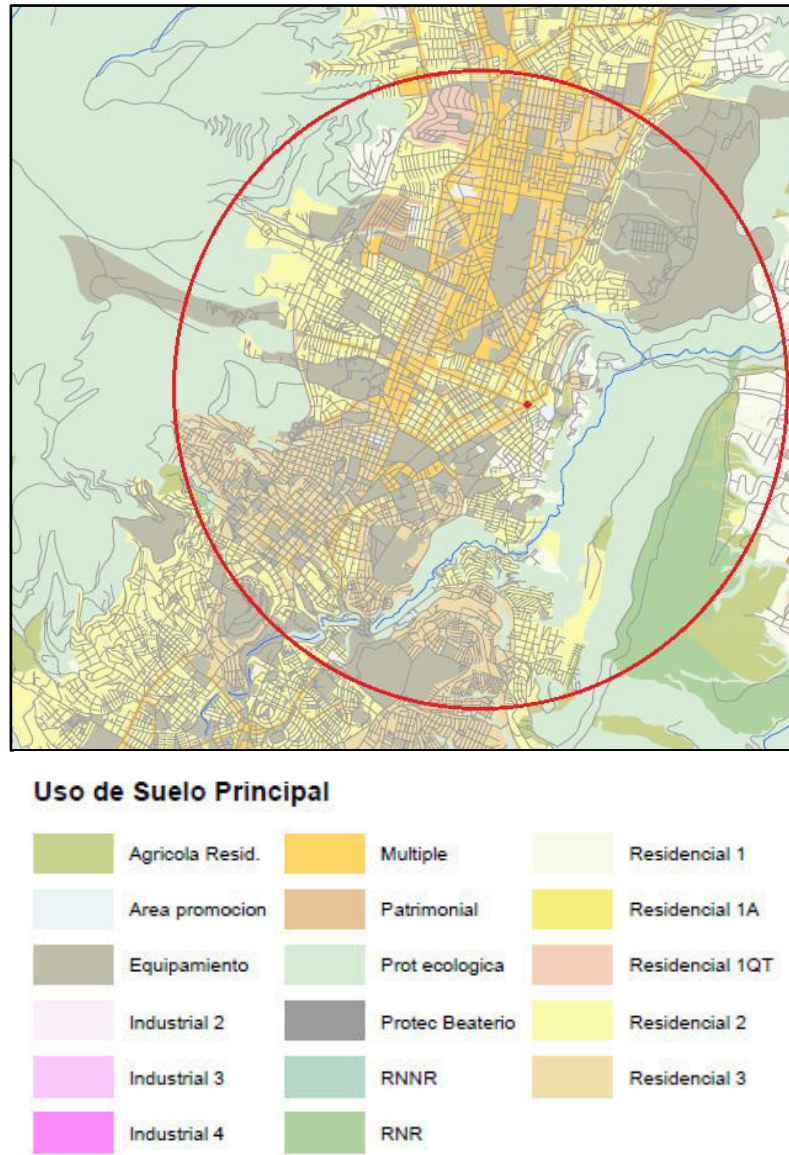


Figura 7. Área de influencia y uso de suelo. [Elaboración Propia, tomado de (PUOS, 2011)]

En este caso, los usos de suelo que son pertinentes definir para el área en cuestión son los siguientes (Se toma textualmente las definiciones según la ordenanza mencionada anteriormente).

Residencial 1: “Zonas de uso residencial en las que se permite la presencia limitada de comercios y servicios de nivel barrial y equipamientos barriales y sectoriales.” (DMQ, 2011)

Residencial 2: “Zonas de uso residencial en las que se permite comercios y servicios de nivel barrial y sectorial y equipamientos barriales, sectoriales y zonales.” (DMQ, 2011)

Residencial 3: “Zonas de uso residencial en las que se permite comercios, servicios y equipamientos de nivel barrial, sectorial y zonal.” (DMQ, 2011)

Múltiple: “Uso diversos de carácter zonal y de ciudad, compatibles.” (DMQ, 2011)

Equipamiento: “Es el destinado a actividades e instalaciones que generen bienes y servicios para satisfacer las necesidades de la población, garantizar el esparcimiento y mejorar la calidad de vida en el distrito, independientemente de su carácter público o privado, en áreas del territorio, lotes independientes y edificaciones.” (DMQ, 2011)

En este se engloban: centros educativos, culturales, de salud, deportivos y recreativos, religiosos, bienestar social, seguridad social, transporte, infraestructura, entre otros.

Patrimonial: “Se refiere al suelo ocupado por áreas, elementos o edificaciones que forman parte del legado histórico o con valor patrimonial que requieren preservarse y recuperarse.” (DMQ, 2011)

Al analizar los diferentes usos del suelo que se dan en el área cercana a la intersección y en la influencia que estos tienen sobre los viajes y la demanda de la misma, es evidente que los usos de suelo comunes son por un lado el equipamiento siendo este el uso de mayor incidencia (alrededor de un 45%), mientras que juntando todos los sub tipos de residenciales (que en definitiva su variación en la práctica casi imperceptible) este tipo de uso de suelo es el segundo de mayor importancia (alrededor del 35%) y finalmente, el uso múltiple tiene el tercer lugar en importancia (aproximadamente 20%). Esta ventaja del uso en equipamiento tiene su explicación en la importancia comercial y empresarial de la zona. Por otro lado, si bien es menor, podemos apreciar que no es significativamente

menos importante el uso residencial del suelo. Este análisis se realiza con el fin de poder caracterizar la zona como primariamente de algún tipo de uso en especial, lo que facilitaría la planificación del transporte y la movilidad.

### **Crecimiento poblacional de Quito**

Es una medida del incremento de la demanda y del incremento del tránsito de cualquier ciudad; el incremento poblacional. Dado que la población se mantiene creciendo, también se incorporan en la misma medida usuarios de cualquier tipo (sean estos peatones, ciclistas, conductores de vehículos, entre otros) al sistema vial. Si bien el organismo encargado de los censos en el país es el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos (INEC), los datos sobre el crecimiento poblacional que se presentan a continuación en la tabla 9, son tomados de la unidad del Municipio Metropolitano de Quito encargada de las proyecciones poblacionales de la ciudad. La razón fundamental es que entre otras cosas, los datos de DMPT (Dirección Metropolitana de Planificación Territorial) resultan más reales que las proyecciones del INEC por varios elementos; por ejemplo, separan la población urbana de la suburbana y toman en cuenta hechos muy particulares como el impacto de la construcción del Nuevo Aeropuerto de la ciudad.

Tabla 9. Proyección de la población Urbana de Quito. [Elaboración Propia, tomado de (DMPT-MDMQ)]

<b>Año</b>	<b>Tasa de crecimiento demográfico (%)</b>	<b>Población Urbana</b>
1990	-	1,105,526
2001	-	1,397,698
2005	1.9	1,504,991
2010	1.7	1,640,478
2015	1.6	1,777,976
2020	1.5	1,917,995
2025	1.4	2,060,904

Con el fin de determinar la población proyectada de Quito en este caso, o de cualquier población se utiliza la fórmula de interés compuesto o de incremento compuesto mostrada a continuación. Esta misma ecuación se utilizará más adelante para proyectar la demanda futura.

$$P_F = P_A(1 + i)^n$$

Donde:

- $P_F =$  Población futura.
- $P_A =$  Población Actual.
- $i =$  índice de crecimiento de la población.
- $n =$  número de años o período al que se quiere proyectar.

Aquello que resulta alarmante es el hecho de que la población urbana de la ciudad prácticamente se duplicará para el año 2025. Las consecuencias inmediatas de aquello es que la demanda se incrementará en una cierta cantidad similar. Si bien posiblemente la solución se encuentra en alterar significativamente la matriz de transporte, disminuyendo la proporción de usuarios que se transportan en vehículos particulares contra aquellos que lo hacen en vehículos públicos y mejorando en general las prestaciones del sistema vial (sobre todo en cuanto a la calidad del transporte público); resulta poco probable que esto ocurra, por el contrario seguramente se incrementará sustancialmente los problemas de transporte en la ciudad simultáneamente al crecimiento poblacional.

### **Análisis operacional y estudio de demanda**

El análisis operacional del redondel produce en definitiva dos tipos de estimados o indicadores, la capacidad y el nivel de desempeño de la misma. En cuanto al primer indicador, se ha dicho anteriormente que se puede describir como la facilidad de alojar o soportar un determinado volumen de usuarios, mientras que en cuanto al desempeño se

pueden usar indicadores como las colas o demoras en la intersección para medir la calidad de ese servicio. Mientras la capacidad es una medida cuantificable, el nivel de servicio es por el contrario una medida cualitativa de la efectividad de la intersección. Cuando se requiere puntualmente evaluar las características de operatividad de una intersección, es fundamental evaluar el rediseño de la misma ya que muchas veces las demoras anteriormente mencionadas pueden ocurrir, debido no solo por una relación v/c elevada; sino por causa de un diseño geométrico deficiente. Estas demoras generalmente ocurren cuando existen trayectorias con velocidades muy bajas de los vehículos. (NCHRP, 2010)

### **El efecto del flujo vehicular y el comportamiento del conductor.**

Para analizar el flujo se debe partir de la premisa que a medida que el flujo conflictivo se incrementa, se reduce la capacidad del redondel. En términos generales, se define como el flujo conflictivo, tal como aquel que pasa justamente en frente de quien está en la entrada de la intersección. Cuando este flujo es inexistente o en su defecto se aproxima a 0, entonces el flujo de entrada máximo al redondel está definido por 3600 segundos en una hora dividido para la cantidad de vehículos que entren uno detrás de otro a la intersección (análogamente al flujo de saturación de un movimiento cuando la luz del semáforo está en verde).

Muchos detalles y factores particulares a la realidad del momento, en especial concerniente a lo inesperado e imprevisto; afectan la exactitud de cualquier modelo que se proponga para describir el comportamiento de los usuarios en un redondel. Esta particularidad tiene que ver con las decisiones que toma el usuario. El efecto de la existencia de flujo vehicular en el redondel afecta la decisión del usuario en cuanto se refiere al momento de entrar en la intersección, en definitiva existe una incertidumbre constante respecto al comportamiento del conductor en todas las maniobras. Una segunda característica a tomar en cuenta es el cambio que ocurre de la prioridad cuando el flujo de



entrada y el de conflicto (flujo dentro del redondel) son altos; suele ocurrir que los vehículos dentro del redondel ceden el paso momentáneamente a los vehículos que entran, cambiando la prioridad establecida. Otra importante característica que puede cambiar en las decisiones del conductor tienen que ver con los supuestos patrones de la matriz de origen y destino, influenciando la capacidad y la distribución de los usuarios. Existen factores de similar índole que incluso resultan más sutiles y se ven determinados por otros factores extremadamente difíciles de controlar, por lo que siempre existirá cierta incertidumbre en cuanto al comportamiento se refiere de los usuarios en los redondeles. (NCHRP, 2010)

### **El efecto de la geometría.**

Como se ha mencionado anteriormente, la geometría es un elemento clave del funcionamiento de los redondeles por algunas razones. En primer lugar, la geometría tiene especial importancia ya que afecta directamente la velocidad de circulación de los vehículos al entrar, circular y salir de la intersección; consecuentemente es responsable también por las demoras a causa de la geometría. Por otro lado, determina la cantidad de carriles tanto para la circulación interna como de aproximación a la intersección; así como los anchos de los carriles determinan cuantos vehículos entran a la intersección y cuantos vehículos circulan lado a lado por la misma. Además, la geometría define el ángulo al que los vehículos entran a la intersección, ésta forma parte de los factores que afectan la tasa de entrada del flujo; por ejemplo ocurre una intuitiva reducción de la velocidad de entrada en vehículos que se encuentran con mayor perpendicularidad al entrar al redondel. Finalmente, la geometría afecta la percepción de los usuarios en cuanto a su confianza en entrar y circular simultáneamente con otros usuarios lado a lado, el balance de flujos en cada carril de circulación que permite al redondel tener una capacidad efectiva adecuada, las decisiones sobre el carril apropiado de circulación, entre algunas otras. (NCHRP, 2010)

### **El efecto del peatón.**

El peatón es un elemento fundamental de la intersección y por tal razón ha sido incluido en el análisis. Es especialmente importante en esta intersección ya que por sus características de uso de suelo y las múltiples actividades que se desarrollan en sus alrededores (mismas que se definieron anteriormente); el flujo de peatones es sumamente importante en la dinámica del flujo de la intersección, tanto para los mismos peatones como para el resto de usuarios. Si bien absolutamente toda la población es considerada un peatón en potencia, el grado de entendimiento de su rol en la dinámica del tránsito y su papel en la seguridad de todos los usuarios del sistema vial; es clave. En general, el comportamiento de los peatones en el sistema vial en atención a los lugares por donde está permitido cruzar, los momentos en los que se puede realizar esta acción, la observancia de las paradas de transporte público, entre muchas otras; afecta considerablemente la capacidad, velocidad, tiempos de espera, de todos los usuarios del redondel y de las vías que los componen.

### **Recolección de datos de campo**

El análisis operacional de un redondel y en general de cualquier intersección, requiere de la recolección y proyección al futuro de volúmenes en cada ramal de entrada y los giros; ambos durante los períodos de mayor demanda de la intersección u hora pico. Para el caso de esta intersección puntual se eligió un método de conteo automático para ubicar los períodos de mayor volumen durante el día, y después se utilizó conteos manuales para mayor precisión durante los períodos identificados como claves. Por otro lado, se tomaron también los datos de tiempo empleado en pasar la intersección de forma manual, mismos que serán motivo de análisis en el capítulo siguiente.

Entre los objetivos más importantes del estudio de tráfico está el obtener la demanda actual y proyectarla al futuro, todo esto basado en que la generación y atracción

de viajes es relativamente constante y está basada tanto en las actividades que se desarrollan tanto en el área inmediata como en toda la ciudad.

### **Aforos automáticos.**

Los aforos volumétricos o conteos vehiculares automáticos fueron realizados sobre la Avenida La Coruña N/S, en el tramo comprendido entre la calle San Ignacio y el redondel del estudio. Para este aforo, se utilizó un contador en base a diferencia de presión como ya se explicó en el segundo capítulo. Tomando en cuenta las limitaciones que este tipo de contador puede tener, principalmente el uso de este tipo de conteo tenía como finalidad conocer la tendencia del flujo y los momentos del día en el que éste llega a situaciones críticas. Para luego, en base a los datos obtenidos; realizar durante los períodos fundamentales de demanda en la intersección, aforos manuales de mayor precisión.

Se coloca en posición el equipo de acuerdo a su funcionamiento ya descrito anteriormente. El objetivo primordial del uso de un contador automático para el caso puntual de este estudio, es lograr levantar la información de la demanda sobre el ramal indicado; al menos durante una semana. Por tal razón se dispone la manguera y el contador en la calzada y en lugares donde no existan comúnmente cambios repentinos de velocidad (lugares de frenado o acelerado constantes) para evitar el deterioro de las mangueras que ocasionen mal funcionamiento del sistema. Se colocaron dos contadores, uno para cada sentido del tramo; así se pudo obtener la información del volumen de entrada y de salida de la intersección sobre la Avenida Coruña tanto en sentido N/S como S/N. Los registros de los conteos automáticos se encuentran detallados en el Anexo B, si bien los datos de volumen se obtuvieron para períodos continuos de 15 minutos, en el anexo ya mencionado se muestran los valores diarios en períodos de una hora; dado que el detalle de la información para períodos de 15 minutos resultaría muy extenso.

Si bien se muestra los valores de aforo en volumen de vehículos, tanto para el flujo N/S (desde Av. La Coruña a Plaza Artigas) y S/N (desde Plaza Artigas a Av. La Coruña); cabe mencionar que para el flujo de sur a norte se pudo recabar información para más días que una semana sin presentarse ningún problema. Caso contrario ocurrió para el flujo de norte a sur, donde el contador tuvo que ser colocado varias veces en diferentes lugares ya que constantemente la manguera resultaba rota a los pocos días de colocada. Este hecho se suscitó continuamente y fue causado por las múltiples variaciones extremas en la aceleración de los vehículos (frenado y acelerado constante) en el tramo de entrada a la intersección. Este comportamiento es ocasionado fundamentalmente por ciclos incesantes de arranque/detención al formarse colas en la entrada de la intersección (especialmente durante las horas pico o de mayor congestión), mientras que por otro lado frenados sobre la manguera fueron los causante primordial del deterioro inmediato de las mismas al punto de romperse eliminando el funcionamiento bajo presión del aparato. En definitiva para los flujos del norte a sur, la información recolectada es mucho menor, inclusive no se logró obtener una semana continua; se pudo al menos determinar el volumen de días suficientemente representativos de la semana para ser comparados (Ver anexo B). En el anexo mencionado, se muestra la información del volumen por horas, para los días que presentan datos confiables del flujo N/S y S/N.

### **Análisis del flujo direccional.**

Para hacer un análisis del flujo en la zona, se reconocen primero los patrones generales de movilidad global de la ciudad. Desde esta perspectiva y dadas las características de la ciudad ya descritas, los flujos de mayor importancia en especial durante las horas pico son en la dirección Sur-Norte y viceversa. No es coincidencia por tanto que los flujos más importantes en la intersección también sean de dicha naturaleza. Por tanto, dados los datos recolectados (principalmente del conteo manual, que se analizará

más adelante) muestran que los ramales de mayor importancia en cuanto al volumen de demanda se refiere son, la Avenida La Coruña S/N (tramo comprendido entre la Avenida Isabel La Católica y la intersección del proyecto), Avenida 12 de Octubre W/E (tramo comprendido entre la calle Francisco Salazar y la intersección del proyecto) y Avenida La Coruña N/S (tramo comprendido entre la calle San Ignacio y la intersección del proyecto). Por lo tanto los recorridos fundamentales, de entrada y salida de la intersección, en relación al mayor volumen de vehículos de demanda son: Av. La Coruña N/S – Av. La Coruña S/N y Av. 12 de Octubre W/E – Av. La Coruña N/S. La figura a continuación es un esquema de lo ya mencionado.

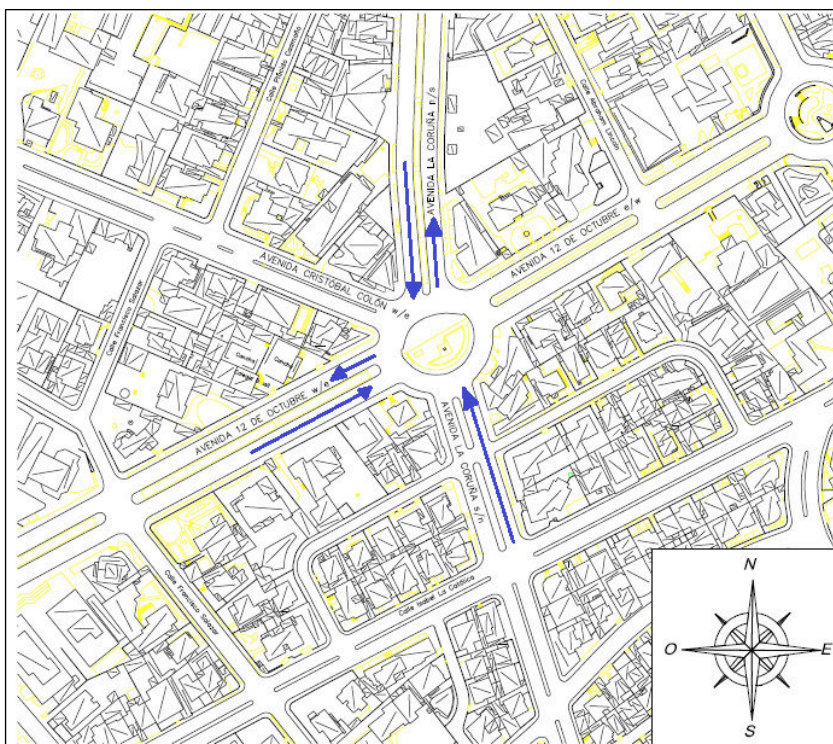


Figura 8. Esquema del flujo fundamental en la intersección.

Sobre el análisis direccional de los flujos más importantes, se usan los datos del conteo automático vehicular para comparar el flujo direccional por horas durante todo un día. Es importante tomar en cuenta al menos dos días de la semana, mismos que

representen la tendencia del flujo de mejor manera, por tanto se analiza día por día el flujo comparativamente entre los resultados obtenidos por los contadores automáticos, tanto hacia el Sur como hacia el Norte. De lo observado, se escogió un día entre semana (jueves 18 de julio 2013) y uno del fin de semana (sábado 13 de julio 2013) ya que los flujos resultan diferentes durante la semana laboral comparativamente con el fin de semana. La tabla 10 resume los datos del conteo durante un día del fin de semana, la figura 9 muestra una gráfica comparativa de éstos. Lo mismo ocurre con la tabla 11 que resume los datos del conteo automático durante un día entre semana de comportamiento típico, así mismo, la figura 10 muestra la gráfica comparativa de los datos para este día.

Al analizar los datos y en especial la gráfica concretamente, se puede concluir que en definitiva y como se esperaría, la cantidad de vehículos durante el fin de semana disminuye sustancialmente con respecto a un día entre semana. Por otro lado, al comparar los flujos hacia el Norte y Sur, es evidente que durante el sábado (comportamiento común al domingo también) los flujos hacia el norte son superiores que los que se dan hacia el Sur durante prácticamente todo el día, con excepción de dos períodos (14:00-15:00 y 21:00-22:00) donde si bien el flujo hacia el Sur es mayor, la diferencia es insignificante. Durante la semana ocurre una tendencia parecida en cuanto a la supremacía de un flujo, aunque este es hacia el sur. Esta tendencia se mantiene durante todo el día con excepción de las horas de la mañana (hasta antes 08:00, donde se produce el quiebre) y otro en la tarde (17:00-18:00) donde prácticamente no existe diferencia.

Tabla 10. Volumen horario direccional (día fin de semana).

INTERVALO	VOLUMEN	
	HACIA EL SUR	HACIA EL NORTE
	sábado, 13 de julio de 2013	sábado, 13 de julio de 2013
0:00 - 0:59	360	335
1:00 - 1:59	250	306
2:00 - 2:59	261	332
3:00 - 3:59	222	258
4:00 - 4:59	114	175
5:00 - 5:59	134	215
6:00 - 6:59	280	459
7:00 - 7:59	603	877
8:00 - 8:59	791	1066
9:00 - 9:59	840	1086
10:00 - 10:59	912	1071
11:00 - 11:59	965	1159
12:00 - 12:59	986	1116
13:00 - 13:59	1003	1031
14:00 - 14:59	905	875
15:00 - 15:59	874	952
16:00 - 16:59	825	955
17:00 - 17:59	839	881
18:00 - 18:59	848	837
19:00 - 19:59	813	834
20:00 - 20:59	668	779
21:00 - 21:59	660	625
22:00 - 22:59	467	560
23:00 - 23:59	376	447
<b>TOTAL</b>	<b>14996</b>	<b>17231</b>

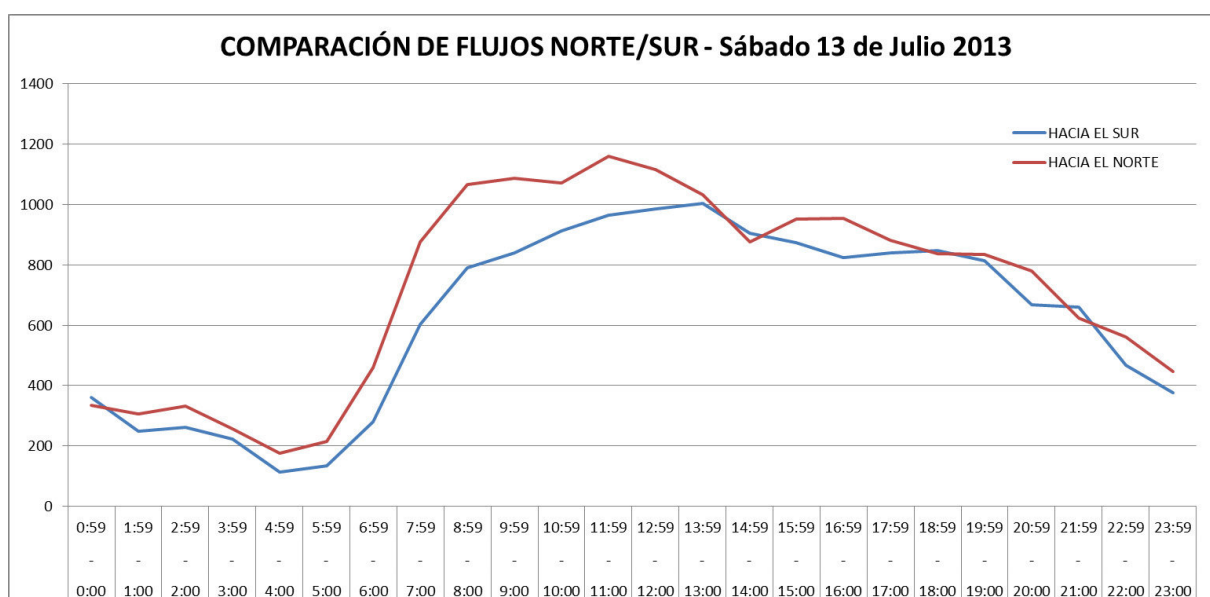


Figura 9. Gráfica comparativa de flujos Norte-Sur (día fin de semana).

Tabla 11. Volumen horario direccional (día entresemana).

INTERVALO	VOLUMEN	
	HACIA EL SUR	HACIA EL NORTE
	jueves, 25 de julio de 2013	jueves, 18 de julio de 2013
0:00 - 0:59	211	143
1:00 - 1:59	90	84
2:00 - 2:59	69	70
3:00 - 3:59	45	52
4:00 - 4:59	46	86
5:00 - 5:59	112	229
6:00 - 6:59	579	859
7:00 - 7:59	1017	1348
8:00 - 8:59	1562	1309
9:00 - 9:59	1424	1277
10:00 - 10:59	1363	1329
11:00 - 11:59	1342	1294
12:00 - 12:59	1315	1166
13:00 - 13:59	1335	1131
14:00 - 14:59	1333	1219
15:00 - 15:59	1369	1277
16:00 - 16:59	1309	1235
17:00 - 17:59	1246	1264
18:00 - 18:59	1288	1111
19:00 - 19:59	1158	1004
20:00 - 20:59	1070	956
21:00 - 21:59	926	786
22:00 - 22:59	574	493
23:00 - 23:59	365	337
	<b>21148</b>	<b>20059</b>

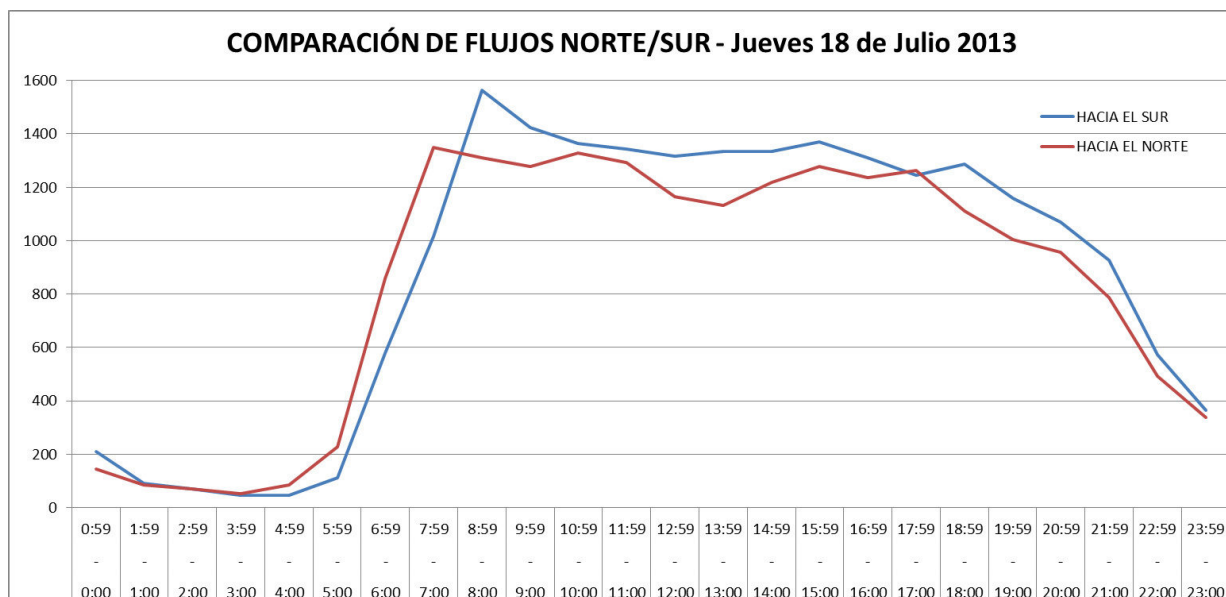


Figura 10. Gráfica comparativa de flujos Norte-Sur (día entresemana)



### **Aforos manuales.**

Los aforos manuales son sumamente necesarios ya que permiten conocer con mayor precisión la composición del flujo vehicular y los volúmenes de cada giro de tráfico. Para el caso del análisis necesario en el presente estudio, se procede a realizar conteos manuales diferenciando el tipo de vehículo que entra a la intersección por cada uno de los 5 ramales de entrada. Los vehículos que se reconocen son: autobuses, vehículos livianos, motocicletas y camiones. Por otro lado, también se realiza el conteo de los peatones que cruzan la intersección dado su inmensa importancia dada la gran cantidad de peatones que cruzan los ramales de la intersección.

El conteo se realiza durante la mañana y durante la tarde de acuerdo a las “horas pico” generales de la intersección que se determinaron del aforo automático; entonces, los horarios seleccionados son de 07:30 a 10:00 en la mañana, mientras que en la tarde de 17:00 a 19:00. En base a la selección de la hora pico, se amplió el período de conteo para aceptar una variabilidad que podría ocurrir y con la finalidad de tener datos de mayor fiabilidad para más adelante crear un modelo más preciso de la intersección (tema del capítulo siguiente). Para lograr una precisión aceptable, dadas las variaciones que pueden ocurrir durante cortos períodos de tiempo; se dividieron los intervalos ya mencionados para realizar el conteo en la mañana y en la tarde, en ciclos de 15 minutos. El Anexo C contiene un ejemplo de la hoja de campo utilizada en el conteo manual. A continuación en las tablas 12, 13, 14, 15 y 16 se muestran los datos de conteo vehicular, recabados el día martes 30 de julio del 2013, durante las horas previstas. Las estaciones de conteo se ubicaron en cada una de las 5 entradas de ramal a la intersección, tomando en el conteo únicamente los vehículos y peatones que entran a la intersección por cada ramal o cruzan la sección del ramal en el caso de los peatones.

Tabla 12. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. Coruña N/S (desde calle San Ignacio).

	HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	254	32	1	5	108
	7:45 - 8:00	320	16	1	4	97
	8:00 - 8:15	358	11	4	12	149
	8:15 - 8:30	360	19	4	13	168
	8:30 - 8:45	429	17	5	13	165
	8:45 - 9:00	475	17	8	13	143
	9:00 - 9:15	413	10	8	14	120
	9:15 - 9:30	410	20	11	15	94
	9:30 - 9:45	318	15	5	24	108
	9:45 - 10:00	250	10	8	13	98
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	281	11	4	17	135
	17:15 - 17:30	314	20	1	21	185
	17:30 - 17:45	325	8	8	22	168
	17:45 - 18:00	319	12	2	23	138
	18:00 - 18:15	303	13	1	19	152
	18:15 - 18:30	309	13	3	20	107
	18:30 - 18:45	266	12	1	10	83
	18:45 - 19:00	222	10	2	12	91

Tabla 13. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. Colon W/E (desde calle Plácido Caamaño).

	HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	82	16	1	7	122
	7:45 - 8:00	99	25	0	3	146
	8:00 - 8:15	124	16	2	6	140
	8:15 - 8:30	133	15	2	3	128
	8:30 - 8:45	139	17	5	10	139
	8:45 - 9:00	149	15	0	9	152
	9:00 - 9:15	114	13	4	9	156
	9:15 - 9:30	94	10	0	4	127
	9:30 - 9:45	71	7	2	6	132
	9:45 - 10:00	98	12	6	7	124
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	113	8	2	10	180
	17:15 - 17:30	163	15	2	13	157
	17:30 - 17:45	137	9	2	10	157
	17:45 - 18:00	144	14	0	12	179
	18:00 - 18:15	97	13	2	8	216
	18:15 - 18:30	114	11	1	4	152
	18:30 - 18:45	98	12	1	11	164
	18:45 - 19:00	96	11	1	10	162

Tabla 14. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. 12 de Octubre W/E (desde calle Francisco Salazar)

	HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	159	21	0	8	79
	7:45 - 8:00	200	25	0	12	91
	8:00 - 8:15	229	20	0	8	106
	8:15 - 8:30	220	17	2	5	128
	8:30 - 8:45	244	22	3	9	112
	8:45 - 9:00	196	25	2	11	132
	9:00 - 9:15	187	24	1	10	125
	9:15 - 9:30	240	23	5	12	99
	9:30 - 9:45	200	23	6	17	103
	9:45 - 10:00	244	22	0	21	96
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	212	15	1	10	105
	17:15 - 17:30	246	15	2	15	99
	17:30 - 17:45	260	18	6	10	113
	17:45 - 18:00	256	21	3	12	103
	18:00 - 18:15	293	20	3	16	92
	18:15 - 18:30	298	19	1	6	75
	18:30 - 18:45	228	21	2	4	78
	18:45 - 19:00	221	19	1	8	57

Tabla 15. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. La Coruña S/N (desde calle Isabel La Católica).

	HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	330	34	0	14	60
	7:45 - 8:00	325	20	0	21	51
	8:00 - 8:15	327	9	0	18	71
	8:15 - 8:30	334	12	0	23	76
	8:30 - 8:45	345	16	0	22	64
	8:45 - 9:00	326	7	0	13	79
	9:00 - 9:15	300	14	0	12	72
	9:15 - 9:30	305	9	2	7	57
	9:30 - 9:45	254	13	2	14	44
	9:45 - 10:00	295	7	1	14	37
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	216	10	0	8	78
	17:15 - 17:30	228	8	0	11	71
	17:30 - 17:45	240	9	1	9	74
	17:45 - 18:00	231	9	0	14	87
	18:00 - 18:15	225	9	0	14	77
	18:15 - 18:30	175	11	0	10	71
	18:30 - 18:45	185	8	0	9	55
	18:45 - 19:00	170	7	0	7	58

Tabla 16. Conteo vehicular y peatonal. Entrada Av. 12 de Octubre E/W (desde calle Lincoln).

	HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	113	2	1	6	47
	7:45 - 8:00	117	4	0	7	42
	8:00 - 8:15	167	2	1	5	65
	8:15 - 8:30	115	0	0	3	66
	8:30 - 8:45	135	1	1	8	28
	8:45 - 9:00	153	3	7	13	42
	9:00 - 9:15	200	7	2	11	47
	9:15 - 9:30	181	3	1	13	31
	9:30 - 9:45	157	5	3	13	29
	9:45 - 10:00	265	4	5	20	20
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	100	3	2	7	56
	17:15 - 17:30	137	4	1	9	34
	17:30 - 17:45	125	5	1	11	80
	17:45 - 18:00	130	2	3	9	54
	18:00 - 18:15	150	3	1	11	45
	18:15 - 18:30	173	2	1	8	45
	18:30 - 18:45	153	2	1	12	63
	18:45 - 19:00	115	1	1	5	38

### **Análisis de los datos de aforos manuales.**

El análisis correspondiente de los datos del conteo manual presentados, se realiza sobre la comparación durante las horas pico de la mañana y la tarde, para tanto el volumen de vehículos que entran por cada ramal así como la cantidad de peatones que cruzan los mismos. Las figuras 11 y 12 comparan los flujos de entrada de vehículos por cada ramal para las horas pico de conteo en la mañana y en la tarde, respectivamente. Las figuras 13 y 14 comparan la cantidad de peatones que cruza cada ramal para las horas pico de conteo en la mañana y en la tarde, respectivamente.

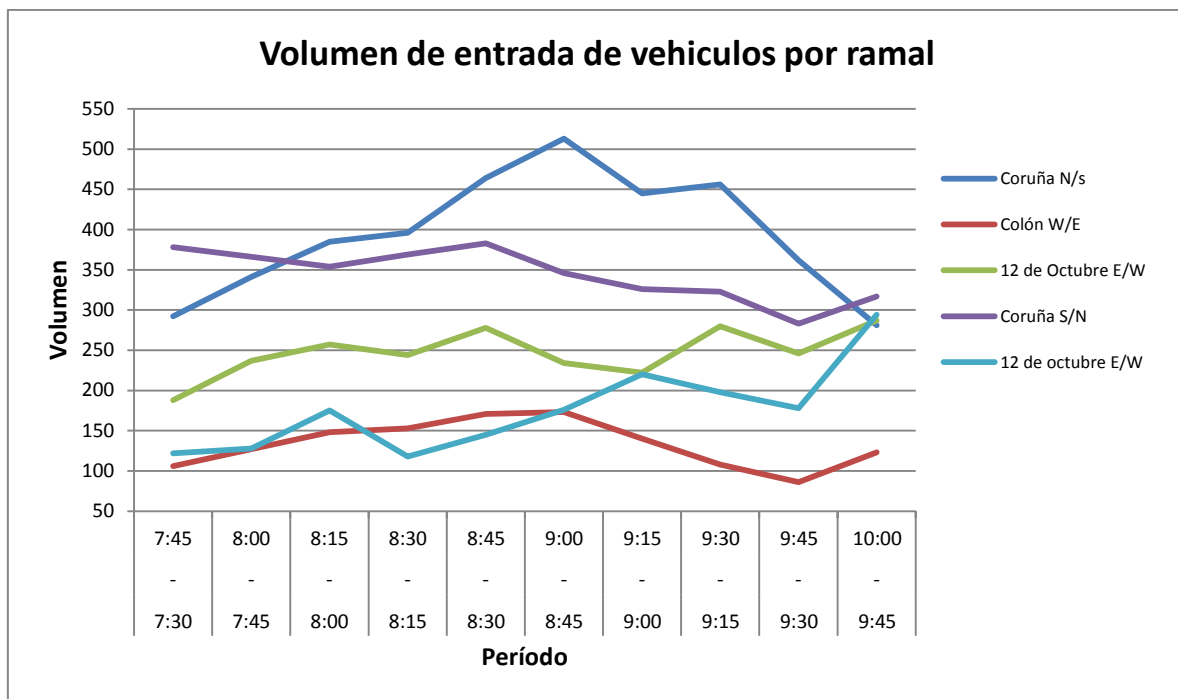


Figura 11. Volumen de entrada de vehículos por cada ramal para las horas pico en la mañana.

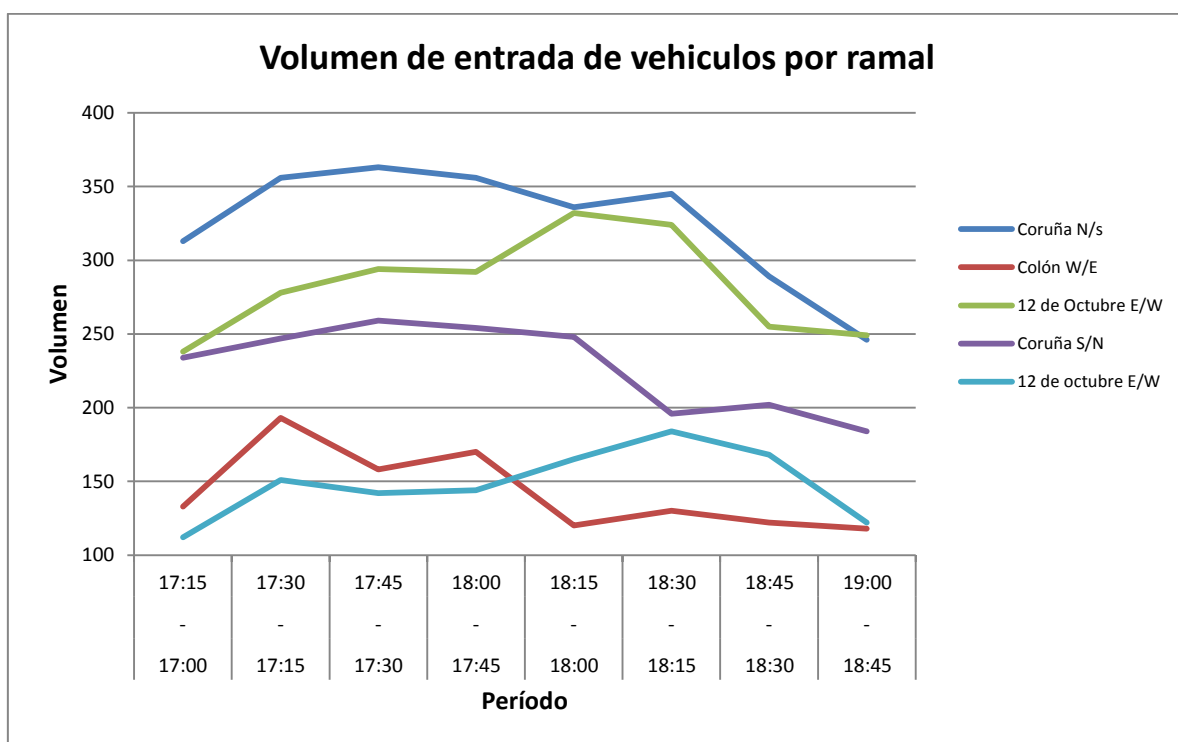


Figura 12. Volumen de entrada de vehículos por cada ramal para las horas pico en la tarde.

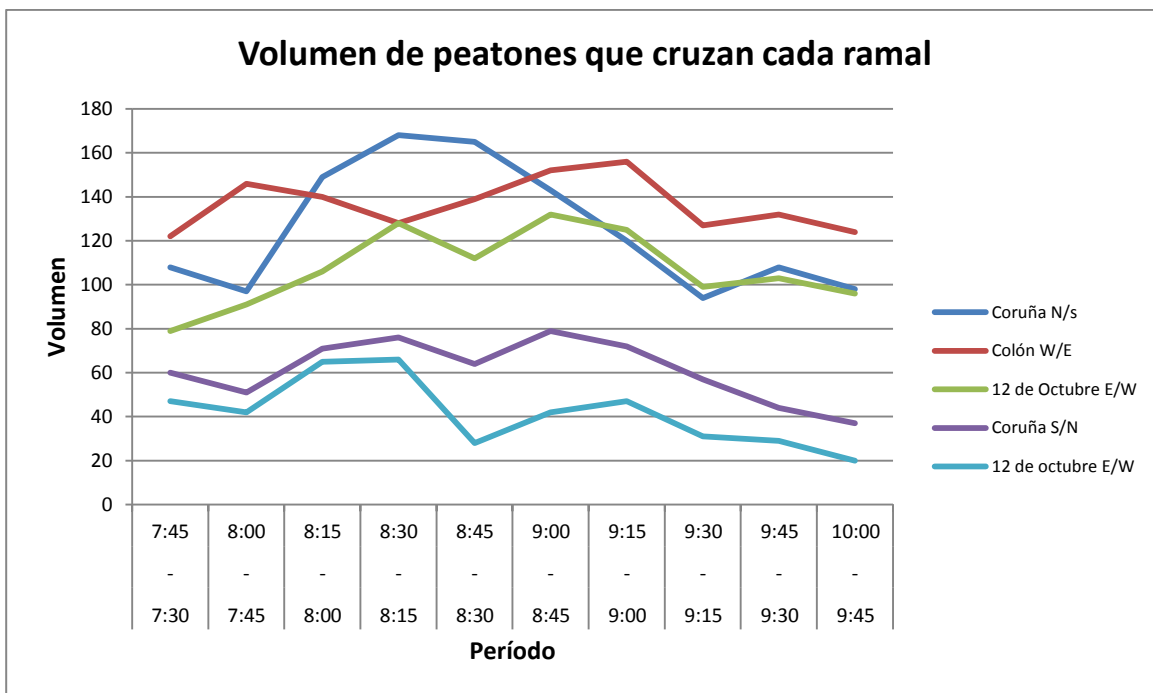


Figura 13. Volumen de peatones que cruzan cada ramal en las horas pico de la mañana.

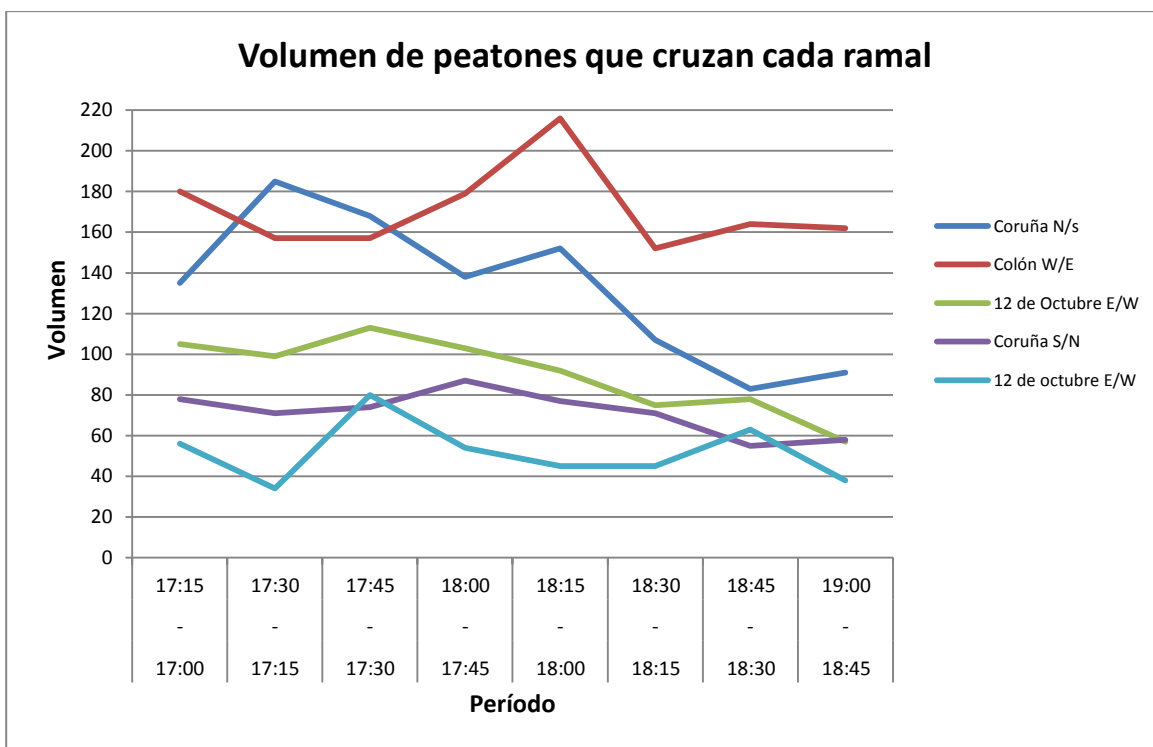


Figura 14. Volumen de peatones que cruzan cada ramal en las horas pico de la tarde.

Se observa en los diagramas de comparación de flujo vehicular que en las horas de la mañana, aquellos ramales de entrada que tienen mayor volumen son precisamente los

que definen el flujo N/S y viceversa; puntualmente la Av. Coruña N/S (30.4%), Av. Coruña S/N (26.62%), Av. 12 de octubre desde la calle Francisco Salazar (19.11%). Después los ramales de entrada de menor importancia son la Av. Cristóbal Colon W/E (10.32%) y la Av. 12 de Octubre E/W (13.55%). Si se cuantifican los flujos N/S y viceversa en su totalidad, se tiene un 76.13% del volumen total que entra a la intersección, mientras que el resto de flujos conforman un 23.87%.

Situación similar se observa en los diagramas de comparación de flujo vehicular que en las horas de la tarde, donde los ramales de entrada que tienen mayor volumen son igualmente los que definen el flujo N/S y viceversa; Av. Coruña N/S (28.86%), Av. Coruña S/N (20.22%), Av. 12 de octubre desde la calle Francisco Salazar (25.07%). Después los ramales de entrada de menor importancia son la Av. Cristóbal Colon W/E (12.86%) y la Av. 12 de Octubre E/W (13.17%). Si se cuantifican los flujos N/S y viceversa en su totalidad se tiene un 74.15% del volumen total que entra a la intersección, mientras que el resto de flujos conforman un 25.85%. En este caso se debe puntualizar que el porcentaje de la Av. Coruña S/N disminuyó mientras que el de la Av. 12 de Octubre desde la calle Francisco Salazar se incrementó proporcionalmente; este es un indicativo que en la mañana los flujos son mayores de norte a sur mientras que en la tarde es justamente lo opuesto, observación que tiene concordancia y relación estrecha con el uso del suelo de la zona ya descrito anteriormente.

En cuanto al análisis del flujo peatonal, durante las horas pico en la mañana; se puede observar que los ramales de mayor cruce peatonal son la Av. Coruña N/S (26.51%), la Av. 12 de Octubre desde la calle Francisco Salazar (22.71%), pero especialmente la Av. Cristóbal Colon W/E (28.97%). Después están con menor volumen la Av. Coruña S/N (12.96%) y la Av. 12 de Octubre E/W (8.84%). Se nota que los volúmenes máximos de vehículos en las horas pico de la mañana también tienen porcentajes representativos de

cruce peatonal, mientras que resulta interesante que el ramal con mayor cruce peatonal (Av. Cristóbal Colón) en la mañana tiene el menor volumen de vehículos de entrada durante las horas de la mañana.

Al considerar la cantidad de peatones que cruzan los ramales durante las horas pico en la tarde; se puede observar un comportamiento peatonal similar a las horas de la mañana. Aquellos ramales de mayor cruce peatonal son la Av. Coruña N/S (25.62%), la Av. 12 de Octubre desde la calle Francisco Salazar (17.46%), pero especialmente la Av. Cristóbal Colon W/E (33.07%). Después están con menor volumen la Av. Coruña S/N (13.81%) y la Av. 12 de Octubre E/W (10.04%). Se nota que los volúmenes máximos de vehículos en las horas pico de la tarde una vez más presentan porcentajes representativos de cruce peatonal, mientras que el ramal con mayor cruce peatonal (Av. Cristóbal Colón) en la tarde tiene una vez más el menor volumen de vehículos de entrada.

### Composición vehicular.

Con la información obtenida de los conteos manuales en los ramales de la intersección, se puede analizar la composición del tráfico que tiene la intersección y sus ramales. Se separa durante el conteo a los vehículos en 4 categorías: livianos, motos, buses y camiones. En las figuras 15, 16, 17, 18 y 19 se comparan porcentualmente los tipos de vehículos y la importancia que cada uno de ellos representa para el ramal en una primera instancia y luego para la intersección en conjunto (ver figura 20 y 21).

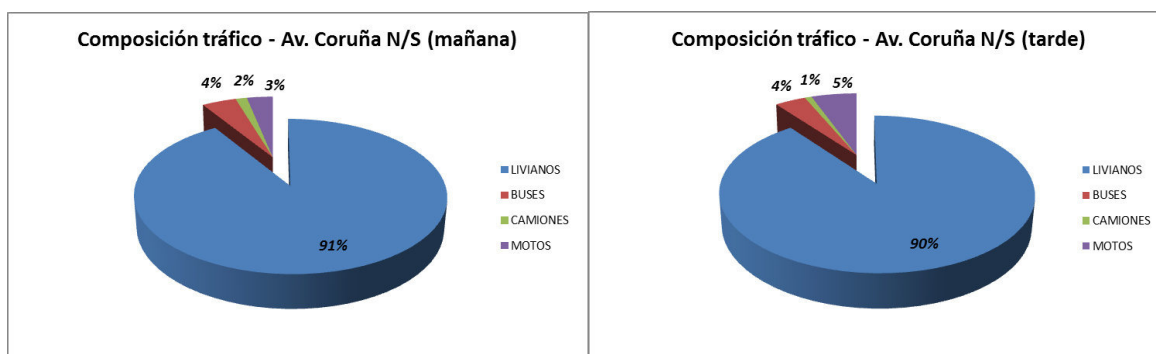


Figura 15. Composición tráfico porcentual para la Av. La Coruña N/S (horas pico en la mañana y tarde).



En el caso de la Av. Coruña y para el ramal que está compuesto entre la calle San Ignacio y la intersección (ver figura 15), se tiene lo siguiente. El volumen de entrada de vehículos livianos es al menos el 90% tanto en las horas de la tarde como en las de la mañana. El segundo grupo más representativo, aunque muy inferior, es el del transporte público con un 4%; seguido de las motocicletas y los camiones en último lugar (varían los porcentajes de estos ligeramente).

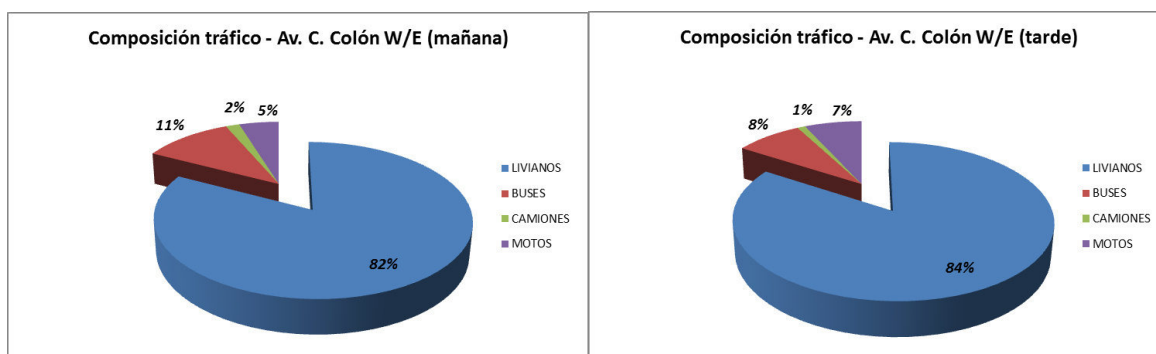


Figura 16. Composición tráfico porcentual para la Av. C. Colón W/E (horas pico en la mañana y tarde)

En el caso de la Av. Cristóbal Colón y para el ramal que está compuesto entre la calle Plácido Caamaño y la intersección (ver figura 16), el volumen de entrada de vehículos livianos es al menos el 82% tanto en las horas de la tarde (84%) como en las de la mañana (82%). El segundo grupo más representativo, otra vez muy inferior, es el del transporte público que oscila entre 8% y 11%; seguido de las motocicletas (7% y 5%) y los camiones en último lugar (2% y 1%).

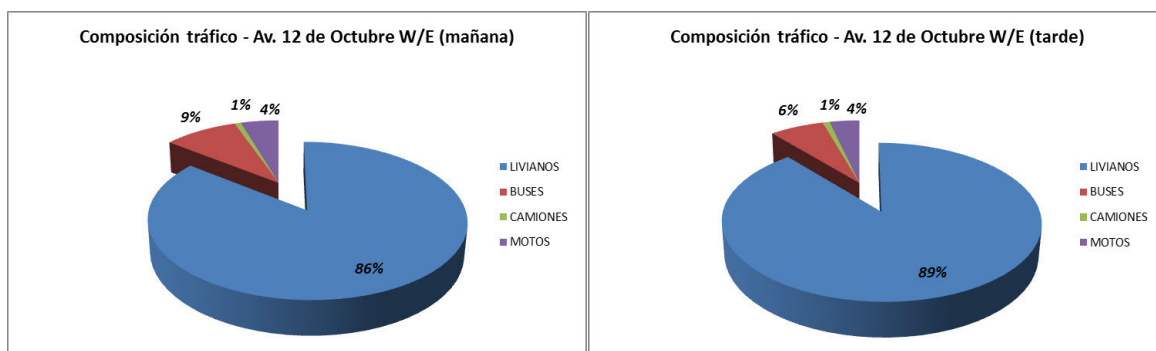


Figura 17. Composición tráfico porcentual para la Av. 12 de Octubre W/E (horas pico en la mañana y tarde).

Para la Av. 12 de Octubre W/E, en definitiva el tramo de entrada que está compuesto por la calle Francisco Salazar y la intersección (ver figura 17); el volumen de entrada de vehículos livianos es al menos el 86% tanto en las horas de la tarde (89%) como en las de la mañana (86%). La importancia porcentual del segundo grupo de mayor representatividad es otra vez muy inferior comparada con los vehículos livianos; este grupo es el del transporte público que oscila entre 6% y 9% en las horas pico de la tarde y la mañana respectivamente. Finalmente, los grupos de menor importancia son las motocicletas (4%) y los camiones en último lugar (1%), ambos porcentualmente constantes para ambos períodos de aforo.

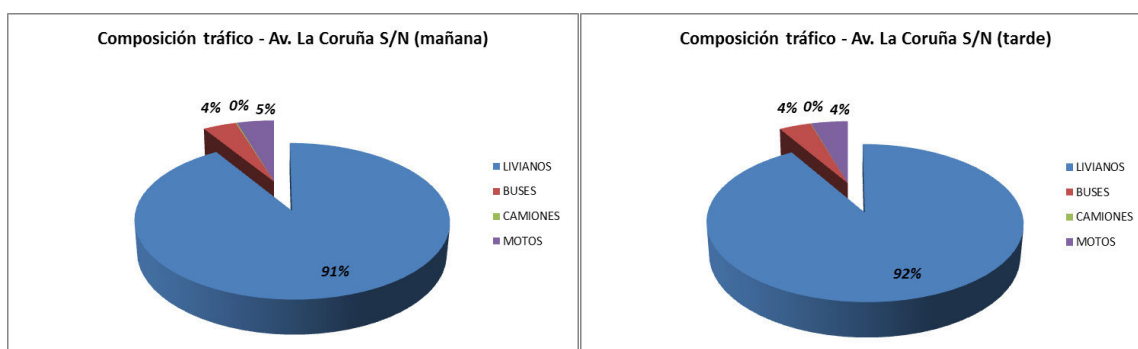


Figura 18. Composición tráfico porcentual para la Av. La Coruña S/N (horas pico en la mañana y tarde).

Para la Av. La Coruña, se analiza el tramo de entrada que está compuesto por la calle Francisco Salazar y la intersección (ver figura 18); el volumen de entrada de vehículos livianos es al menos el 90% tanto en las horas de la tarde (92%) como en las de la mañana (91%) y se mantiene relativamente estable para los dos períodos de aforo. La importancia porcentual del segundo grupo de mayor representatividad es consecuentemente muy inferior comparada con los vehículos livianos; este grupo es el del transporte público que es porcentualmente constante en 4%. Finalmente, se nota que el tercer grupo son las motos que también son relativamente invariables en 4% o 5%;

mientras que existe la particularidad que la contribución porcentual de los camiones en el ramal es prácticamente nula.

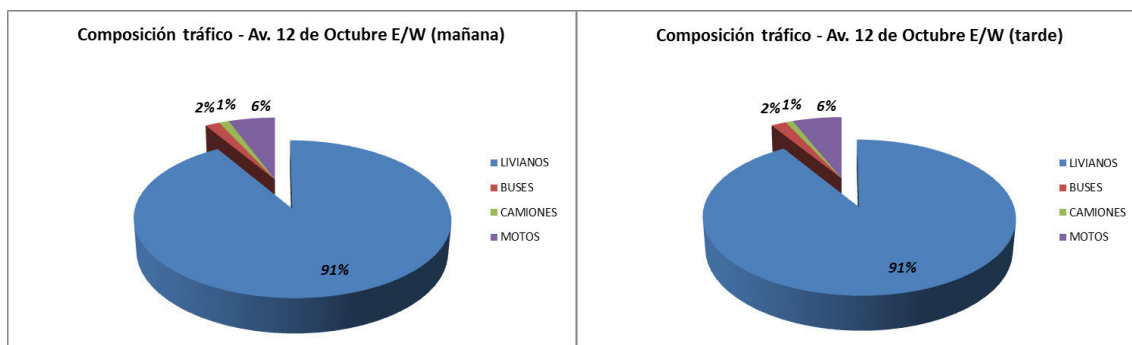


Figura 19. Composición tráfico porcentual para la Av. 12 de Octubre E/W (horas pico en la mañana y tarde).

El último tramo que se analiza la composición vehicular es la Av. 12 de Octubre E/W, puntualmente el tramo de entrada que está compuesto por la calle Abraham Lincoln y la intersección (ver figura 19); el volumen de entrada de vehículos livianos es al menos el 90% tanto en las horas de la tarde (91%) como en las de la mañana (91%) y permanece porcentualmente constante. La importancia porcentual del segundo grupo es abrumadoramente inferior como en el resto de casos comparada con los vehículos livianos; este grupo es el de las motocicletas también es porcentualmente constante (6%) tanto para las horas pico de la tarde y la mañana. Finalmente, los grupos de menor importancia el transporte público (2%) y los camiones en último lugar (1%), ambos porcentualmente constantes para ambos períodos de aforo. Este ramal presenta porcentualmente las condiciones más estables durante ambos períodos de aforo.

De los gráficos de la composición de cada ramal se puede extraer indicativos importantes sobre la composición vehicular de la intersección en conjunto. Las figuras 20 y 21 resumen la tendencia descrita anteriormente en los ramales, mostrando condiciones estables desde la importancia que tiene cada tipo de vehículo en la intersección. Los

livianos representan prácticamente el 90% de los vehículos (real 89%), los buses el 6% o 5%, las motos el 4% o 5% y los camiones el 1% del total de vehículos que llegan al redondel.

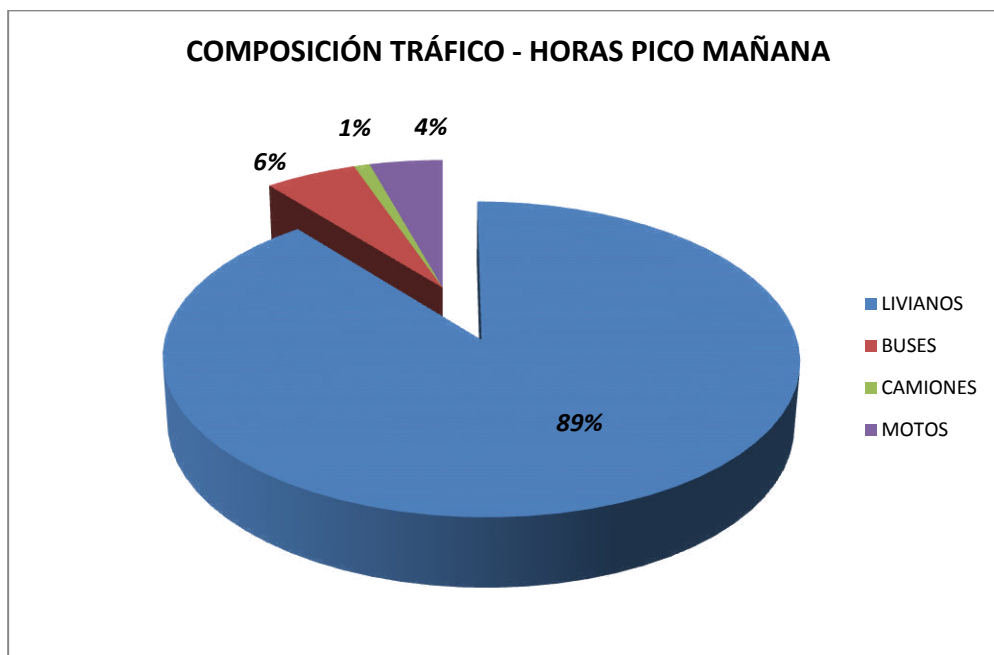


Figura 20. Composición tráfico porcentual de la intersección durante las horas pico de la mañana.

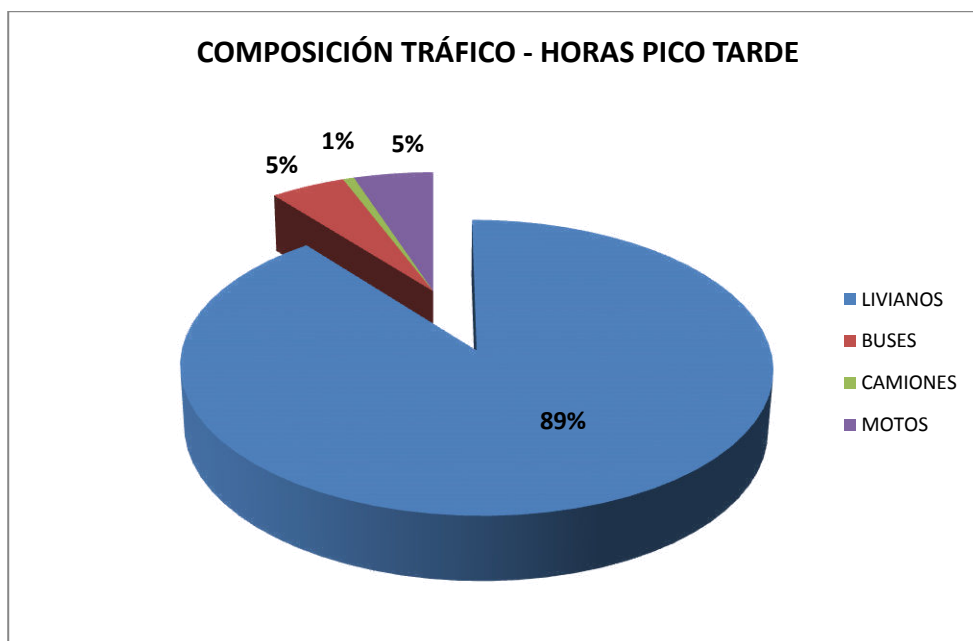


Figura 21. Composición tráfico porcentual de la intersección durante las horas pico de la tarde.

### Calculo TPDA

Con los datos obtenidos conteo de vehículos, se puede realizar el cálculo del TPDA. Primero se debe encontrar el porcentaje de contribución al tránsito diario, en base a la comparación del conteo automático durante todo el día con respecto a los datos obtenidos del conteo manual para el período seleccionado. Se necesita un factor que aproxime el volumen de cada ramal durante las horas pico (en este caso se toman las de la mañana por constituir una mejor aproximación a los datos del conteo automático), al volumen diario esperado. Para este cálculo se selecciona un día del conteo automático, de similares características al que se tomaron los datos de conteo manual. Por tanto, se calcula el factor para los datos sobre la Av. La Coruña N/S ya que de este ramal se tiene los datos de conteo manual y automático.

$$\text{Factor de contribución de horas pico} = \frac{\text{volumen diario (conteo automático)}}{\text{volumen hora pico (conteo automático)}}$$

$$\text{Factor de contribución de horas pico} = \frac{19887}{3580} = 5.56$$

Entonces, el volumen correspondiente al período comprendido entre las 07:30-10:00, representa el 18% del volumen diario (equivalente al factor de 5.56). En base a este factor y partiendo de la premisa que la intersección tiene un flujo relativamente estable y proporcional en todos sus ramales, se utiliza este factor para convertir el volumen de hora pico de la mañana del conteo manual, en volumen diario. Esta conversión se muestra en la tabla a continuación.

Tabla 17. Conversión del volumen de hora pico en volumen diario, factor de contribución de hora pico.

Ramal de entrada	Volumen (Hora Pico mañana)	Volumen diario (corregido)
Av. La Coruña N/S (desde c. San Ignacio)	3935	21859
Av. C. Colón W/E (desde c. Plácido Caamaño)	1335	7416
Av. 12 de Octubre W/E (desde c. F. Salazar)	2473	13738
Av. La Coruña S/N (desde c. Isabel la Católica)	3445	19137
Av. 12 de Octubre E/W (desde c. A. Lincoln)	1754	9744
	<b>Total Diario</b>	<b>71893</b>

Dado que el tráfico es completamente diferente dependiendo del día de la semana y del mes del año en el que realice el aforo, es necesario correlacionar estas variables al día en el que se tomaron los datos para encontrar un TPDA más preciso. Por esta razón, se aproxima el volumen total del año según el cálculo del volumen total del día (ya realizado); esto se logra mediante el cálculo de la contribución al volumen anual que tiene el día primero con respecto al volumen del mes y después la contribución del volumen del mes al volumen del año. Para dichas aproximaciones usamos la tabla de conteo de vehículos del volumen anual de la autopista a los chillos para el año 1997 (Ver anexo D), si bien los datos están distanciados significativamente en tiempo con respecto al presente estudio, realmente se necesita la proporción de contribución de cada día del año y el mes al que pertenece al volumen anual; característica que se define por el patrón de comportamiento de general de los usuarios, misma que en definitiva no ha sufrido variación sustancial. Por esta razón si bien el volumen de usuarios se ha incrementado con respecto a la tabla mencionada anteriormente, ésta nos permite encontrar la cantidad de usuarios que representa cada día del año con respecto al total anual, situación que guarda estrecha similitud al comportamiento actual.

Para el cálculo del volumen total anual se ubica un día, correspondiente al año 1997, que tenga las características más parecidas al día del aforo manual (martes 30 de julio del 2013). Este día debe ser seleccionado en el mismo mes y día de la semana del

aforo manual, por lo tanto se reconoce que el día más cercano es el martes 29 de julio de 1997. A continuación, se detalla los porcentajes de contribución del día y mes.

$$\% \text{ del mes} = \frac{\text{volumen martes 29 julio 1997}}{\text{volumen total julio 1997}} = \frac{31,269}{927,103} = 3.373\%$$

$$\% \text{ del año} = \frac{\text{total julio 1997}}{\text{total año 1997}} = \frac{927,103}{10,940,563} = 8.474\%$$

Tabla 18. Calculo del tráfico anual

DÍA	% MES	TOTAL MES	% ANUAL	TOTAL AÑO
71,893	3.373%	2,131,575	8.474%	25,154,303

Finalmente el TPDA se calcularía como sigue a continuación dividiendo el total del año para los 365 días del año.

$$TPDA = \frac{25,154,303}{365} = 68916$$

Se debe recordar que siempre el cálculo de TPDA se realiza de manera aproximada, en el presente estudio la aproximación viene dada puesto que no se dispone de estadísticas en el lugar del proyecto. Puntualmente, el cálculo tiene validez en cuanto a la tendencia global del transporte de la ciudad; misma que se ha mantenido estable desde una perspectiva de desarrollo y crecimiento de Quito.

#### **Cálculo del TPDA futuro.**

El tráfico promedio diario anual futuro es aquel valor estimado del volumen de vehículos que tendrá la intersección en el futuro, calculado para la cantidad de años que se requiera proyectar el diseño. Este cálculo se lo realiza en base a la tendencia de crecimiento del tráfico o en su defecto, del indicador más apropiado que tenga relación con

la población y el transporte de la misma. Para la proyección del TPDA calculado anteriormente, se usa la fórmula mostrada a continuación.

$$TPDA_f = TPDA_a(1 + i)^n$$

Donde:

- $TPDA_f$  = tráfico promedio diario anual futuro.
- $TPDA_a$  = tráfico promedio diario anual actual.
- $i$  = tasa de crecimiento del parque automotriz.
- $n$  = número de años o período al que se quiere proyectar.

Por otro lado, la tasa de crecimiento del parque automotriz que se detalla en las estadísticas de transporte del INEC, sin embargo, solo se tiene información hasta el año 2025 (ver Tabla 19), dado que se proyectará el TPDA para 20 años, a partir del año 2025 y hasta el 2033 es factible interpolar la tasa de crecimiento por lo tanto el valor de tasa de crecimiento entre 2025 y 2033 proviene de aproximación polinómica representada en la figura 22.

Tabla 19. Tasa de crecimiento del parque automotriz. (Fuente: INEC, 2013)

<b>Tasa de crecimiento vehicular</b>	
<b>2010-2015</b>	1.54%
<b>2015-2020</b>	1.06%
<b>2020-2025</b>	0.81%
<b>2025-2033*</b>	0.67%



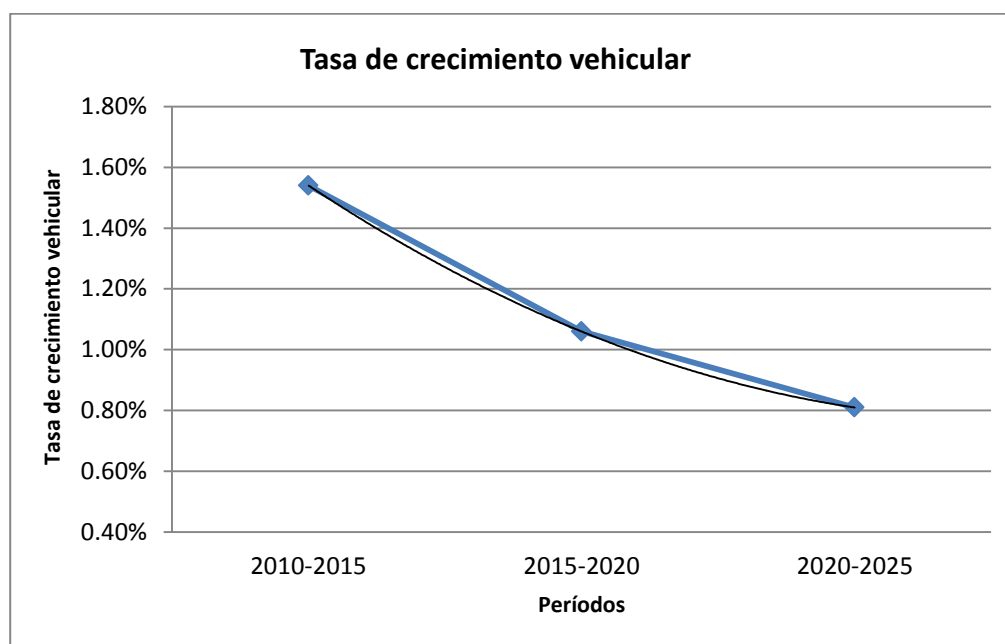


Figura 22. Línea de tendencia del crecimiento vehicular.

En base a esta información se elabora la tabla 20 (se muestra a continuación) que resume las proyecciones de TPDA para los períodos indicados en la tabla 19. Lo que muestra que para el año 2033 se espera que se incremente alrededor del 15.9% (80.000 vehículos) la demanda en la intersección. El conocer el TPDA es importante desde el punto de vista que se debe diseñar la intersección para la demanda futura y en ese sentido poder anticiparse al incremento de demanda, por lo tanto lograr que el nivel de servicio de la intersección se garantice en el tiempo.

Tabla 20. TPDA proyectado para 20 años.

<b>TPDA en la intersección (Proyección)</b>	
<b>2015</b>	69,128
<b>2020</b>	72,871
<b>2025</b>	75,870
<b>2033*</b>	80,033

### **Volumen máximo horario (VHP) y factor de hora pico (FHP).**

Definido en el capítulo 2, el volumen máximo horario es la cantidad máxima de vehículos que transitan por un tramo o por un punto del mismo durante un período de 60 minutos. Se considera que las condiciones del tráfico máximo durante 15 minutos se mantienen durante una hora aproximadamente. Por esta razón, la hora de máxima demanda del día, es la hora pico; comúnmente asociada al período de 15 minutos de mayor demanda en conjunto con otros 3 períodos de 15 minutos inmediatamente adyacentes que conforman la hora. En este contexto, el factor de hora pico (FHP) se convierte en la relación o proporción existente entre el volumen total de la hora pico medido y el volumen máximo que se presenta en el período 15 minutos expandido a una hora (multiplicado por 4 para generar las condiciones de dicho período durante una hora). En definitiva el factor de hora pico es una medida de la cantidad de vehículos que maneja la intersección durante la hora pico en relación con el período de 15 minutos de máxima demanda. En este sentido mide la variabilidad de la demanda durante la hora pico.

Sobre el procedimiento ya descrito, se presentan los resultados de los cálculos de dos grupos diferentes de datos de demanda, tanto del volumen máximo horario como del factor de hora pico. Primero, se muestran los resultados para los datos que se encuentran disponibles del conteo automático sobre la Av. Coruña N/S y en un segundo grupo de cálculos se muestran los mismos cálculos sobre el conteo manual en todos los ramales. Para ambos grupos de datos, se muestra el volumen máximo horario definiendo la hora máxima, así como el factor de hora pico correspondiente. El procedimiento de cálculo se encuentra detallado en el anexo E y F para los conteos automáticos y manuales, respectivamente. Las figuras 24 y 23 muestran el momento del día en el que ocurre la hora pico por ramal, y una comparación de los valores numéricos del FHP; respectivamente. Se

presenta en las figuras 24 y 23, una comparación de los días de la semana en base a la información del ramal de la Av. La Coruña n/s (datos del contador automático).

Tabla 21. Resumen de FHP para las horas de mayor demanda durante la semana en la Av. Coruña N/S

DÍA DE LA SEMANA	HORA PICO	FHP
jueves, 18 de julio de 2013	7:30 - 8:30	0.936
viernes, 19 de julio de 2013	7:45 - 8:45	0.965
sábado, 20 de julio de 2013	9:45 - 10:45	0.972
domingo, 21 de julio de 2013	12:00 - 13:00	0.931
lunes, 22 de julio de 2013	7:45 - 8:45	0.979
martes, 23 de julio de 2013	7:30 - 8:30	0.966
miércoles, 24 de julio de 2013	7:45 - 8:45	0.968

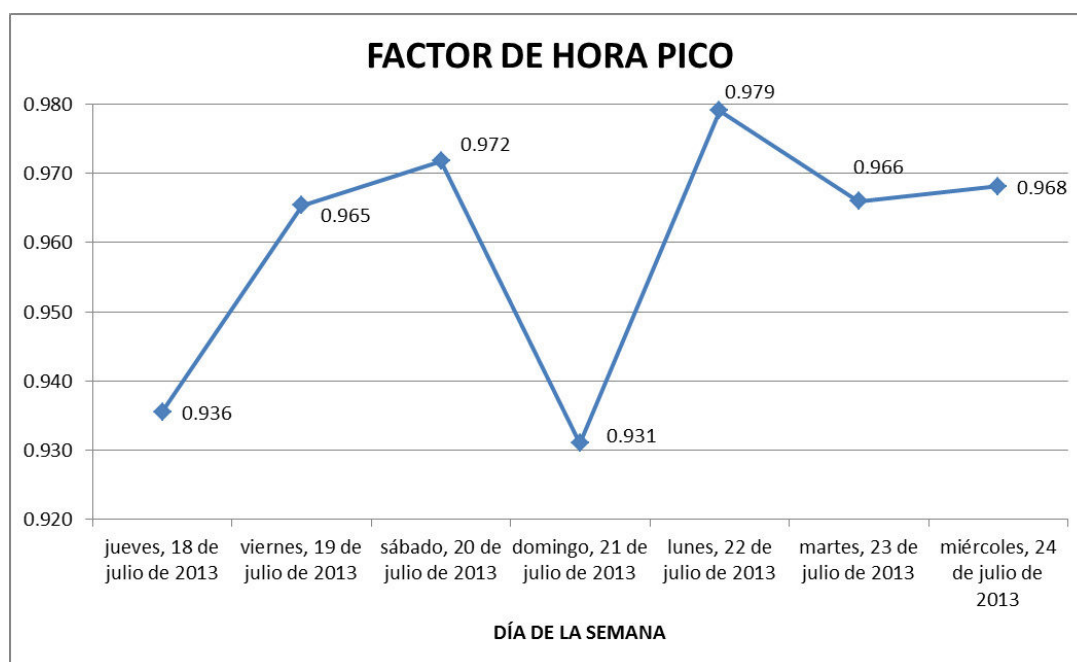


Figura 23. Variabilidad del FHP durante la semana en la Av. Coruña N/S.

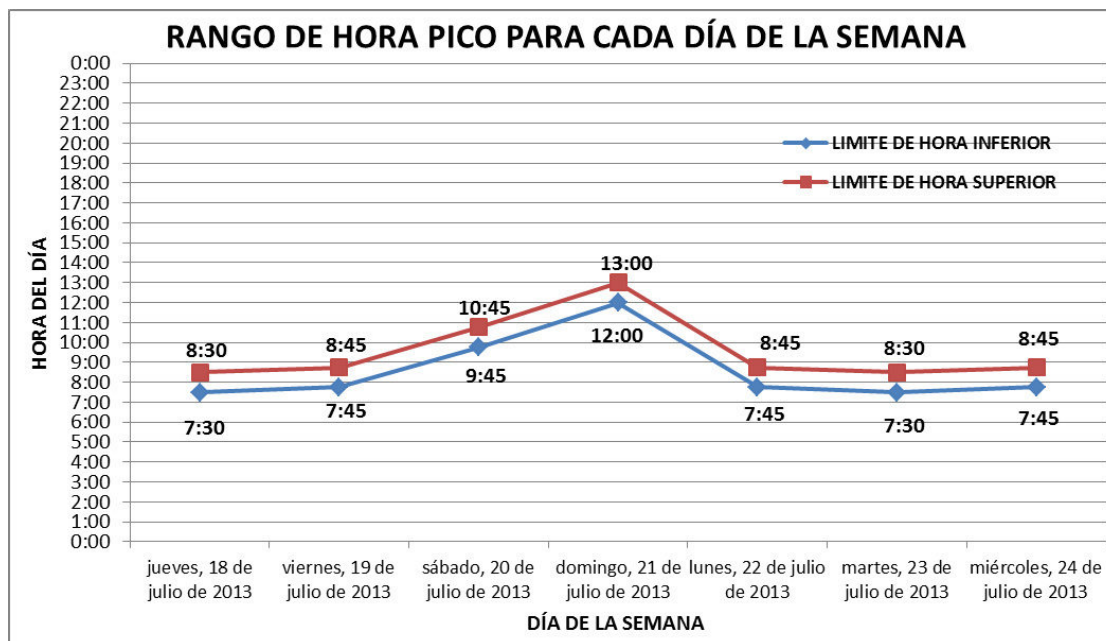


Figura 24. Ubicación de las horas de máxima demanda durante la semana para la Av. Coruña N/S.

Es importante resaltar ciertas características con respecto al FHP. En primer lugar, es importante enfatizar en que el resultado del cálculo del FHP muestra como durante las horas de mayor demanda, el tráfico de los 15 minutos de mayor demanda es muy parecido al resto de la hora pico, esto se evidencia en el valor del factor para todos los días de la semana; siempre superior al 0.9 (el rango de variación del FHP es entre 0.931 y 0.979). Por otro lado, es un hecho no menor la ubicación de la hora pico durante el día; siempre oscilando entre las 07:30 (rango inferior) y las 08:45 am (rango superior) para los días entre semana que en definitiva rigen la mayor demanda. Esta característica de uniformidad, muestra una tendencia relativamente constante asociada al momento de mayor demanda de la intersección al menos durante los días laborables. Por otro lado, como puede suponerse dado el uso del suelo en la zona (sin ser necesariamente así para todos los casos), el FHP correspondiente al domingo es el menor de la semana.

Continuando con el cálculo del FHP, ahora para todos los ramales en función de los datos del conteo manual, es necesario transformar los datos de conteo diferenciado a una

unidad básica para el cálculo del FHP. Se siguen los lineamientos del HCM 2010 donde se sugiere para este procedimiento usar la unidad base el vehículo liviano promedio. Para transformar los vehículos de diferentes tipos (buses, camiones, motos) usamos los factores detallados a continuación en la tabla 22. Se observa que en la metodología del HCM para el cálculo de FHP, capacidad, demoras, niveles de servicio, entre otros; se omite la contribución de las motocicletas y bicicletas (tema que será discutido más adelante con mayor profundidad en la sección dedicada a los procedimientos del HCM). (National Research Council, 2010)

Tabla 22. Factores de equivalencia de vehículos livianos, según HCM. (National Research Council, 2010)

<b>VEHÍCULOS LIVIANOS EQUIVALENTES</b>		
<b>BUSES</b>	<b>CAMIONES</b>	<b>MOTOS</b>
2	2	0

Una vez transformado el volumen de vehículos pesados a su equivalente en livianos, se utiliza el mismo procedimiento (ya descrito anteriormente para los conteos automáticos) para determinar la hora de máxima demanda en cada ramal y seguidamente el factor de hora pico. El resumen de FHP para cada ramal y para la fecha en la que se realizó el conteo se encuentra detallado en la tabla 23.

Tabla 23. Resumen del FHP para todos los ramales para el martes 30 de Julio 2013.

<b>RAMAL</b>	<b>HORA PICO</b>	<b>FHP</b>
Av. Coruña desde la San Ignacio	8:30 - 9:30	0.914
Av. Colón desde la Plácido Caamaño	8:00 - 9:00	0.941
Av. 12 de Octubre desde la Salazar	17:30 - 18:30	0.951
Av. Coruña desde la Isabel La Católica	7:30 - 8:30	0.921
Av. 12 de Octubre desde Lincoln	9:00 - 10:00	0.762

Para los valores reportados en la tabla 23, cabe resaltar ciertas particularidades importantes desde la perspectiva del funcionamiento de la intersección durante las horas de

mayor demanda. Evidentemente durante la mañana se registran los períodos de mayor demanda para 4 de los 5 ramales de la intersección. El ramal que registra su hora pico por la tarde es el de la Avenida 12 de Octubre desde la calle Francisco Salazar, y la razón fundamental para este hecho es que, coherentemente con el uso del suelo ya discutido anteriormente; los mayores flujos por la tarde son Sur-Norte dado que la zona empresarial y comercial se encuentra al Sur de la intersección y por la tarde las personas que durante el día permanecen en dicha zona, la abandonan. Exactamente lo mismo se puede concluir por la mañana con los flujos Norte-Sur provenientes principalmente de la Avenida Coruña desde la calle San Ignacio; al cruzar la intersección hacia el Sur.

Por otro lado, en términos numéricos de valor del FHP, todos los ramales tienen un valor superior al 0.9, con excepción del ramal de la Av. 12 de Octubre desde la calle Lincoln. El hecho de que el valor del FHP sea significativamente menor que el del resto de ramales y al analizar los datos obtenidos del conteo manual en períodos de 15 minutos; se puede observar que este ramal presenta una demanda altamente variable entre períodos, específicamente en la hora pico el conteo reportó valores muy diferentes para cada período de 15 minutos por ello un valor de FHP bajo. Las figuras 25 y 26 muestran el momento del día en el que ocurre la hora pico por ramal, y una comparación de los valores numéricos del FHP; respectivamente.

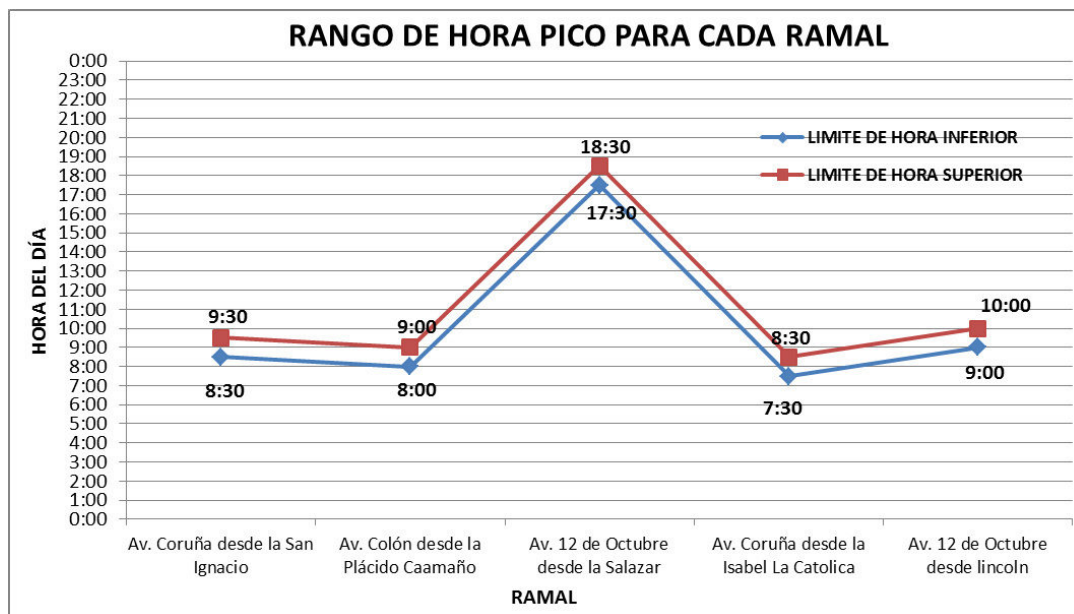


Figura 25. Ubicación de las horas de máxima durante el día, para cada ramal.

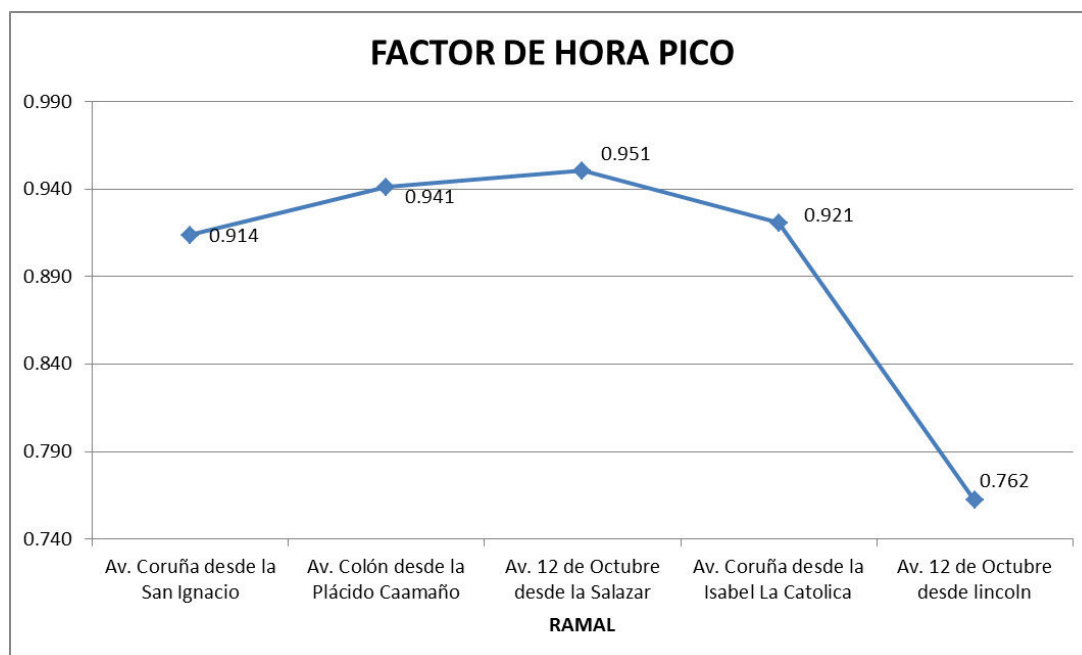


Figura 26. Variabilidad del FHP por ramal.

## Giros

El estudio de los giros que se dan en una intersección es fundamental para comprender la dinámica de la misma, es importante identificar los patrones de

comportamiento de los usuarios. Entre otros usos, los cuantificar los volúmenes asociados a los giros tiene una aplicación directa al optimizar el diseño de la intersección. Cuando la intersección en estudio es un redondel, el tipo de giros que se busca conocer es el ramal de destino de los flujos que entran por cada ramal. En otras palabras el estudio de los giros tiene como fin identificar cuantos vehículos que entran al redondel por cada ramal salen del mismo por cada ramal respectivamente, al mismo tiempo analizar cómo cambian estas cantidades en el tiempo.

Siguiendo la metodología de los aforos manuales descrita en el presente capítulo, se realiza de manera similar la cuantificación de los volúmenes de cada giro en el redondel. Se usa la misma separación de los tipos de vehículos (autobuses, livianos, motocicletas y camiones) que se definieron en los aforos manuales de cada ramal. Dada la importancia de los vehículos livianos en la composición vehicular de la demanda en la intersección, se prioriza los giros de este tipo de vehículo. Cabe señalar que para que los datos de giros puedan ser comparables y coherentes con el resto de la información recabada sobre la demanda en la intersección, éstos deben ser tomados durante los mismos períodos de tiempo que se definieron para los aforos manuales en cada ramal. Por lo tanto, se realiza los aforos de los giros en períodos de 15 minutos tanto en la mañana (de 07:30 a 10:00) como en la tarde de (17:00 a 19:00). Es importante mencionar que el procedimiento de cuantificar los volúmenes de giros, se lo realizó durante un día diferente a los aforos manuales, por cuestiones de logística y personal disponible para realizar el procedimiento. Por lo tanto, para que los datos recolectados resulten válidos, se escogió un día de similares características de acuerdo al criterio de la tendencia histórica discutido anteriormente y cuyos datos se muestran en el Anexo D; este día fue el martes 3 de septiembre del 2013.



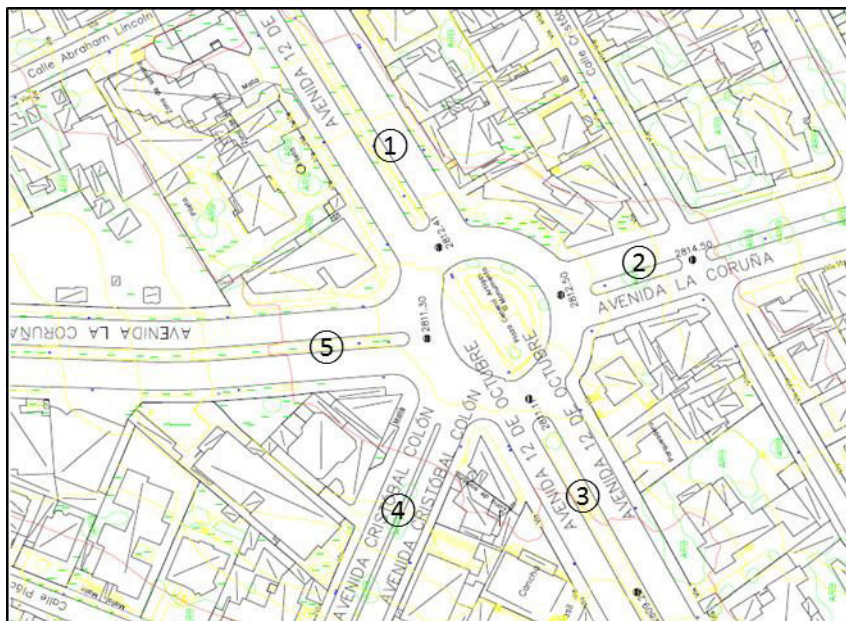


Figura 27. Esquema de la distribución numérica de ramales para determinar los giros.

El anexo G contiene un ejemplo de la hoja de campo utilizada para este procedimiento. Las estaciones de conteo se colocan en cada entrada de ramal y se registran tantos giros de los vehículos livianos como sean posibles en cada período de 15 minutos. El registro consiste en seguir la trayectoria de cada vehículo desde el ramal de entrada hasta el ramal por el que sale del redondeo. Las tablas 24-28 muestran los datos de los giros como porcentaje del total de vehículos tomados en cuenta (porcentaje del total de trayectorias tomadas en cuenta). La numeración corresponde al ramal de salida de acuerdo al esquema presentado en la figura 2.

#### **Análisis de los datos.**

Para el caso de la cantidad de vehículos que entran por la Av. 12 de Octubre e/w (desde la calle Lincoln), los datos de giros muestran una notable cantidad de vehículos (rango 61%-71%) que abandonan la intersección por el otro ramal de la Avenida 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar); esto ocurre tanto en las horas de la mañana como en las horas pico de la tarde. Un segundo ramal en importancia es el de la Av. Colón w/e (desde la calle Plácido Caamaño), si bien es importante, la diferencia resulta muy

amplia comparado con el ramal anteriormente discutido, dado que el rango porcentual oscila entre un 13% - 28%; tanto durante las horas de la mañana como las de la tarde. El resto de ramales por los que los vehículos abandonan la intersección, tienen una importancia mucho menor ya que para los períodos de 15 minutos, la mayoría oscila entre el 0%- 10% de vehículos que salen, generalmente no superando un 5%.

Tabla 24. Porcentaje de giros, entrada Av. 12 de Octubre desde Lincoln.

**PORCENTAJE DE VOLUMEN DE TRAFICO DE GIRO**

**FECHA :** MARTES 3 DE SEPTIEMBRE 2013

**LUGAR :** Redondel Plaza General Jose Artigas

**RAMAL :** Entrada - Av. 12 de Octubre e/w [1]

	HORA	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	4%	3%	77%	15%	1%
	7:45 - 8:00	1%	10%	69%	13%	7%
	8:00 - 8:15	2%	3%	72%	17%	6%
	8:15 - 8:30	2%	4%	61%	23%	10%
	8:30 - 8:45	0%	4%	67%	25%	4%
	8:45 - 9:00	1%	5%	65%	21%	8%
	9:00 - 9:15	1%	2%	67%	21%	9%
	9:15 - 9:30	1%	7%	66%	20%	7%
	9:30 - 9:45	0%	4%	77%	16%	3%
	9:45 - 10:00	1%	2%	70%	19%	7%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	1%	4%	67%	19%	9%
	17:15 - 17:30	0%	2%	62%	28%	7%
	17:30 - 17:45	0%	4%	62%	28%	5%
	17:45 - 18:00	1%	5%	69%	20%	6%
	18:00 - 18:15	1%	1%	64%	25%	7%
	18:15 - 18:30	1%	2%	68%	26%	4%
	18:30 - 18:45	0%	3%	68%	27%	2%
	18:45 - 19:00	0%	4%	63%	25%	7%

En el caso de los giros que se producen desde la Av. Coruña s/n (desde la calle Isabel La Católica), la información muestra una vez más una preponderancia por parte de los usuarios para optar por un giro particular; éste giro es el de la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio), con valores porcentuales registrados entre el 61% - 75% por la mañana y entre el 56% - 69% en la tarde. Por otro lado, el segundo ramal más importante, aunque significativamente menor que el anterior, es la Av. Colon w/e (desde la calle Plácido

Caamaño) con valores porcentuales reportados entre 14% - 27% (existe un valor de 31% fuera del rango reportado como un caso especial mas no como dentro de la tendencia).

Tabla 25. Porcentaje de giros, entrada Av. Coruña desde Isabel la Católica.

**PORCENTAJE DE VOLUMEN DE TRAFICO DE GIRO**

FECHA : MARTES 3 DE SEPTIEMBRE 2013

LUGAR : Redondel Plaza General Jose Artigas

RAMAL : Entrada - Av. Coruña s/n [2]

	HORA	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	9%	0%	7%	14%	70%
	7:45 - 8:00	3%	0%	0%	19%	78%
	8:00 - 8:15	2%	1%	2%	31%	63%
	8:15 - 8:30	6%	0%	1%	18%	75%
	8:30 - 8:45	6%	2%	2%	21%	69%
	8:45 - 9:00	13%	0%	8%	16%	63%
	9:00 - 9:15	8%	0%	6%	25%	61%
	9:15 - 9:30	2%	0%	3%	24%	70%
	9:30 - 9:45	5%	0%	2%	25%	67%
	9:45 - 10:00	14%	0%	3%	16%	66%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	11%	0%	1%	21%	67%
	17:15 - 17:30	14%	2%	3%	16%	65%
	17:30 - 17:45	10%	0%	1%	21%	68%
	17:45 - 18:00	14%	0%	2%	23%	62%
	18:00 - 18:15	6%	1%	4%	19%	69%
	18:15 - 18:30	10%	0%	1%	24%	64%
	18:30 - 18:45	16%	2%	5%	21%	56%
	18:45 - 19:00	10%	3%	1%	27%	58%

Un tercer grupo importante de vehículos, pese a ser significativamente menores que los grupos anteriores; es el que opta por salir de la intersección pro la Av. 12 de Octubre e/w. Esta particularidad (que se presenta únicamente durante la tarde) representa entre un 10%-16%, y se pudo identificar como una muy probable reacción de los usuarios ante la congestión en el ramal de la Av. Coruña n/s. Los otros ramales tienen una importancia mucho menor no superando el 3% para el ramal de la Av. 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar) y prácticamente 0% para el ramal restante.

Tabla 26. Porcentaje de giros, entrada Av. 12 de Octubre desde Salazar.

**PORCENTAJE DE VOLUMEN DE TRAFICO DE GIRO**

FECHA : MARTES 3 DE SEPTIEMBRE 2013

LUGAR : Redondel Plaza General Jose Artigas

RAMAL : Entrada - Av. 12 de Octubre w/e [3]

	HORA	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	36%	9%	0%	6%	48%
	7:45 - 8:00	47%	4%	2%	4%	43%
	8:00 - 8:15	33%	3%	0%	13%	51%
	8:15 - 8:30	38%	3%	2%	11%	47%
	8:30 - 8:45	56%	4%	0%	5%	35%
	8:45 - 9:00	27%	4%	2%	9%	58%
	9:00 - 9:15	26%	3%	3%	12%	57%
	9:15 - 9:30	29%	1%	1%	11%	57%
	9:30 - 9:45	41%	0%	2%	5%	53%
	9:45 - 10:00	32%	3%	0%	7%	58%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	40%	2%	2%	6%	51%
	17:15 - 17:30	53%	2%	0%	8%	38%
	17:30 - 17:45	53%	0%	0%	6%	42%
	17:45 - 18:00	47%	4%	2%	4%	43%
	18:00 - 18:15	41%	2%	0%	8%	49%
	18:15 - 18:30	56%	0%	2%	5%	37%
	18:30 - 18:45	43%	6%	0%	3%	48%
	18:45 - 19:00	48%	2%	0%	7%	43%

En el caso de los giros por los que optan los usuarios que ingresan a la intersección por el ramal correspondiente a la Av. 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar), se observa como existen dos ramales de salida importantes. Por un lado, el ramal correspondiente a la Av. Coruña n/s (desde calle San Ignacio) que registra en promedio en las mañanas un 51% del total de giros (rango, 35% - 58%), mientras que por otro lado; el ramal de la Av. 12 de octubre e/w (desde calle Lincoln) es numéricamente menor, pero también importante durante las mañanas registrando un 36% de los giros (rango, 26% - 47%). En la tarde, la situación se invierte en cuanto al ramal de mayor importancia, pero se mantienen los dos ramales ya mencionados como los más importantes; se registra un 48% en promedio (rango, 40% - 56%) para Av. 12 de Octubre e/w (desde calle Lincoln) mientras que para la Av. Coruña n/s (desde calle San Ignacio) se tiene un 44% (rango, 37% - 49%). Por otro lado, los ramales restantes tienen mucho menor importancia comparados con los ya mencionados. Para el ramal de la Av. Colón w/e (desde calle Plácido Caamaño)

se registra en promedio un 7%, y para los restantes ramales, incluso no llega en promedio ni al 3%; estos valores tanto para las horas de la mañana como de la tarde.

Tabla 27. Porcentaje de giros, entrada Av. Colon desde Plácido Caamaño.

**PORCENTAJE DE VOLUMEN DE TRAFICO DE GIRO**

FECHA : MARTES 3 DE SEPTIEMBRE 2013

LUGAR : Redondel Plaza General Jose Artigas

RAMAL : Entrada - Av. Cristobal Colón w/e [4]

	HORA	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	44%	15%	26%	3%	12%
	7:45 - 8:00	19%	31%	44%	0%	6%
	8:00 - 8:15	13%	33%	50%	1%	3%
	8:15 - 8:30	13%	40%	43%	0%	3%
	8:30 - 8:45	8%	22%	62%	0%	8%
	8:45 - 9:00	4%	30%	63%	1%	1%
	9:00 - 9:15	7%	39%	50%	0%	4%
	9:15 - 9:30	3%	39%	53%	0%	5%
	9:30 - 9:45	5%	42%	53%	0%	1%
	9:45 - 10:00	16%	32%	46%	0%	5%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	8%	47%	43%	1%	1%
	17:15 - 17:30	14%	31%	53%	1%	0%
	17:30 - 17:45	6%	38%	56%	0%	0%
	17:45 - 18:00	17%	40%	41%	1%	0%
	18:00 - 18:15	3%	40%	52%	1%	2%
	18:15 - 18:30	5%	42%	50%	1%	4%
	18:30 - 18:45	8%	56%	32%	1%	2%
	18:45 - 19:00	9%	64%	25%	0%	1%

El caso de los giros que se producen a partir de los vehículos que ingresan por la Av. Cristóbal Colon w/e (desde calle Plácido Caamaño) es similar a los anteriormente analizados, donde se pueden distinguir dos ramales que concentran prácticamente el 90% del total de giros. Estos dos ramales son el correspondiente a la Av. Coruña s/n (desde calle Isabel La Católica) que tiene un porcentaje de giros promedio del 32% en la mañana y 45% en la tarde; mientras que por otro lado, el ramal de mayor importancia es la Av. 12 de Octubre w/e (desde calle Francisco Salazar) con porcentajes promedios de giros para la mañana y tarde de 49% y 44%, respectivamente. Un tercer ramal importante, aunque significativamente menor es la Av. 12 de octubre e/w (desde la calle Lincoln) donde se reportaron valores promedio del 13% y 9% del total de los giros tanto para las horas de la

mañana como de la tarde respectivamente. El resto de ramales representan valores promedios prácticamente insignificantes.

Tabla 28. Porcentaje de giros, entrada Av. Coruña desde San Ignacio.

**PORCENTAJE DE VOLUMEN DE TRAFICO DE GIRO**

**FECHA :** MARTES 3 DE SEPTIEMBRE 2013

**LUGAR :** Redondel Plaza General Jose Artigas

**RAMAL :** Entrada - Av. Coruña n/s [5]

	HORA	[1]	[2]	[3]	[4]	[5]
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	2%	28%	56%	7%	7%
	7:45 - 8:00	1%	22%	60%	9%	9%
	8:00 - 8:15	2%	22%	55%	10%	10%
	8:15 - 8:30	2%	25%	62%	6%	6%
	8:30 - 8:45	1%	27%	58%	7%	7%
	8:45 - 9:00	1%	24%	64%	6%	6%
	9:00 - 9:15	0%	23%	64%	6%	6%
	9:15 - 9:30	1%	16%	72%	5%	5%
	9:30 - 9:45	0%	20%	64%	8%	8%
	9:45 - 10:00	2%	24%	60%	7%	7%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	1%	22%	61%	15%	1%
	17:15 - 17:30	2%	25%	60%	11%	2%
	17:30 - 17:45	2%	32%	57%	8%	1%
	17:45 - 18:00	2%	34%	58%	7%	0%
	18:00 - 18:15	2%	43%	52%	2%	0%
	18:15 - 18:30	3%	46%	48%	1%	1%
	18:30 - 18:45	1%	45%	51%	1%	2%
	18:45 - 19:00	1%	42%	53%	3%	1%

Para el caso del último ramal a ser analizado, la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio), se observa una vez más que existen dos ramales importantes. El primero y más importante de los ramales sobre el total de giros es la Av. 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar) que en promedio tiene un porcentaje del total de giros de 61% por la mañana y por la tarde 55%. Si bien menos importante, pero segundo ramal con mayor cantidad de giros; es la Av. Coruña s/n (desde la Isabel La Católica) con porcentajes promedios de 23% y 36% para la mañana y la tarde respectivamente. El resto de ramales son significativamente menos importantes con porcentajes máximos del 7%, como es el caso de la Av. Colón w/e (desde calle Plácido Caamaño).

Tabla 29. Porcentajes totales de salida de vehículos del redondel, por cada ramal.

SUMATORIA DE SALIDA DE VEHICULOS DEL REDONDEL POR CADA RAMAL						
	HORA	[1] 12 Oct. E/W	[2] Coruña S/N	[3] 12 de Oct. W/E	[4] Colon W/E	[5] Coruña N/S
HORA PICO MAÑANA	7:30 - 7:45	14%	11%	29%	10%	36%
	7:45 - 8:00	12%	11%	30%	11%	36%
	8:00 - 8:15	9%	11%	32%	16%	31%
	8:15 - 8:30	11%	13%	31%	11%	33%
	8:30 - 8:45	13%	13%	33%	12%	29%
	8:45 - 9:00	8%	13%	40%	10%	28%
	9:00 - 9:15	7%	12%	39%	14%	28%
	9:15 - 9:30	7%	10%	39%	13%	32%
	9:30 - 9:45	10%	10%	37%	12%	31%
	9:45 - 10:00	13%	9%	34%	12%	33%
HORA PICO TARDE	17:00 - 17:15	13%	15%	38%	12%	23%
	17:15 - 17:30	17%	11%	37%	14%	21%
	17:30 - 17:45	16%	13%	38%	13%	20%
	17:45 - 18:00	17%	15%	37%	11%	20%
	18:00 - 18:15	13%	16%	37%	12%	22%
	18:15 - 18:30	18%	15%	36%	12%	19%
	18:30 - 18:45	14%	21%	35%	11%	19%
	18:45 - 19:00	16%	21%	30%	12%	21%

La tabla 29 resume la cantidad de vehículos livianos que salen por cada ramal para el total de vehículos que entran a la intersección por todos los ramales y durante períodos de 15 minutos. Las figuras 28 y 29 son la representación gráfica de los porcentajes de giros para cada ramal tanto para la mañana como para la tarde. Al analizar los datos, se observa que consecuentemente con el análisis presentado sobre los giros que se producían partiendo de cada ramal, el total de giros muestra una preferencia del usuario para abandonar la intersección ya sea por la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio) así como la Av. 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar). Durante la mañana, el promedio para estos ramales ya mencionados es 32% y 34% respectivamente; al mismo tiempo, los restantes ramales tienen en promedio 10% para la Av. 12 de Octubre e/w (desde la calle Lincoln), 11% para la Av. Coruña s/n (desde la calle Isabel la Católica) y 12% para la Av. Colon w/e (desde la calle Plácido Caamaño).

Durante la mañana, es sumamente marcada la importancia de los dos ramales que concentran la mayor cantidad de giros, representando un 66% en promedio, en otras palabras agrupan dos terceras partes del total; el resto de ramales se reparten equilibradamente la otra tercera parte del total de vehículos. Para el caso de la tarde, los ramales más importantes siguen siendo los mismos que por la mañana, si bien la diferencia es menor sobre todo el ramal de la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio) con un valor promedio de 21%, mientras que los ramales de la 12 de Octubre e/w (desde la calle Lincoln) y la Av. Coruña s/n (desde la calle Isabel La Católica) se incrementan a un 16% en promedio. Es particularmente interesante que el ramal de la Av. Colón w/e (desde la calle Plácido Caamaño), tiene reporta en promedio un 12% de los giros tanto para la tarde como para la mañana.

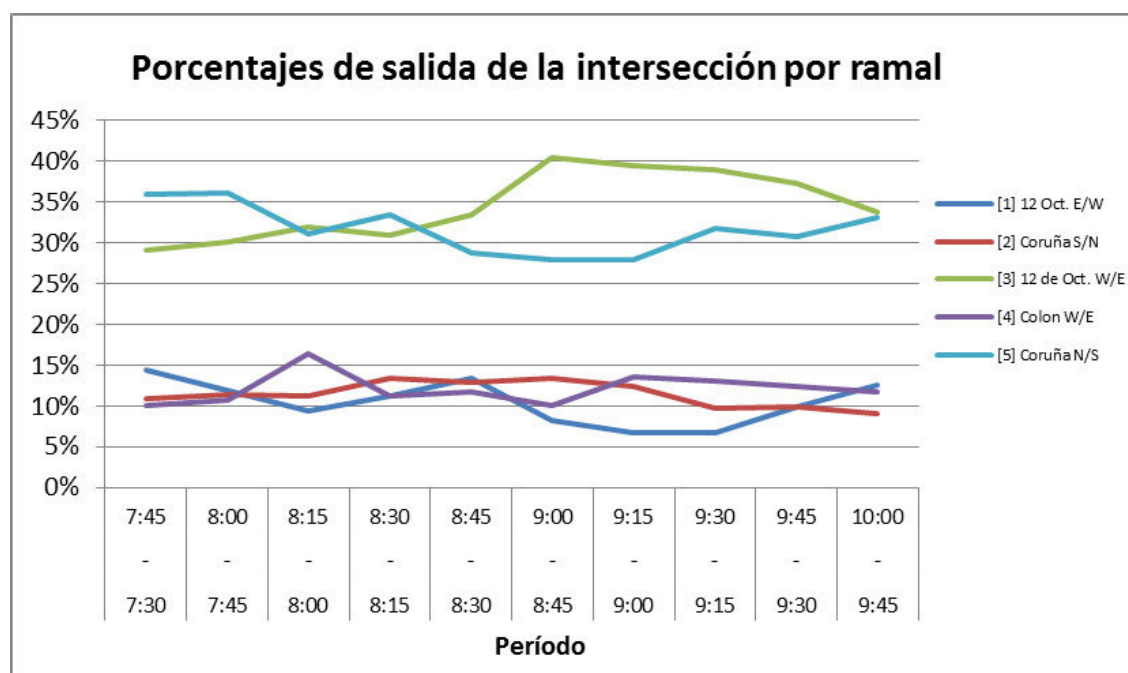


Figura 28. Porcentaje de vehículos que abandonan la intersección durante la mañana.



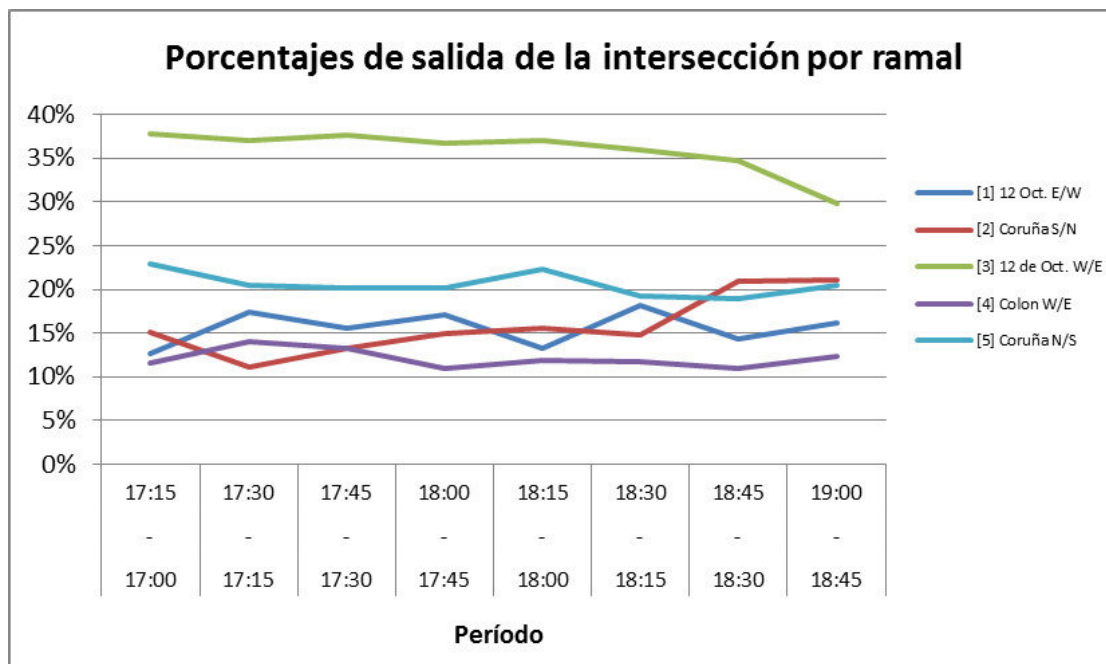


Figura 29. Porcentaje de vehículos que abandonan la intersección durante la tarde.

Los giros cuantificados para los vehículos livianos son definitivamente los más importantes para el estudio, inclusive para el modelo de la intersección (presentado en el siguiente capítulo), pero no son los únicos giros importantes. Por esta razón, es necesario también conocer los giros de los buses dado su rol fundamental en la composición de la demanda de la intersección. La tabla 30 resume las líneas de transporte público, definidas tanto por el ramal de entrada como de salida. Dada la matriz de líneas de transporte público, las trayectorias que siguen las unidades de transporte dentro de la intersección permanecen constantes; por lo cual es únicamente necesario conocer la frecuencia entre unidades para obtener la información de los giros y poder incluirla en el modelo (motivo de discusión del capítulo 4).

Tabla 30. Matriz de líneas de transporte público que atraviesan la intersección.

MATRIZ DE LÍNEAS DE TRANSPORTE PÚBLICO					
ENTRA \ SALE	Av. 12 de Octubre E/W	Av. Coruña S/N	Av. 12 de Octubre W/E	Av. Colón W/E	Av. Coruña N/S
Av. 12 de Octubre E/W					
Av. Coruña S/N				- Victoria - Bellavista	
Av. 12 de Octubre W/E				- TransAlfa - Translatinos	- Catar - MetroTrans - Quiteño libre - Guadalajara - Colectrans - Reino De Quito - Alborada
Av. Colón W/E		- Victoria - Bellavista	- TransAlfa - Translatinos	- Corredor Sur Occidental	
Av. Coruña N/S			- Catar - MetroTrans - Quiteño libre - Guadalajara - Colectrans - Reino De Quito - Alborada		

### Estudio de velocidades y tiempos de pérdida

El estudio de la velocidad en una intersección es sumamente importante dada la relación que tienen ésta con los indicadores que definen la calidad del servicio que presta la intersección, la geometría, la cantidad y frecuencia de accidentes, distancia de visibilidad y frenado, el diseño de la señalización; entre muchas otras características con las que se encuentra en una relación de mutua dependencia.

Para determinar la velocidad de circulación, se optó por el método del vehículo flotante. Este método consiste en utilizar un vehículo de prueba con un conductor y un pasajero en su interior, éste último se encargará de registrar el tiempo que toma al vehículo llegar de una posición a otra. Primeramente se registra el tiempo que toma al vehículo trasladarse de la posición inicial a la final en condiciones de flujo libre, en otras palabras cuando no existan otros usuarios que puedan producir obstáculos a al desplazamiento del vehículo. Durante el flujo libre, la velocidad y consecuentemente el tiempo, entre el punto

de inicio y el final del trayecto definido se encuentran determinadas únicamente por la geometría de la intersección; por tanto ésta es un importante indicador de la calidad de la geometría del redondel en este caso.

Adicionalmente, se debe registrar varias veces el tiempo que le toma al vehículo realizar el mismo trayecto, durante las horas pico definidas con anterioridad. De la comparación entre el tiempo que se requiere para realizar el trayecto en flujo libre y el que se requiere para el mismo trayecto durante las horas de mayor demanda; se determina las demoras que sufre el usuario, mismas que son causadas por la congestión, la geometría de la intersección, las señales de tránsito y dispositivos de control, las habilidades para conducir de los usuarios, entre otros. Para lograr tener un muestreo concluyente, es necesario realizar este procedimiento tantas veces como sea posible. Para el presente estudio, se decidió realizar 10 mediciones para cada tramo, tanto en las horas de mayor demanda en la mañana como en la tarde (5 en la mañana y 5 en la tarde). Por otro lado, es importante también realizar el procedimiento durante diferentes momentos dentro del rango de las horas de mayor demanda, inclusive en días diferentes; con el fin de que la información se tan cercana a la realidad como sea posible. Los datos registrados por el método del vehículo flotante están detallados en el Anexo H.

Una vez registrados los tiempos de los trayectos, es preciso medir la distancia que existe entre el punto inicial y el final, para poder calcular la velocidad de operación. Para este procedimiento se utilizó un odómetro manual de rueda con la finalidad de conocer con mayor exactitud la distancia entre los puntos de inicio y final (dicho aparato tiene una precisión de  $\pm 0.05$  metros, suficiente para el caso de estudio). La tabla 31 muestra una matriz con las distancias medidas entre los puntos de inicio y final de cada trayecto tomado en cuenta; cabe señalar que se definieron todos los trayectos posibles entre ramales, desde

la calle inmediatamente anterior al redondel, hasta la calle inmediatamente posterior del redondel.

Tabla 31. Distancias de recorrido completo entre ramales (entrada y salida).

<b>MATRIZ DE DISTANCIAS DE RECORRIDOS ENTRE RAMALES (metros)</b>					
<b>DESDE \ HASTA</b>	<b>Av. 12 de Octubre E/W</b>	<b>Av. Coruña S/N</b>	<b>Av. 12 de Octubre W/E</b>	<b>Av. Colón W/E</b>	<b>Av. Coruña N/S</b>
<b>Av. 12 de Octubre E/W</b>		302.15	330.80	284.75	308.15
<b>Av. Coruña S/N</b>	241.75		370.65	320.15	354.25
<b>Av. 12 de Octubre W/E</b>	341.05	290.35		422.45	457.45
<b>Av. Colón W/E</b>	333.80	284.35	308.30		448.90
<b>Av. Coruña N/S</b>	415.75	365.35	384.85	341.35	

A continuación, se muestran los datos de las velocidades promedio (en km/h) de operación de la intersección, resumidos en la tabla 25. Estas velocidades, se encuentran definidas como ya se mencionó anteriormente entre ramales de entrada y salida del redondel y teniendo como límites las intersecciones con las calles inmediatamente anterior al redondel y la calle inmediatamente posterior. El promedio de velocidad de operación durante las horas pico es de 12.0 km/h, de acuerdo con los datos presentados en la tabla 32.

Tabla 32. Velocidades de operación promedio por ramal.

<b>MATRIZ DE VELOCIDADES DE OPERACIÓN PROMEDIO - RECORRIDOS ENTRE RAMALES (km/h)</b>					
<b>DESDE \ HASTA</b>	<b>Av. 12 de Octubre E/W</b>	<b>Av. Coruña S/N</b>	<b>Av. 12 de Octubre W/E</b>	<b>Av. Colón W/E</b>	<b>Av. Coruña N/S</b>
<b>Av. 12 de Octubre E/W</b>		8.7	9.8	6.8	8.8
<b>Av. Coruña S/N</b>	11.5		15.9	10.4	14.0
<b>Av. 12 de Octubre W/E</b>	12.0	11.5		8.3	6.2
<b>Av. Colón W/E</b>	10.0	12.4	10.5		16.3
<b>Av. Coruña N/S</b>	16.0	20.8	13.6	17.2	

Al analizar las velocidades promedio reportadas, vemos como resultan intuitivamente muy bajas para el nivel de operatividad que esperaría el usuario. Si bien se

puede caracterizar el nivel de servicio de la intersección en función de la velocidad; el HCM 2010 en el capítulo 21 que trata exclusivamente sobre redondeles, recomienda que se analice el nivel de servicio de la intersección sobre la base de las demoras por el tipo de control que tiene la intersección o Control Delay. (National Research Council, 2010)

Entonces las demoras por causa del mecanismo de control de una intersección o Control Delay, como su nombre lo explica; son aquellas que están influenciadas por el tipo de control que tiene una intersección. La forma de cuantificar esta demora es mediante la comparación del tiempo que requiere realizar un trayecto si no existiera dicho control en la intersección. Para el caso de estudio, el control que se tiene en el redondel son las señales de tránsito que restringen el flujo libre (ceda el paso en cada ramal de entrada de la intersección, el paso cebra presente en cada ramal, etc.). Inevitablemente, los componentes de la demora están relacionados con la cantidad de usuarios en la intersección, las demoras por la geometría, por el volumen, por incidentes que puedan producirse, entre otros. Si bien, se pueden diferenciar teóricamente los componentes, en la práctica es sumamente complicado medir cada uno por separado. Por tanto, se define en conjunto las demoras por los mecanismos de control, como la suma de los momentos de demoras por desaceleración, demoras por estar detenido y demoras por aceleración. El diagrama de la figura 30, muestra una representación del concepto descrito. (Ko, Hunter, & Guensler, 2007)



Tabla 33. Nivel de servicio, según HCM. [Tabla Modificada del original] (National Research Council, 2010)

<b>Demora (s/veh)</b>	<b>Nivel de servicio</b>
0 - 10	A
> 10 - 15	B
> 15 - 25	C
> 25 - 35	D
> 35 - 50	E
> 50	F

En base a la información recolectada de los tiempos de demoras mediante el método del vehículo flotante, se elabora la tabla 34, misma que contiene las demoras que ocurren en los trayectos entre ramales según la formulación del HCM. La información corresponde a las demoras promedio durante las horas pico y para los trayectos descritos con anterioridad. De la tabla 34, se puede concluir que el nivel de servicio de la intersección para la situación actual, está muy por debajo de lo aceptable; teniendo en prácticamente todos sus ramales valores reportados de demoras significativamente por debajo del nivel más bajo de servicio (“F”).

Tabla 34. Tiempos de demora y niveles de servicio.

**DEMORAS Y NIVELES DE SERVICIO PARA LOS RAMALES**

<b>TRAMO 1-5:</b>	<b>TRAMO 5-1:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA n/s</b>	<b>AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w</b>
Demora (s/veh) = <b>98.5</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>54.6</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 1-4:</b>	<b>TRAMO 4-1:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e</b>	<b>AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w</b>
Demora (s/veh) = <b>128.5</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>90.7</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 1-3:</b>	<b>TRAMO 3-1:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e</b>	<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w</b>
Demora (s/veh) = <b>93.2</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>71.1</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 1-2:</b>	<b>TRAMO 2-1:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA s/n</b>	<b>AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w</b>
Demora (s/veh) = <b>96.5</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>52.7</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 2-5:</b>	<b>TRAMO 5-2:</b>
<b>AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA LA CORUÑA n/s</b>	<b>AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA LA CORUÑA s/n</b>
Demora (s/veh) = <b>60.1</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>83.4</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 2-4:</b>	<b>TRAMO 4-2:</b>
<b>AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e</b>	<b>AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n</b>
Demora (s/veh) = <b>83.4</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>58.9</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 2-3:</b>	<b>TRAMO 3-2:</b>
<b>AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e</b>	<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n</b>
Demora (s/veh) = <b>50.4</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>63.5</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 3-5:</b>	<b>TRAMO 5-3:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s</b>	<b>AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e</b>
Demora (s/veh) = <b>226.4</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>69.0</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 3-4:</b>	<b>TRAMO 4-3:</b>
<b>AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e</b>	<b>AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e</b>
Demora (s/veh) = <b>146.5</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>79.4</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>
<b>TRAMO 4-5:</b>	<b>TRAMO 5-4:</b>
<b>AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s</b>	<b>AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e</b>
Demora (s/veh) = <b>59.1</b> Nivel de Servicio = <b>F</b>	Demora (s/veh) = <b>42.3</b> Nivel de Servicio = <b>E</b>

Adicionalmente, un indicador importante de pérdidas es el tiempo diario que se pierde por parte de los usuarios puntualmente en la intersección. Con la información sobre las pérdidas de cada trayectoria y el volumen de vehículos para cada una de estas; se calcula las pérdidas promedio del día, durante las horas de mayor demanda, en las que



fueron tomados los datos. Si bien, existen pérdidas durante las horas que no se registraron datos, estas son mucho menores dado que las condiciones de la intersección mejoran significativamente durante dichas horas (inclusive se puede considerar que no existe pérdidas durante las horas de la noche y la madrugada ya que el volumen es muy bajo). En definitiva el cálculo de la pérdida diaria promedio es de alrededor de 22 días, cantidad que resulta sumamente inaceptable dado que representa pérdidas económicas y de productividad, sustanciales para los usuarios.

Tabla 35. Cálculo de pérdida diaria en la intersección.

	TRAMO	PÉRDIDA PROMEDIO (SEG.)	VOLUMEN	P. POR TRAMO
T 1-5	AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA n/s	98.5	130	12832.7
T 1-4	AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e	128.5	403	51750.1
T 1-3	AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e	93.2	1818	169414.5
T 1-2	AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA s/n	96.5	510	49198.7
T 2-5	AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA LA CORUÑA n/s	60.1	2507	150688.2
T 2-4	AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e	83.4	983	81968.6
T 2-3	AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e	50.4	1210	60976.5
T 3-5	AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s	226.4	2256	510707.2
T 3-4	AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e	146.5	324	47417.6
T 4-5	AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s	59.1	767	45324.5
T 5-1	AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w	54.6	165	9008.8
T 4-1	AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w	90.7	321	29105.7
T 3-1	AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w	71.1	1865	132610.9
T 2-1	AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w	52.7	586	30871.9
T 5-2	AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA LA CORUÑA s/n	83.4	1063	88645.3
T 4-2	AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n	58.9	443	26078.0
T 3-2	AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n	63.5	124	7861.4
T 5-3	AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e	69.0	4089	282134.3
T 4-3	AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e	79.4	816	64806.9
T 5-4	AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e	42.3	994	42063.0
			PERDIDA TOTAL (SEG.)	1893464.8
			PERDIDA TOTAL (HORAS)	526.0
			PERDIDA TOTAL (DÍAS)	21.9

## Análisis de capacidad y limitaciones de la metodología HCM 2010

Para el análisis y la evaluación del redondel del proyecto, tanto para su situación actual como para la nueva propuesta geométrica a ser expuesta en los capítulos siguientes y dada la inexistencia de una metodología de cálculo en el país o bien alguna metodología

que se pueda aplicar específicamente a las condiciones locales; se planificó usar los conceptos y la metodología HCM 2010, para el cálculo de capacidad, la relación volumen/capacidad, las demoras o control delay, niveles de servicio, etc. Si bien, se han usado los conceptos y el desarrollo planteado por dicha metodología; se debe en este punto aclarar las limitaciones que se ha presentado para aplicarla en el problema que está siendo analizado. Conociendo previamente dichas limitaciones, se optó por aplicar los conceptos del manual como fue descrito durante el presente capítulo, pero no fue posible usar la metodología para el cálculo a causa de la configuración actual del redondel.

Existen limitaciones fundamentales que no permiten el uso de las ecuaciones presentadas en el manual (HCM 2010) para seguir el procedimiento de cálculo. Entre las más importantes está la geometría actual del redondel ya que pese a que se le ha categorizado y tratado como tal; las características que éste tiene no cumplen con la gran mayoría de especificaciones para redondeles en HCM. Ejemplos de estas discordancias entre el manual y la configuración del redondel actualmente son, la irregularidad de la isleta central, los cambios de ancho de los carriles dentro del redondel, el diseño de los ramales de entradas y salidas, las bermas, entre otras.

Otra limitación importante que presenta el manual, es que las fórmulas de cálculo de capacidad se encuentran definidas para ramales de entrada y salida que consten de máximo 2 carriles y un carril bypass; mientras que el redondel que se está analizando tiene en 4 de los 5 ramales, 3 carriles de entrada y 3 de salida. Por otro lado, desde una perspectiva operacional, la metodología claramente excluye casos con alta actividad de peatones en la intersección, como es el caso que se está analizando. Adicionalmente, la metodología no toma en cuenta ni los volúmenes de motocicletas ni bicicletas; que si bien no representan una cantidad significativa; forman parte de los datos recolectados en el

estudio. Existen otras limitaciones menores que no representarían mayor riesgo a la precisión de los cálculos mediante las fórmulas y metodología del HCM.

Si bien, la metodología del manual está basada en investigación sobre casos muy puntuales conducidos por NCHRP en los estados unidos, y deja fuera muchos casos particulares; el capítulo 21 dedicado exclusivamente a redondeles, especifica herramientas alternativas para modelar los redondeles que se encuentren fuera del alcance de la metodología analítica presentada en el manual. El uso de una de estas herramientas para modelar la intersección es motivo de discusión del capítulo 4.

## **CAPÍTULO 4: MODELACIÓN DEL REDONDEL**

### **Introducción**

La simulación es un método alternativo, completamente válido e incluso necesario en el campo de la ingeniería de tráfico. La razón fundamental es que, ya sea un proyecto relativamente pequeño (como el análisis de una intersección) o muy grande (como la creación de un metro en una ciudad), la cantidad de información que se maneja, las innumerables características del sistema vial, las múltiples interacciones entre usuarios, entre muchas otras; hacen que los procesos de cálculo sean significativamente complejos. Por esta razón, la simulación mediante software es una herramienta fundamental para la evaluación y planificación en un sistema de transporte.

Existen diferentes tipos de software disponibles para simulación de tráfico. Ejemplos de estos son, AASIDRA, VISSIM, TransModeler, Aimsun, entre los más conocidos. Si bien todos son paquetes computacionales para simulación de tráfico; algunos de estos no resultan adecuados para el caso de intersecciones, dado que por ejemplo, el algoritmo base que estos utilizan para el cálculo, se aplica para redes de proporciones mucho mayores a una intersección. Por la razón anteriormente mencionada y algunas otras como son una facilidad de manejo de la interfaz del usuario, la capacidad de manejar redes macroscópicas o microscópicas al mismo tiempo, la secuencia de asignación de la demanda de tráfico, el tipo de datos que requiere el programa, entre muchas otras razones; se determinó que el software que quizás resultaría más adecuado para cubrir las necesidades del problema, sea Aimsun.

### **Funcionamiento y características del software**

Aimsun es un paquete computacional desarrollado por TSS (Transport Simulation Systems) y que tiene su mayor ventaja en la versatilidad que su método de cálculo, ya que permite modelar innumerables situaciones y características particulares de cada problema.

En cuanto a la dimensión de los modelos, estos pueden ser desde una línea de bus hasta una región o ciudad. Funciona bien para situaciones muy específicas y áreas pequeñas, así como sistemas viales complejos y superficies tan extensas como el usuario requiera.

El software es en definitiva un simulador de tráfico que tiene dos formas de componer el modelo; por un lado realiza el cálculo de las rutas más adecuadas para los vehículos, al mismo tiempo que define la red como la dinámica del movimiento de los vehículos en el sistema. Ambas concepciones se encuentran definidas en módulos separados del programa. Aimsun maneja los datos ingresados por el usuario según la figura 31, mediante dos algoritmos de asignación de demanda; equilibrio dinámico del usuario (por sus siglas en ingles DUE) y la elección estocástica de la ruta (por sus siglas en ingles SRC). Ambos algoritmos pueden ser combinados con los modelos microscópicos, mesoscópicos e híbrido (combinación microscópico y mesoscópico). (TSS, 2014)

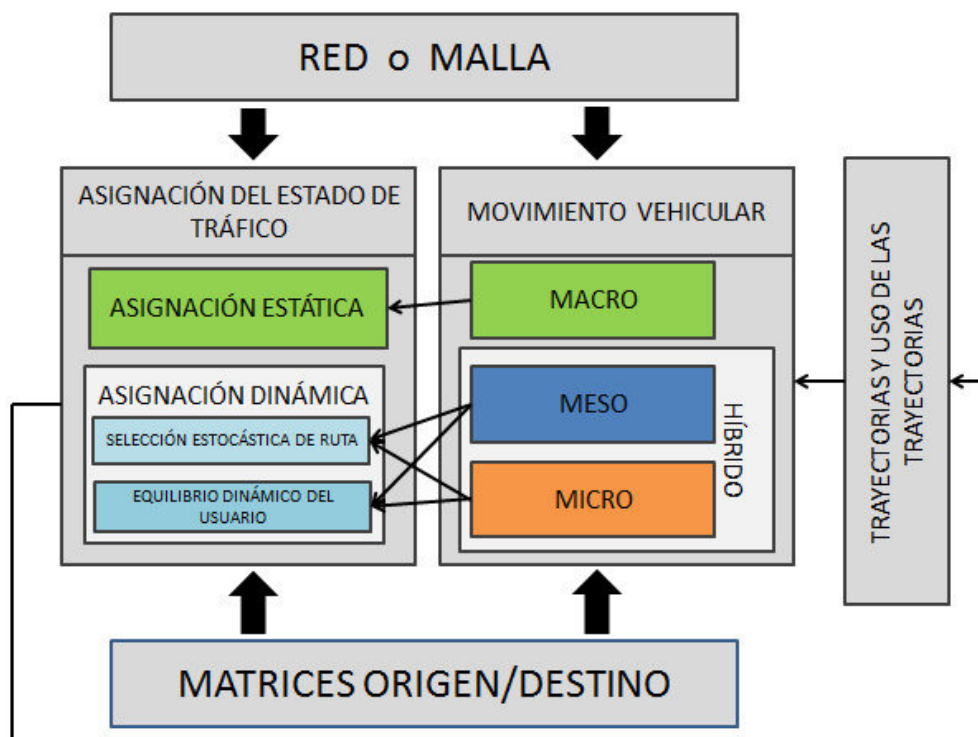


Figura 31. Esquema del algoritmo del modelo de Aimsun. (TSS, 2014)

La asignación dinámica en equilibrio es un algoritmo que realiza algunas simulaciones con el fin de encontrar una configuración de la red que se encuentre en equilibrio. El equilibrio se encuentra fundamentado en el principio de Wardrop, que señala que para un intervalo cualquiera (15 minutos típicamente) se cumple que el tiempo de viaje de un vehículo por cualquier camino usado, es igual y siempre menor que el tiempo que le demora al vehículo transitar por cualquier ruta no utilizada (a velocidad de flujo libre). Para cada iteración sobre el algoritmo mencionado se genera un árbol de caminos mínimos para cada origen/destino, dicho cálculo se basa en funciones de coste según el tiempo medio de viaje. Aimsun utiliza para ejecutar este algoritmo el desarrollo del mismo mediante MSA (MovingSuccessiveAverages). (TSS, 2014)

El algoritmo de elección de ruta estocásticamente, se fundamenta en minimizar el coste basado en la información inmediatamente anterior. Por tanto, se intenta minimizar el coste, cuando los vehículos seleccionan la ruta en base a la información de los costes anteriores; siempre sobre el conjunto de alternativas y costes anteriores. Este algoritmo tienen una única simulación a diferencia de DUE, por tanto no existe un proceso iterativo y la solución no precisa llegar al equilibrio. Las funciones que utiliza el algoritmo son de tipo discreto, por ejemplo logit y c-logit, entre otras. (TSS, 2014)

Se puede usar ambos métodos de asignación, DUE y SRC, en paralelo. Aimsun permite usar una parte de la demanda de vehículos para asignación dinámica en equilibrio, mismos que representarían un grupo de vehículos que escogen sus rutas normales o comunes. Por otro lado, la otra fracción de la demanda se regiría por la elección estocástica, estos vehículos por ejemplo representarían aquellos que usan información de GPS u otro sistema de información en tiempo real. Los métodos de selección de rutas descritos anteriormente, se pueden aplicar para cualquier tipo de vehículo en la red. (TSS, 2014)

### **Carga dinámica de red.**

Como se mencionó anteriormente, Aimsun tiene tres formas o tipos de cargar la red: modelo microscópico, el modelo mesoscópico y el híbrido (combinación mesoscópica y microscópica). La carga dinámica es el modelo que precisamente define el movimiento de todos los vehículos dentro de la red de acuerdo al tipo de carga requerido. En Aimsun, la carga híbrida es sumamente interesante ya que en el modelo global (por ejemplo una red muy grande, una ciudad, etc.) se usa la perspectiva mesoscópica, mientras que se usa la aproximación microscópica únicamente para pequeñas áreas previamente definidas por el usuario (por ejemplo una intersección de la red), donde se puede analizar mejor la complejidad de las interacciones del tráfico. (TSS, 2014)

Todas las aproximaciones al problema, tanto mesoscópica, microscópica y por supuesto la híbrida; tienen en común los planes de control y de generación de vehículos (la demanda). Además para cualquiera de ellas, la configuración geométrica es exactamente igual independientemente del tipo de simulación se realice (meso, micro o híbrida). (TSS, 2014)

### **El modelo microscópico.**

El modelo microscópico está enfocado en cada uno de los vehículos de la red. La simulación constantemente actualiza la información de cada uno de los vehículos en cuanto a sus características de posición y velocidad a lo largo de la red. Se basa en un modelo de seguimiento de vehículos, modelo de aceptación del espacio (gap acceptance) en el caso de vehículos al llegar a un ceda el paso o un pare, y un modelo de cambio dinámico de carril. (TSS, 2014)

### **El modelo mesoscópico.**

El modelo mesoscópico es una aproximación mucho más general, comparada con la del modelo microscópico. La diferencia fundamental está en el seguimiento y la

cantidad de información sobre cada vehículo, puesto que elimina las restricciones de aceleración y desaceleración; en definitiva, se convierte en un modelo fundamentado en los eventos. En el caso de una intersección, no miden las variaciones de velocidad en todo el trayecto dentro de la misma, sino solo, en la entrada y salida. La simplificación del modelo permite calibrarlo solo con tres parámetros como son: la velocidad en flujo libre de la sección y/o la velocidad deseada de cada vehículo, el tiempo de reacción del conductor y la densidad máxima de congestión de cada una de las secciones. (TSS, 2014)

### **Otros modelos adicionales.**

Dentro de los modelos mesoscópico y microscópico, están incluidos otros modelos adicionales como son el de selección de carril, el de ceda el paso y el de transporte público. El modelo de selección de carril se usa para seleccionar el carril de entrada y salida de cada sección en la red, y precisamente está basado en el modelo look-ahead. El modelo usa una función de utilidad que permite elegir cual es el mejor carril; en base a la distancia de visibilidad, giros, carriles reservados, el estado del carril, la densidad, entre otras características de los carriles y parámetros definidos por el usuario. El modelo realiza los cálculos en cada entrada y salida de una sección por ello los nodos son importantes puntos de calibración ya que al añadir un nodo o cortar una sección se generan más puntos de cálculo del modelo. (TSS, 2014)

El modelo de ceda el paso es muy parecido para la simulación macroscópica y la mesoscópica, fundamentalmente el modelo mesoscópico no contempla diferencia alguna entre la señal del ceda el paso y un pare, mientras que el modelo microscópico si toma en cuenta dicha diferencia. En definitiva el modelo consiste en la aceptación de un tiempo máximo de espera de cada tipo de vehículo, adicionalmente contempla un margen de tiempo de seguridad inicial y final propio a cada vehículo. El modelo sigue un patrón muy simple y bastante apegado a la realidad. El vehículo que está en la obligación de ceder el



paso, puede ingresar a la intersección siempre y cuando el espacio de tiempo o gap (tiempo del vehículo prioritario en llegar al punto de conflicto con el vehículo que cede el paso) es mayor al tiempo de espera propio del vehículo que debe ceder el paso; caso contrario debe esperar y continuar cediendo el paso. (TSS, 2014)

El otro modelo importante es el que rige el transporte público. Este se encuentra definido tanto para el modelo mesoscópico como microscópico; la diferencia está en que en el modelo microscópico se añade los tiempos de parada en cada lugar definido para tal evento, mientras que en el caso mesoscópico no se toma en cuenta la maniobra de parada. (TSS, 2014)

### **Estocasticidad.**

La propiedad de estocasticidad del modelo se logra por medio de una semilla tanto para la simulación microscópica como para la mesoscópica. En el caso del modelo mesoscópico, se tiene la opción de generar varias semillas independientes, por distintos procesos. Se puede definir semillas para la selección de carriles y rutas, transporte público, eventos del tráfico, generación de vehículos, entre otros; todas estas semillas diferentes. (TSS, 2014)

### **Resultados del modelo mesoscópico y microscópico.**

La modelación en Aimsun presenta diferentes tipos de resultados tanto para el modelo mesoscópico como microscópico. Desde una perspectiva microscópica, los resultados esperados son tan detallados, al nivel que permite conocer todas las características de cada vehículo en el momento que se los selecciona. Por otro lado, y quizás lo más interesante es la información que proporciona el modelo mesoscópico, dado que los resultados están al nivel un poco más general, pero al mismo tiempo es información que se puede usar con mayor facilidad que la proporcionada por el modelo microscópico. Entonces, para la totalidad de la red, se pueden conocer resultados de las

secciones, de cada carril, de giros, información en los centroides, de las líneas de transporte, entre otras. La información disponible sobre los ya mencionados es el flujo, la velocidad, densidad, tiempo de viaje, demora, cola máxima y cola media, distancia total recorrida, entre los más importantes. (TSS, 2014)

Aimsun tiene la opción de calibrar y verificar tanto la red como los datos producto de la simulación, ya se estática o dinámicamente. Por un lado, la verificación estática muestra errores en la configuración de la red sin tener que realizar una simulación, por lo general los errores vienen dados por giros faltantes o secciones no conectadas. Por otro lado, la calibración dinámica consiste en verificar errores que pueden producirse durante la simulación como podría ser un bloqueo, geometría inadecuada, errores en planes de control, entre otras. (TSS, 2014)

### **El modelo**

La creación y el uso de un modelo en proyectos como el presente estudio, tiene como fin poder comparar indicadores del nivel de servicio que tiene la intersección en la actualidad así como en diferentes escenarios de posibles variaciones a la situación actual. El modelo permite entre otras cosas comparar que pasaría si; se realiza cambios en la geometría de la intersección, si cambian las preferencias de los usuarios en cuanto a su trayectoria origen/destino, si existen variaciones en las líneas de buses en la red, si existe un incidente puntual en un carril, entre un sinnúmero de opciones y diversas situaciones. Tomando en cuenta el alcance del presente estudio, compete comparar una o varias opciones de cambios sustanciales en la geometría del redondel del proyecto; en definitiva, modelar tanto la situación actual como una o varias propuestas de reforma geométrica, con el fin de contrastar los indicadores de tráfico producto de la simulación y finalmente, decidir si la reforma geométrica resulta adecuada desde la perspectiva del nivel de servicio.

El primer paso para modelar la intersección o cualquier red vial, consiste en crear justamente la red, definiendo todos los aspectos geométricos de la misma. Para lograrlo, Aimsun permite importar mapas desde varias fuentes, como imágenes satelitales (Google Maps, Openstreetmaps, entre otros), archivos de innumerables extensiones, entre otros. Para el caso del redondel del presente estudio, se importó un mapa georreferenciado, para seguidamente y sobre la base del mapa de la intersección; dibujar la intersección y las vías que la componen con la ayuda de las herramientas del software. Las características geométricas que se tomaron en cuenta son, el ancho de carriles de cada ramal tanto de entrada como de salida, la particular geometría de la isleta central, pasos cebra, entre muchas otras. La figura 32 muestra la configuración de la intersección en Aimsun.

Como se puede observar en la figura 32, además del redondel, resultó necesario modelar la intersección controlada por semáforos correspondiente a las calles Isabela católica y Coruña S/N; dada su cercanía al redondel y por tanto su contribución a la dinámica de los flujos en el mismo.

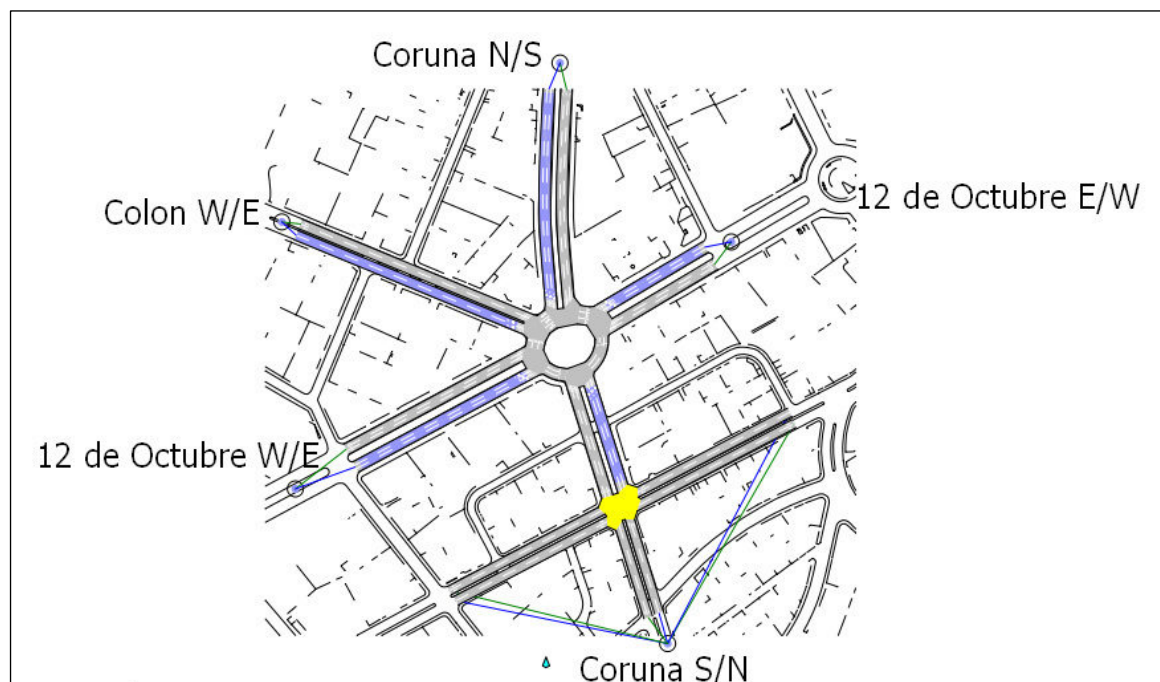


Figura 32. Geometría base de la intersección para el modelo.

Una vez creada la configuración geométrica del modelo de la intersección, siguió el proceso básico jerárquico de Aimsun para generar un escenario de demanda que tome en cuenta las condiciones del tráfico, este proceso se encuentra detallado en el esquema general de la figura 33. En el caso del presente estudio, la demanda se define en el modelo por medio de matrices O/D; siendo los centroides ubicados en cada ramal quienes atraen y generan los vehículos en base a las matrices O/D (los centroides se pueden observar en la figura 32, representados como círculos en los inicios de los ramales). Se eligió generar la demanda en base a matrices O/D dada la naturaleza de la información recolectada tanto en el aforo en la entrada de cada ramal como en los giros que se realizan desde dichos ramales.

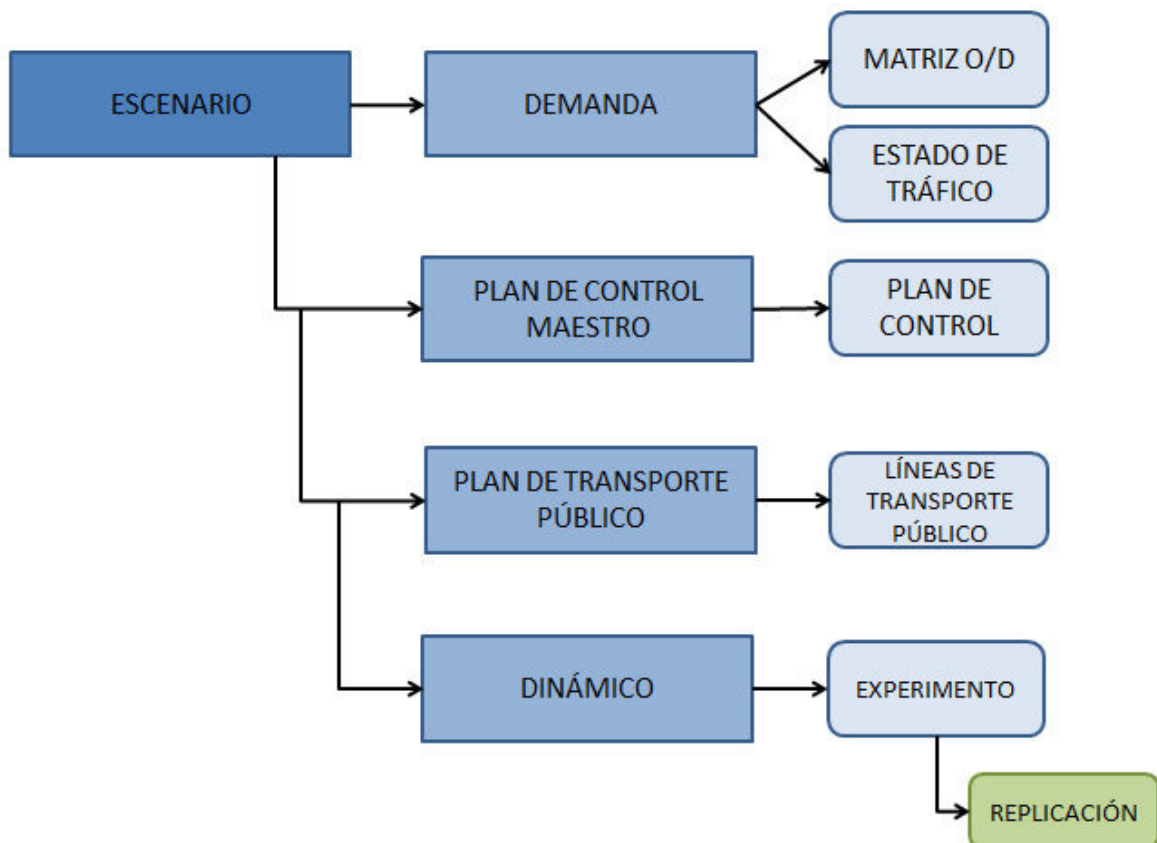


Figura 33. Proceso jerárquico para modelar en Aimsun.

El siguiente paso, es crear un plan de control maestro y por ende un plan de control que sea parte del anteriormente mencionado. El plan de control es la definición de tiempos y prioridades para la generación de demanda aplicado a cada nodo presente en la red; en definitiva es la definición de la manera en la que la demanda se generará en cada nodo, al mismo tiempo que las características de cada nodo en cuanto al control de tráfico que presentan. Entonces en el plan de control, se especifica el funcionamiento de los grupos semafóricos presentes en la red y sus características como son, el tiempo de verde, rojo y ámbar, etc. En el caso del presente proyecto, como se mencionó anteriormente, la intersección entre las calles Isabela Católica y Coruña S/N; se consideró en el modelo, y el funcionamiento de los semáforos que controlan la intersección forma parte del plan de control. Por tanto al existir dos nodos en la red del presente estudio (redondel y cruce semaforizado), el plan de control tiene dos elementos definidos con las características de control propias de cada nodo. Finalmente, en el plan de control maestro se carga el o los planes de control, colocándolos en una línea de tiempo durante la cual funcionará cada plan de control creado por el usuario. En el caso del presente estudio, el plan de control es único y esta creado para funcionar durante el tiempo que dura la simulación, esta propiedad se define en el plan de control maestro.

Cuando existe información sobre las líneas de transporte y la frecuencia de los vehículos que las componen, se puede usar un plan de transporte público para cargar estas en Aimsun. Normalmente, se usa el modelo de plan de transporte público en redes de mayor dimensión que la que se presenta en el presente estudio. Para el caso en cuestión, se tiene la información de buses como parte de las matrices O/D, por lo tanto no es necesario crear líneas de transporte público; incluso siendo una red que consta de dos intersecciones, resulta poco práctico la creación de las mismas. La desventaja de usar matrices O/D para

los buses, es que no se puede incluir las paradas de buses en los lugares indicados, ni el tiempo previsto para dichas paradas.

El último paso para crear el modelo consiste en crear un escenario en el que se incluyan todos los elementos definidos anteriormente. Este escenario puede ser de tipo dinámico, ajuste macro, asignación transporte público, generación/atracción, entre otros. Para el modelo utilizado en el presente estudio, se necesita un escenario de tipo dinámico. La ventana del escenario dinámico permite cargar la demanda de tráfico, el plan de control maestro, el plan de transporte público (en el caso de que estuviera definido), conjuntos de datos reales que permitan calibrar el modelo, entre otros; al mismo tiempo permite definir variables, estrategias y condiciones, parámetros y atributos. El experimento dinámico está contenido en el escenario dinámico y en definitiva es el que genera tantas simulaciones como el usuario requiera adicionalmente con la opción de calcular una media del número de simulaciones pedidas por el usuario. En el controlador del experimento dinámico se pueden definir factores relacionados con el comportamiento, tiempo de reacción, el tipo de asignación dinámica del tráfico que se requiere, variables y atributos. El usuario puede escoger y definir las características del modelo y de los usuarios de la red vial según su propio criterio. En el caso del modelo del presente estudio, se elige el método de asignación estocástico de rutas y se utiliza el simulador microscópico para cargar la red.

El último paso para validar el modelo consiste en calibrar el mismo, en el caso del presente estudio, se calibra el modelo desde el punto de vista de los aforos en las entradas de cada ramal. Para tal fin, se puede cargar un archivo que contenga los valores de aforo (conjunto de datos reales) que el software se encarga de comparar con los valores de aforo reportados por los detectores, mismos que se colocan por el usuario en las entradas de los ramales (sección azul del ramal de entrada, en la figura 32). La comparación entre los

datos reales y los reportados por la simulación se realiza una vez finalizadas las replicaciones del experimento y calculada la media.

En este punto cabe señalar que tanto para el modelo creado en Aimsun, así como en cualquier otro modelo independientemente de su naturaleza o software utilizado; se deben hacer simplificaciones y al mismo tiempo asumir ciertos factores, mismos que principalmente tienen relación con el comportamiento de los usuarios, funcionamiento de los tipos de vehículo, entre otras. Si bien la mayoría de simplificaciones que se realizan no resultan significativas para los resultados del modelo, se debe convenir que no se puede esperar que el modelo y sus resultados resulten perfectos; por lo tanto no se puede pensar en aceptar tanto el modelo como la información que de este se obtenga como representación exacta de la realidad.

Para el caso del modelo del presente estudio, no se considera la contribución al tráfico en la intersección de las motocicletas puesto que no existe tal tipo de vehículo disponible en el software. Si bien la cantidad de motocicletas se ha incrementado en los últimos años, sigue representando poco en la composición de la demanda, comparado con el resto de tipos de vehículos. Por otro lado, el modelo no contempla la información recolectada sobre los peatones que cruzan los diferentes ramales, y la razón para excluir estos datos es que pese a que existe un software (Legion) que precisamente modela el flujo peatonal y es integrable en la interfaz de Aimsun; no existe todavía la versión más reciente de Legion compatible con la versión de Aimsun 8.0 de 64-bits que se usó para la simulación de la intersección. De cualquier manera, Legion modela el comportamiento de los peatones suponiendo que los vehículos siempre dan preferencia al cruce peatonal mientras que los peatones únicamente cruzan cuando tienen la posibilidad dentro de un rango confiable de seguridad; ambos comportamientos se encuentran alejados de la realidad.

### **Propuestas y alternativas para el problema.**

En base a la información sobre la demanda en la intersección, se analiza los posibles factores que producen el deterioro de la calidad de servicio del redondel. Existen varias características tanto geométricas como funcionales que se analizan como causantes de los problemas en el redondel. Las principales características que se evalúan son la geometría actual, los giros predominantes en el redondel, los ramales que presentan mayor congestión, los ramales que producen mayores demoras, entre otras. Desde esta perspectiva, se proponen tres opciones para la intersección; la opción base que ratifica la configuración actual de la intersección y dos alternativas adicionales que significan cambios fundamentales en la infraestructura de la intersección así como en la geometría de la misma.

#### **Opción 0 (situación actual).**

El primer modelo consiste en simular la situación actual, que pueda servir como base para la comparación con las propuestas de cambios subsecuentes. Se representa tan precisa como sea posible la geometría actual del redondel y de todos los ramales (carriles, etc) que la componen. Adicionalmente se busca reproducir las condiciones del tráfico y comportamiento de los usuarios tan real como sea posible con el fin de que la simulación se aproxime a la realidad. Las figuras 34 y 35 muestran diferentes momentos de la simulación para la situación actual para los modos de visualización de dos y tres dimensiones respectivamente.



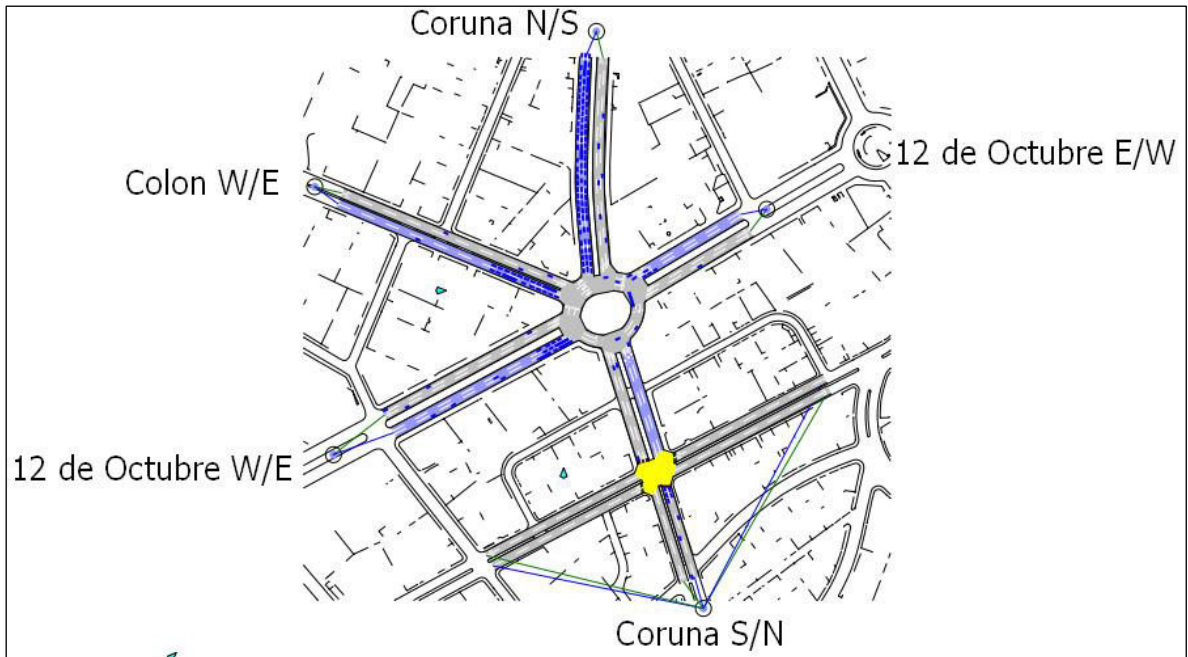


Figura 34. Simulación de la opción 0, Vista 2D.

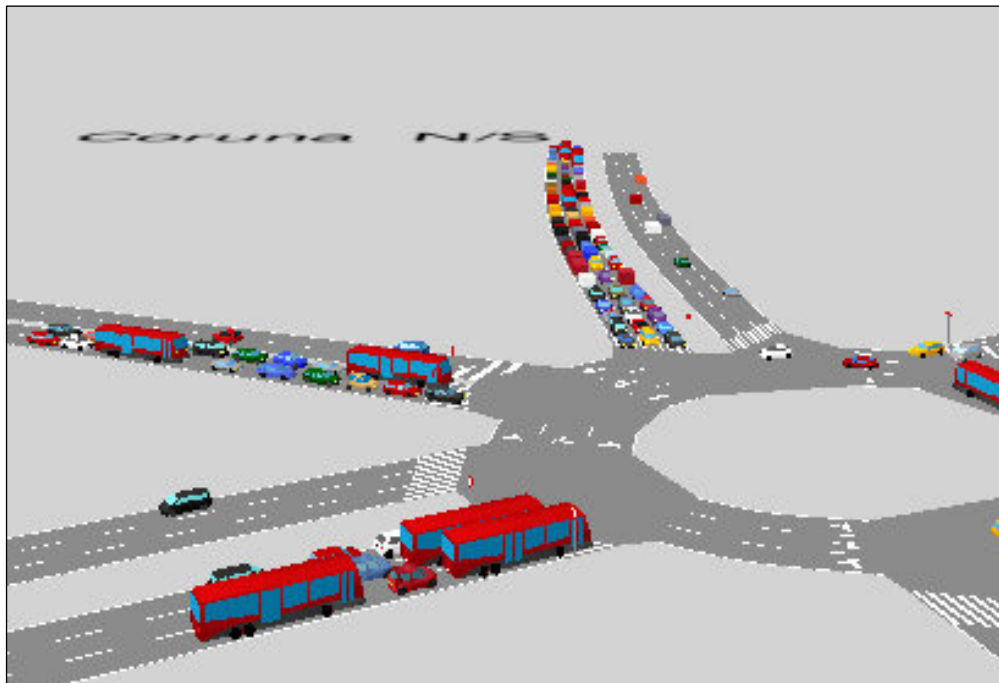


Figura 35. Simulación de la opción 0, vista 3D.

**Opción 1 (Paso a desnivel).**

La primera alternativa propuesta como modificación a la situación base, es posiblemente la más intuitiva de las modificaciones; dadas las condiciones actuales de la demanda. En muchos casos, crear un paso a desnivel mejora considerablemente las condiciones de servicio que tiene la intersección, descongestionando ésta a nivel ya que se provee de carriles exclusivos para las trayectorias de mayor demanda de acuerdo con el análisis de la información de los giros. El paso deprimido que forma parte de la propuesta tiene como característica principal reducir cuantiosamente la cantidad de vehículos que ingresan a la intersección transitando de norte a sur y viceversa. Los ramales que componen el flujo en la dirección anteriormente mencionada, son precisamente los que presentan mayor congestión y demoras. Los carriles exclusivos que se proponen conectan la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio) con la Av. 12 de Octubre w/e (desde la calle Francisco Salazar) en ambos sentidos de circulación (Norte-Sur y Sur-Norte), así como la Av. Coruña s/n (desde la calle Isabel la Católica) con la Av. Coruña n/s (desde la calle San Ignacio) en sentido Sur-Norte. Las figuras 36 y 37 muestran la nueva infraestructura de la intersección durante la simulación. Cabe mencionar que el cambio en la infraestructura de la intersección no contempla ninguna modificación geométrica de la misma, en la superficie.

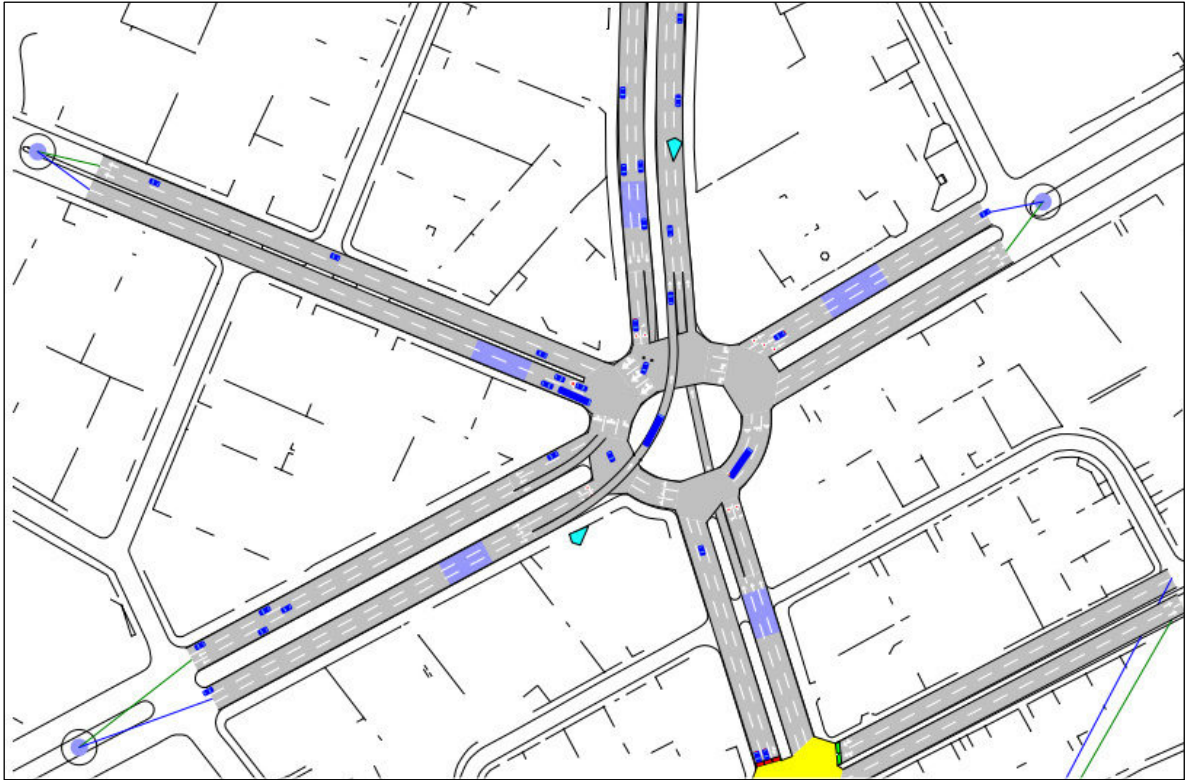


Figura 36. Simulación de la opción 1, vista 2D.



Figura 37. Simulación de la opción 1, vistas 3D.

### **Opción 2 (Rediseño Geométrico).**

La segunda alternativa propuesta para mejorar las condiciones de la intersección actual, consiste en rediseñar la geometría del redondel. La razón fundamental es que si bien la intersección funciona como lo haría un redondel, la geometría de la misma no cumple con las características que debe tener un redondel para garantizar un funcionamiento aceptable. En definitiva, la propuesta se fundamenta en que características como, la forma ovalada de la isleta central, las múltiples variaciones en el ancho de los carriles dentro del redondel y en sus ramales, los cambios abruptos de dirección en los carriles dentro del redondel, la poca continuidad de las trayectorias provenientes de los ramales de entrada y salida con las trayectorias internas del redondel, entre muchas otras características de la intersección en la actualidad; son en gran parte las causantes de la dificultad para realizar los giros, congestionamiento y las demoras, consecuentemente derivando en el deterioro de la calidad de servicio que ofrece la intersección.

La propuesta incluye el rediseño de la isleta central y de los tres carriles internos del redondel, adicionalmente, se modificaron los parterres divisorios de las calles que componen el redondel para cumplir con las especificaciones del diseño de redondeles (según AASHTO y el manual de NCHRP) en cuanto al ángulo de conexión de los ramales de entrada y salida del redondel, entre otras características geométricas específicas que se detallarán en el siguiente capítulo. Adicionalmente, producto del análisis de la información de los giros, se diseñó un carril exclusivo que no forma parte del funcionamiento del redondel; para proteger y facilitar el giro a la derecha de los vehículos que se aproximan a la intersección por la Av. Colón y abandonan la intersección por la Av. 12 de Octubre w/e (hacia la calle Francisco Salazar).

La razón fundamental para crear un carril adicional de giro protegido tiene su fundamento en que un 49% de los giros de la Av. Colón w/e se realizan hacia la Av. 12 de Octubre (hacia la calle Francisco Salazar) durante las horas de mayor demanda en la mañana, mientras que en la tarde para las horas de mayor demanda este giro representa el 44% de los vehículos que ingresa por dicho ramal. Al analizar los giros a la derecha de todos los ramales, se encontró que el único que resultaba representativo y al mismo tiempo altamente conflictivo era el de la Av. Colón w/e; por tanto parte importante del rediseño geométrico es la incorporación de dicho carril exclusivo en el rediseño geométrico. Las figuras 38 y 39 muestran el funcionamiento de la intersección durante la simulación de la opción 2. La figura 39 muestra vista en dos dimensiones general de la intersección, donde se pueden identificar las características geométricas ya mencionadas; mientras que la figura 39 muestra el seguimiento de dos vehículos durante la simulación por el carril de giro protegido, tanto en la trayectoria sobre la Av. Colón w/e como al reincorporarse al tráfico en la Av. 12 de Octubre w/e.

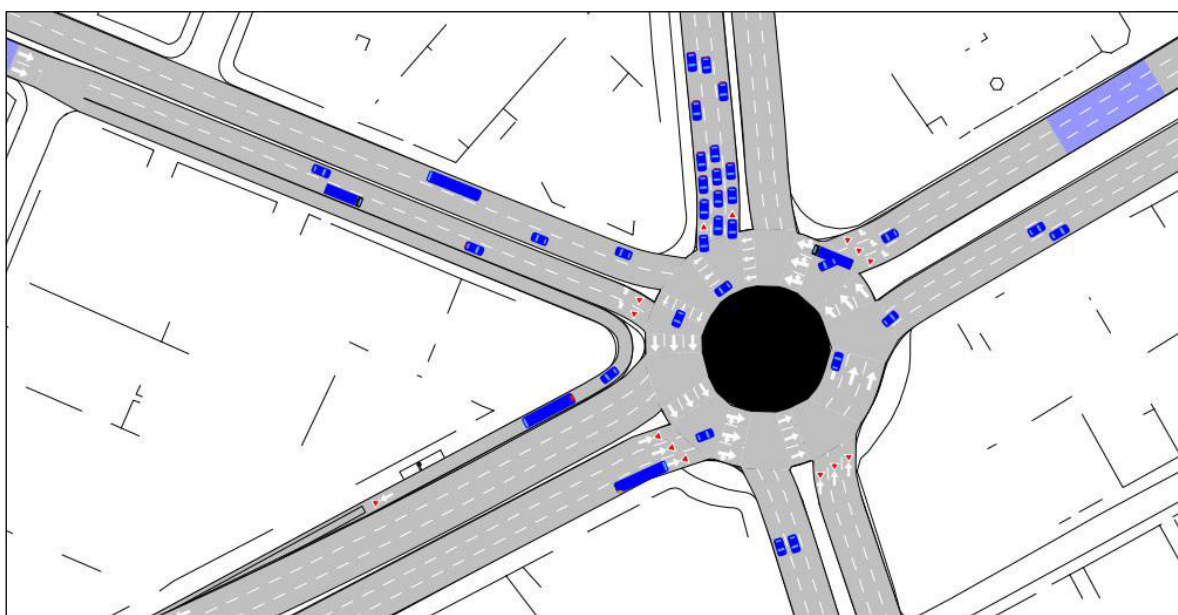


Figura 38. Simulación de la opción 2, vista 2D.

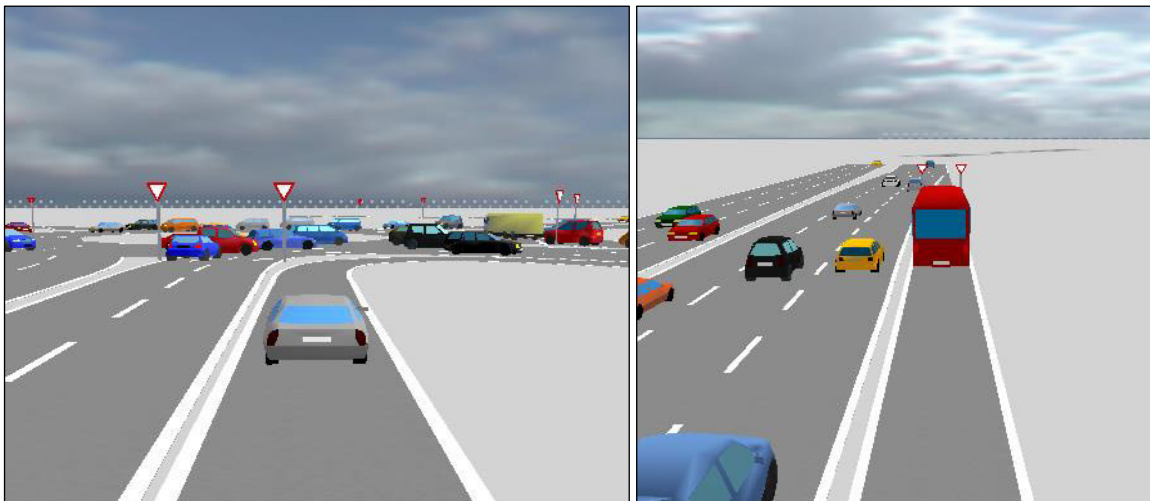


Figura 39. Simulación de la opción 2, vistas 3D.

### **Resultados de la simulación.**

Por cada opción anteriormente mencionada, se genera un modelo diferente. En todos los modelos se usa las mismas matrices O/D para todos los tipos de vehículos (automóviles, buses y pesados); en definitiva, la misma demanda. Dado que no se altera la demanda ni se cambian las condiciones previstas y definidas en el modelo original; la comparación entre los resultados de la simulación de cada modelo permite evaluar los cambios geométricos y de infraestructura contrapuestos al estado actual.

Por cada opción se realizan varias replicaciones o simulaciones del modelo, típicamente cinco simulaciones es suficiente para obtener datos concluyentes. Si bien el software registra datos durante períodos de 15 minutos mientras dure la simulación prevista, los resultados globales de la media estadística de las replicaciones son aquellos que permiten realizar la comparación entre las opciones. La tabla 36 resume los resultados de la media estadística para el conjunto de replicaciones de cada opción, dicha tabla contiene únicamente los indicadores a ser comparados; el anexo I contiene la tabla completa de resultados.

Al analizar los resultados en términos de las colas que se forman en la red, en especial en las entradas la intersección; vemos como se reduce la cola media en un 93% (9.49) para la opción 1 y un 82% (24.57) para la opción dos, ambas comparadas con respecto a la opción base. La cantidad de vehículos esperando para entrar es un indicador relacionado con las colas dado que si la cola se extiende hasta el punto donde se generan los vehículos en los centroides, entonces existirán vehículos que no pueden entrar a la red. En este sentido, la reducción es sumamente considerable dado que en la situación actual al menos 2000 vehículos no logran entrar mientras que en la opción 1 es prácticamente ningún vehículo queda fuera mientras que en la opción 2 absolutamente todos los vehículos generados por los centroides logran entrar.

La densidad, definida como la cantidad media de vehículos por kilómetro de la red, se reduce considerablemente para las opciones 1 y 2 (7.85 y 10.60 veh/km respectivamente) con respecto a la situación actual de (29.77 veh/km); representando únicamente un 26.4% de la densidad actual para la opción del paso deprimido y un 35.6% de la densidad actual para el caso del rediseño geométrico a nivel.

Tabla 36. Resumen de resultados de los modelos

RESULTADOS GLOBALES DEL SISTEMA - MEDIA ESTADÍSTICA DE LA SIMULACIÓN				
Serie Temporal	OPCIÓN 0 (SITUACIÓN ACTUAL)	OPCIÓN 1 (PASO DEPRIMIDO)	OPCIÓN 2 (REDISEÑO GEOMETRICO)	Unidades
Cola Media - Todos	136.34	9.49	24.57	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Todos	2067.80	0.40	0.00	veh
Densidad - Todos	29.77	7.85	10.60	veh/km
Flujo - Todos	4099.68	4884.48	4906.96	veh/h
Número de Paradas - Todos	5.98	1.86	3.20	#/veh/km
Tiempo de Demora - Todos	1282.42	27.38	63.66	seg/km
Tiempo de Viaje - Todos	1353.61	95.95	132.27	seg/km
Tiempo Total de Viaje - Todos	1487.16	126.65	176.29	h
Velocidad - Todos	22.05	41.68	31.38	km/h
Velocidad - Pesados	12.06	34.29	25.89	km/h
Velocidad - Automóviles	22.35	41.86	31.58	km/h
Velocidad - Buses	17.86	39.67	28.69	km/h
Velocidad Armónica - Todos	8.94	37.79	27.26	km/h
Velocidad Armónica - Automóviles	9.45	38.1	27.47	km/h
Velocidad Armónica - Buses	4.73	34.35	25.25	km/h
Velocidad Armónica - Pesados	4.33	29.97	21.44	km/h



En el caso del flujo, definido como la cantidad promedio de vehículos que circulan la red por hora mientras dura la simulación; vemos como se incrementa ampliamente el flujo para la opción 1 y 2 probablemente relacionado a la proporción de la reducción de colas ya discutido anteriormente. El incremento del flujo es similar para las opciones 1 y 2 y representa alrededor del 20% del flujo en la situación base (incremento de aproximadamente 800 vehículos adicionales por cada hora).

El indicador del número de paradas está estrechamente relacionado con las colas, demoras y las pérdidas de tiempo en la intersección. Si bien la diferencia parecería ser poco significativa; para el usuario, la reducción de aproximadamente 6 paradas en la actualidad (opción 0) con respecto a 2 y 3 paradas en promedio (opción 1 y 2 respectivamente) es una mejora sustancial.

Un indicador importante sobre todo al seguir la metodología HCM 2010, es el tiempo de demora y su relación directa con el nivel de servicio. El tiempo de demora es calculado en el software como el tiempo medio que le toma a un vehículo recorrer un kilómetro; en otras palabras, la diferencia entre el tiempo que le toma realizar el recorrido en condiciones reales y el tiempo en condiciones de flujo libre. Para el caso de la situación base, el tiempo de demora simulado fue calculado en alrededor de 21.4 minutos/km (1282.4 seg/km), mientras que para la opción 1 el tiempo de demora es de casi medio minuto (27.4 seg/km) y para la opción 2 es ligeramente superior a un minuto (63.7 seg/km). En definitiva la demora tiene una reducción de al menos un 97% en el caso de la opción 1 y de un 95% en la opción 2.

El tiempo de viaje definido como la duración promedio del recorrido de los vehículos por kilómetro; se reduce al 7.1% para el caso del paso a desnivel mientras que en la opción del rediseño geométrico el tiempo de viaje se reduce al 9.8%; ambos con respecto al tiempo de viaje de la situación actual. Por otro lado el tiempo total de viaje, que



se define como la sumatoria del tiempo que le toma a todos los vehículos de la red realizar sus respectivos recorridos; tiene una reducción sumamente significativa puesto que el tiempo en la situación actual es de alrededor de 1487 horas, mientras que para la opción 1 y 2 es de alrededor 127 y 132 horas respectivamente.

Finalmente es un indicador sumamente importante la velocidad a la que los vehículos pueden transitar por la red. Desde esta perspectiva, se debe tomar en cuenta la velocidad media así como la velocidad armónica. Si bien se encuentra desglosada la información sobre la velocidad de cada tipo de vehículo, tanto para la velocidad media así como para la velocidad armónica media; el análisis de la velocidad de operación global de la red se puede basar en la comparación de la velocidad de todos los vehículos. La separación de las velocidades por tipo de vehículo tiene su importancia desde una perspectiva de diseño de la intersección tema a tratarse en el capítulo siguiente.

La velocidad se calcula en el programa como la media de las velocidades de los vehículos que abandonan el sistema, usando la velocidad de viaje promedio por cada vehículo. Al analizar la velocidad media del sistema actual comparada con las dos opciones, vemos como definitivamente se incrementa la velocidad para la opción 1 en 19.6 km/h (aproximadamente se incrementa un 90%), mientras que para el caso de la opción 2 en 9.3 km/h (aproximadamente se incrementa un 42%).

La velocidad armónica se calcula en Aimsun como la media de la velocidad armónica de cada vehículo que ha dejado el sistema, siendo esta velocidad armónica aquella definida para cada vehículo como la velocidad específica del mismo ponderada por la longitud de su recorrido. Si se compara la velocidad armónica, las diferencias son aún más favorables para ambas alternativas con respecto a la situación base. La velocidad armónica media para la situación base es 8.9 km/h mientras que para la opción 1 y 2 es de

37.8 y 27.3 km/h respectivamente; en otras palabras para la opción 1 la velocidad armónica media es 4.22 veces mayor mientras que para la opción 2 es 3.05 veces mayor.

La comparación entre las opciones permite fundamentar la elección de la alternativa idónea con intención de mejorar las condiciones de la intersección. Entonces, se debe realizar las modificaciones que sean necesarias dependiendo de la opción que se elija, o en su defecto si fuera el caso; no realizarlas si se concluye que la situación actual es la mejor opción. Al analizar las alternativas, es evidente que se debe realizar una mejora a la situación actual, y si bien puede pensarse como mejor opción el paso a desnivel; seguramente la opción más viable es el rediseño geométrico.

En la tabla 37 se comparan las dos alternativas contra la opción base, tomando como método de comparación, la cantidad de veces que mejora cada una de las características con respecto a la situación actual. Si bien los resultados de la opción 1 son un poco mejores, se debe pensar en varios aspectos adicionales como son el económico, el tiempo, el impacto que puede tener el proyecto en la zona, entre otros. Desde estas otras perspectivas, el rediseño geométrico resulta la mejor opción desde el punto de vista del costo, ya que siempre un proyecto que incluya cambios menores (alineación, parterres, etc.) en la superficie, significará menor inversión que el caso del paso a desnivel (movimiento de tierras, materiales de base, nueva capa asfáltica, entre muchos otros).

Adicionalmente el tiempo que se requiere para implementar los cambios en la geometría del redondel y sus ramales, es significativamente menor; consecuentemente generando un menor impacto en la zona, sus habitantes, los equipamientos y en general, los usuarios de la intersección. Por otro lado y no menos importante, seguramente un paso a desnivel descongestionaría puntualmente la intersección del proyecto; pero al mismo tiempo generaría problemas de congestión y pérdidas, similares o inclusive peores en las intersecciones inmediatamente contiguas al redondel del proyecto. Seguramente la razón

más importante es que en términos generales al evaluar las opciones, las mejoras previstas por el rediseño geométrico satisfacen las necesidades de la intersección, y si bien un paso a desnivel posiblemente tenga mejores prestaciones; no se justifica, dado que las condiciones en las que funciona la intersección fuera de las horas pico son significativamente mejores que las previstas en las horas de máxima demanda.

Tabla 37. Comparación de las opciones 1 y 2, contra la opción base.

<b>RESUMEN DE LA CLASIFICACIÓN DE LAS OPCIONES</b>		
Serie Temporal	OPCIÓN 1 (PASO DEPRIMIDO)	OPCIÓN 2 (REDISEÑO GEOMETRICO)
Cola Media	14.37	5.55
Densidad	3.79	2.81
Flujo	1.19	1.20
Número de Paradas	3.22	1.87
Tiempo de Demora	46.84	20.14
Tiempo de Viaje	14.11	10.23
Tiempo Total de Viaje	11.74	8.44
Velocidad	1.89	1.42
Velocidad Harmónica	4.23	3.05
<b>PROMEDIO</b>	<b>11.26</b>	<b>6.08</b>

## CAPÍTULO 5: DISEÑO GEOMÉTRICO DEFINITIVO

### Elementos de diseño, principios y objetivos

Pensar en el diseño geométrico de un redondel, es definitivamente pensar en el balance de diferentes aspectos de diseño que se complementan. Ocurre que la funcionalidad de un redondel se ha comprobado disminuir significativamente debido a una pobre geometría del mismo, afectando las decisiones del conductor en cuanto a la elección de carriles de circulación y comportamiento dentro del redondel se refiere. Muchos de los parámetros geométricos, se encuentran estrechamente relacionados con las maniobras de los vehículos; por lo tanto, definidos por los requisitos de maniobra del vehículo de diseño o de los vehículos de diseño del proyecto. Por tanto, el diseño se concibe como un balance óptimo entre seguridad, desempeño operativo y maniobrabilidad del vehículo de diseño. Adicionalmente, se debe entender el diseño como un proceso iterativo, en el que se perfeccionan las características geométricas en función de las necesidades del proyecto. (AASHTO, 2011)

Tanto AASHTO como NCHRP, recomiendan principios básicos que se deben seguir para diseñar consistentemente un redondel. Estos principios que debe regir el diseño, son los siguientes:

- Proporcionar, por medio de la deflexión, velocidades de entrada por cada ramal que sean consistentes con la velocidad dentro del redondel. (NCHRP, 2010)
- Proporcionar la cantidad de carriles de acuerdo a la capacidad requerida, balance de volumen en cada carril y continuidad de carriles. (NCHRP, 2010)
- Diseñar para que la canalización de los vehículos en los carriles sea suave e intuitiva.

- Proporcionar el espacio apropiado para el o los vehículos de diseño. (NCHRP, 2010)
- Proporcionar distancias de visibilidad adecuadas, para reconocer la proximidad de la intersección y de los usuarios en la misma. (NCHRP, 2010)
- Diseñar para satisfacer las necesidades de otros usuarios como son los ciclistas y peatones. (NCHRP, 2010)

La velocidad es una característica muy importante en el diseño de redondeles, en general influye enormemente en la seguridad de todos los usuarios. Un buen diseño de redondeles implica la reducción de la velocidad al momento de entrar al redondel, manteniendo consistencia con la velocidad dentro del redondel. Para el caso del presente estudio, la propuesta de un redondel de tres carriles limita la velocidad de entrada por los ramales entre 40 y 48 km/h. Por motivos de seguridad, la velocidad máxima recomendada son 30 km/h, por tal razón se diseñan deflexiones en la trayectoria de los vehículos mediante la reducción del radio de entrada de los ramales; siempre considerando que este procedimiento, puede generar superposición de las trayectorias de los vehículos en redondeles de múltiples carriles, como es el caso del presente estudio. (NCHRP, 2010)

Es importante garantizar la circulación de vehículos lado a lado, tanto dentro del redondel como en los ramales que los componen, para esto se debe diseñar los carriles de entrada, salida y dentro del redondel, teniendo en cuenta la trayectoria natural que describen los vehículos. Las consecuencias de superposición de trayectorias van desde la reducción de la capacidad de los carriles ya que los vehículos evitarán ciertos carriles y en definitiva evitaran transitar lado a lado, hasta accidentes y reducción de la seguridad del redondel. Un ejemplo de superposición de trayectorias a causa de la geometría del redondel, se muestra en la ilustración 1. (NCHRP, 2010)

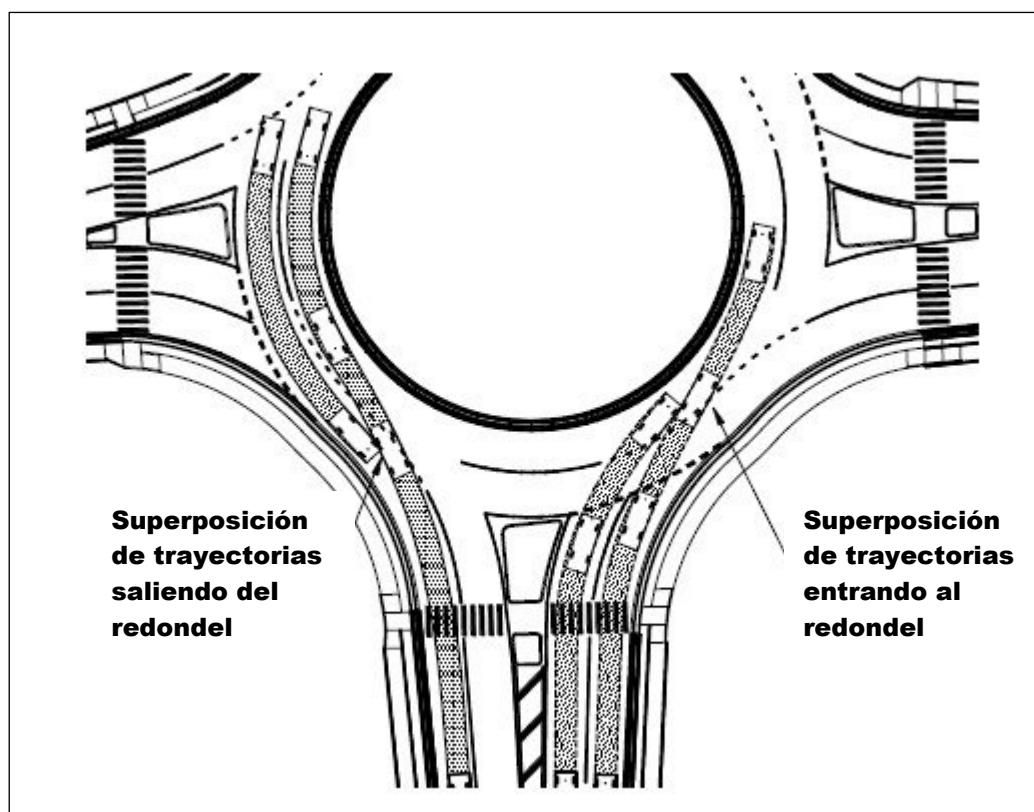


Figura 40. Superposición de trayectorias en redondeles de múltiples carriles. [Traducción del autor] (NCHRP, 2010)

Otro factor importante a considerar para diseñar la geometría del redondeo es el vehículo de diseño, entonces la necesidad inherente es garantizar el desplazamiento del vehículo más grande que usará la intersección. En definitiva, lo verdaderamente importante es la trayectoria de giro que describe el vehículo, puesto que dicha trayectoria impondrá al diseño muchas dimensiones del redondeo. Las dimensiones y trayectorias de giro de una gran cantidad de vehículos de todo tipo, se encuentran detalladas en el tratado de AASHTO A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. La elección del tipo de vehículo de diseño para un proyecto se basa en la zona en la que se encuentre el proyecto y el tipo de vehículos que, o bien se conoce que transitan por el lugar o se espera que lo hagan en el futuro. Se debe analizar la importancia que tiene para la intersección los vehículos de grandes dimensiones y la frecuencia de estos. En el caso de la intersección del

proyecto, los camiones de 3 o más ejes no son importantes en la consideración ya que su frecuencia es mínima, por el contrario, es evidente que los vehículos que se debe considerar son los buses y los vehículos particulares. (NCHRP, 2010)

Con miras a definir el vehículo de diseño, se extraen de AASHTO los dos tipos de vehículos que se consideran para el redondel del presente estudio, mismos que se encuentran detallados en los anexos J y K. Entre estos 2 tipos de vehículos que transitan por el redondel, que son el transporte público de ciudad (CITY-BUS) y el automóvil de pasajeros (P); definitivamente el transporte público de ciudad es el vehículo más crítico y el que regirá el diseño, por sus dimensiones y mayor necesidad de espacio en su trayectoria de giro. (AASHTO, 2011)

Dentro de las consideraciones ya planteadas anteriormente, se debe siempre considerar los usuarios no-motorizados. En general, los usuarios no-motorizados están en desventaja con respecto a los vehículos y resulta más difícil para estos usuarios, transitar por una intersección como un redondel de múltiples carriles, comparado con otro tipo de intersecciones. Se debe garantizar entre otras cosas, que las isletas divisorias o parterres sean lo suficientemente seguras como un área de refugio para dichos usuarios, que la velocidad de los vehículos sea menor en los lugares señalados para el cruce peatonal, entre muchas otras. El anexo L muestra las dimensiones típicas mínimas recomendadas en NCHRP para diseñar la geometría de los parterres de acuerdo a las necesidades tanto de los usuarios no motorizados así como de los usuarios vehiculares. Adicionalmente, la tabla 38 detalla las dimensiones recomendadas por AASHTO y NCHRP, para el diseño del redondel en función de los usuarios no-motorizados. En base a esta información presentada en la tabla 38 y el anexo L, se diseñan los parterres del redondel del presente estudio. (NCHRP, 2010)

Tabla 38. Dimensiones para el diseño de facilidades para usuarios no-motorizados. [Traducida por el autor]  
(NCHRP, 2010)

Usuario	Dimensión	Afectación de las características del redondel
<b>Ciclista</b>		
Largo	1.8 m	Ancho de isleta de división o parterre en un cruce peatonal
Ancho mínimo de operación	1.2 m	Ancho del carril de bicicletas en los ramales de aproximación
<b>Peatón (caminando)</b>		
Ancho	0.5 m	Ancho de vereda, ancho de cruce peatonal
<b>Usuario en silla de ruedas</b>		
Ancho mínimo	0.75 m	Ancho de vereda, ancho de cruce peatonal
Ancho de operación	0.9 m	Ancho de vereda, ancho de cruce peatonal
<b>Persona empujando coche de bebe</b>		
Largo	1.70 m	Ancho de parter en el cruce peatonal
<b>Patinadores</b>		
Ancho típico de operación	1.8 m	Ancho de vereda

La visibilidad en un redondel es una característica sumamente importante dado que garantiza la correcta operación del redondel, al mismo tiempo tiene relación directa con los accidentes. Desde esta perspectiva, se necesita comprobar la distancia de visibilidad en dos aspectos fundamentales como son, la distancia de parada y la distancia a la intersección. La distancia de parada se debe asegurar en todos los puntos conflictivos del redondel como son las entradas, salidas y en todo momento dentro del redondel; de tal forma que el conductor pueda tener el tiempo suficiente para reaccionar a cualquier obstáculo o usuarios que puedan causar conflictos y/o accidentes. (NCHRP, 2010)

#### **Tamaño, posición, y alineación de los ramales de aproximación.**

El diseño del redondel comprende optimizar al máximo el tamaño del redondel, la posición, y la alineación; con la intención de lograr un balance adecuado de los principios ya mencionados al inicio del presente capítulo. Actualmente, la intersección del presente estudio, tiene muchos problemas justamente de tamaño, posición y alineación de los



ramales. Estas características y las elecciones geométricas para el nuevo diseño de la intersección se discutirán a continuación.

#### **Diámetro del círculo inscrito.**

El círculo inscrito se define como, en términos de diseño de redondeles, la distancia o diámetro del círculo que define exteriormente los carriles de circulación dentro del redondel; en otras palabras es el diámetro del círculo que describe el borde del carril exterior del redondel. Por lo general la selección del diámetro del círculo inscrito es una de las primeras elecciones que se realizan al definir las características geométricas del redondel. Una vez más cabe mencionar que el diseño es un proceso iterativo y se debe comprobar y evaluar si el diámetro asumido es efectivamente el óptimo para el caso. (NCHRP, 2010)

Se debe planificar el diámetro del círculo inscrito lo suficientemente grande para que pueda cumplir con los requisitos de espacio del vehículo de diseño, al mismo tiempo manteniendo bajas velocidades de circulación para los vehículos más pequeños; como es el caso del redondel del presente estudio, siendo los vehículos de diseño más importantes por su dimensión los buses, mientras que los vehículos particulares los más pequeños. (AASHTO, 2011)

Para los redondeles de múltiples carriles, el tamaño del círculo inscrito se debe seleccionar logrando un balance adecuado entre la deflexión necesaria en las entradas y salidas del redondel, y una alineación correcta de las trayectorias naturales de los vehículos. En general, para redondeles de múltiples carriles el diámetro del círculo inscrito está comprendido entre 46 y 76 metros. Redondeles con tres o más carriles, como es el caso del redondel del presente estudio, pueden necesitar diámetros mayores entre 55 y 100 metros, para lograr controlar la velocidad de circulación interna. De todas maneras, el tamaño del diámetro del círculo inscrito depende en última instancia del diseñador, guiado

siempre por los principios fundamentales señalados al inicio del presente capítulo. La tabla 39 muestra los rangos típicos recomendados para una primera elección del diámetro de círculo inscrito, en dependencia del tipo de redondel planificado. Para el redondel del proyecto, se empezó el diseño con un diámetro de 60 metros usando el límite inferior del rango dado que se plantea necesario tres carriles internos del redondel. Varias iteraciones en función de la configuración de los ramales, el ancho de los carriles previsto, el área disponible para el diseño, entre otras; determinaron un diámetro de círculo inscrito de 51 metros. Si bien parecería existir una inconsistencia con la tabla 39, se debe recordar que dichos rangos son recomendados en función del vehículo de diseño, la velocidad de diseño, etc.; por lo tanto el manual NCHRP, recomienda dichos rangos pero al mismo tiempo acepta variaciones en función de varias limitantes, como es el caso del espacio disponible, entre otras. (NCHRP, 2010)

Tabla 39. Rangos típicos para el diámetro del círculo inscrito. [Traducido y modificado por el autor] (NCHRP, 2010)

<b>Configuración del Redondel</b>	<b>Vehículo típico de diseño</b>	<b>Rango típico de diámetro del círculo inscrito (metros)</b>
Mini-Redondel	SU-9 (SU-30)	14 - 27
Redondel de un carril	B-12 (B-40)	27 - 46
	WB-15 (WB-50)	32 - 46
	WB-20 (WB-67)	40 - 55
Redondel de dos carriles	WB-15 (WB-50)	46 - 67
	WB-20 (WB-67)	50 - 67
Redondel de tres carriles	WB-15 (WB-50)	61 - 76
	WB-20 (WB-67)	67 - 91

### **Alineación de los ramales de aproximación.**

La alineación de los ramales de entrada y salida tienen un efecto muy importante en el control de la velocidad del redondel (por medio de la deflexión), y por otro lado resulta

importante la manera en la que están alineados los ramales de aproximación al redondel ya que define el ángulo de visibilidad con el resto de ramales. Por lo general, la configuración óptima de alineación de los ramales viene dada por el tamaño y la posición del redondel. (NCHRP, 2010)

Si bien, los ejes de las aproximaciones al redondel no tienen que necesariamente pasar por el centro del mismo; la desviación, ya sea a la derecha o a la izquierda, tiene efecto en el diseño y las consideraciones que se deben tener con el mismo. Incluso muchas veces resulta parte de la resolución del problema de la intersección, desviar la trayectoria de la aproximación en cualquier sentido para utilizar las ventajas que esto tiene, dichas ventajas se describen a continuación.

En el caso de una alineación a la izquierda del centro del redondel, las principales ventajas son que permite un incremento en la deflexión, ayuda al paso de grandes camiones por redondeles pequeños, reducción en los impactos en el lado derecho de la vía. La desventaja principal que se deben tomar en cuenta es que la desviación a la izquierda obliga que los radios de salida del redondel sean de mayor tamaño, produciendo que se incremente la velocidad y la aceleración al salir del redondel pudiendo generar riesgos para los usuarios no-motorizados en los lugares de cruce peatonal. (NCHRP, 2010)

Una alineación del eje de la aproximación que se encuentra centrada con respecto al redondel, tiene como ventajas la reducción de los cambios de alineación para el usuario al entrar o salir del redondel, por otro lado, se puede controlar mejor la velocidad de salida por medio de mayor curvatura comparada con la alineación a la izquierda por ejemplo. No tiene grandes desventajas pero se ha comprobado en la práctica que la alineación que pasa por el centro del redondel puede obligar a diseñar redondeles de mayor tamaño para proveer del mismo nivel de control de la velocidad, comparado con los redondeles de alineaciones que no pasan por su centro. (NCHRP, 2010)

El caso de la alineación hacia la derecha, ésta tiene algunas desventajas sobre todo en cuanto a redondeles de gran tamaño se refiere, dado que la deflexión es mucho menor que en los otros casos de alineamientos y tampoco se logra el control de la velocidad que se desearía. La alineación a la derecha del centro, produce una entrada mucho más tangencial y reduce la posibilidad de lograr suficiente curvatura que permita describir una trayectoria más natural para los vehículos en el redondel. (NCHRP, 2010)

### **Ángulo entre los ramales de aproximación.**

El ángulo de aproximación entre los ramales es otro elemento importante a considerar al diseñar el redondel, un ángulo entre ramales significativamente mayor a  $90^\circ$  da como resultado altas velocidades de circulación para uno o varios giros. Por otro lado, si el ángulo entre ramales es significativamente menor a  $90^\circ$ , se presentan dificultades en los giros de entrada y salida para los vehículos de gran tamaño. Generalmente, es más fácil llegar a los objetivos de diseño discutidos en la primera parte del capítulo; si los ángulos entre ramales son perpendiculares o cercanos a la condición de perpendicularidad, sin embargo ésta condición no es un requisito para el diseño. (NCHRP, 2010)

En el caso del redondel del presente estudio, existen 5 aproximaciones que componen la intersección por lo cual, siempre el ángulo entre dos ramales será menor que  $90^\circ$ . En especial, la aproximación más crítica es la de la Av. Colón w/e, dado que forma los ángulos más pequeños con las aproximaciones de la Av. Coruña n/s y la Av. 12 de Octubre w/e. En estos casos, lo más importante es garantizar que el vehículo de diseño no tenga problema al realizar los giros de la Av. Colón w/e a la Av. 12 de Octubre w/e y Av. Coruña n/s a la Av. Colón w/e.

### **Geometría de entrada y salida del redondel.**

Al diseñar redondeles de múltiples carriles, como es el caso del presente estudio, la geometría de la curvatura de entrada y salida del redondel es fundamental en el control de

velocidad de los vehículos, en la alineación de las trayectorias naturales de circulación, entre otras. En cuanto a la entrada se refiere, incrementar la curvatura definitivamente ayuda a controlar la velocidad de los vehículos reduciéndola significativamente, pero se debe ser cuidadoso ya que radios muy pequeños de entrada generan superposición en las trayectorias de vehículos que viajan lado a lado. La idea general se resume en encontrar iterativamente el balance ideal entre curvatura mientras se conserva intacta la alineación de las trayectorias naturales de los vehículos circulando lado a lado. Al momento de diseñar la curvatura se debe considerar adicionalmente que ésta es independiente de la alineación con el centro del redondel que tenga la aproximación. Para evitar esa fricción entre el tráfico adyacente, típicamente el radio de curvatura en la entrada debe ser de al menos 20 metros. (NCHRP, 2010)

Al igual que el diseño de la curvatura de entrada, el diseño de las curvas de salida, es más complejo para los redondeles de múltiples carriles. Se pueden crear puntos de conflicto fácilmente cuando se encuentran los vehículos salientes del redondel y aquellos que están circulando por el mismo (típicamente cuando existe demasiada separación entre dos aproximaciones al redondel, en otras palabras mucha separación entre un carril de entrada y el de salida inmediatamente siguiente); si no se provee de un alineamiento apropiado de trayectorias naturales de los vehículos y una alineación de las aproximaciones al redondel coherente. En el caso de las curvas de salida, los radios de curvatura son mayores que en el caso de las curvas de entrada, ya que esta característica facilita en la práctica una correcta alineación en las trayectorias de salida de los vehículos (circulación lado a lado). (NCHRP, 2010)

#### **Distancia de visibilidad.**

La distancia de visibilidad que se debe comprobar durante todo el trayecto desde la aproximación del vehículo a la intersección y durante el recorrido en el redondel, se puede

dividir en dos grupos; la distancia de visibilidad de parada o de aproximación a la intersección y la distancia de visibilidad de las interacciones del redondel o visibilidad de la intersección.

#### Distancias de visibilidad de parada

La distancia de visibilidad de parada se define en base a la percepción y subsecuente reacción del conductor con respecto al lugar que debe detenerse al aproximarse a la intersección, como la distancia justamente al obstáculo. En la guía para el diseño de redondeles de NCHRP, se recomienda el uso de la siguiente fórmula para la distancia de visibilidad de parada. (NCHRP, 2010)

$$d = (1.468)(t)(V) + 1.087 \frac{V^2}{a}$$

Donde:

- $d =$  distancia de visibilidad de parada (ft)
- $t =$  tiempo estimado de percepción – frenado (asumido 2.5 s)
- $V =$  distancia inicial (mph)
- $a =$  desaceleración del conductor (se asume que es 11.2 ft/s<sup>2</sup>)

La tabla 40 contiene los valores calculados mediante la fórmula recomendada por NCHRP para la distancia de visibilidad de parada. En redondeles se debe verificar que tres situaciones críticas cumplan con el mínimo de la distancia de parada, estas situaciones se muestran en el anexo M; de acuerdo a las recomendaciones de NCHRP. (NCHRP, 2010)

Tabla 40. Distancia de parada calculada en función de la velocidad. (Transformada a SI) (NCHRP, 2010)

Velocidad (km/h)	Distancia calculada (m)
10	8.1
20	18.5
30	31.2
40	46.2
50	63.4
60	83
70	104.9
80	129
90	155.5
100	184.2

#### **Distancia de visibilidad en la intersección.**

Se define como la distancia de visibilidad en la intersección aquella que permite al conductor de un vehículo percibir obstáculos u otros vehículos que puedan causar conflicto, y le permita el tiempo necesario para reaccionar y frenar adecuadamente. La distancia de visibilidad en cualquier intersección se determina con triángulos de visibilidad. En el general, los triángulos de visibilidad se trazan entre el punto de visión del conductor y el obstáculo, el punto de visión del conductor y la entrada a la intersección, finalmente la tercera línea une el obstáculo con el punto de entrada a la intersección; configurando el triángulo. En el caso de redondeles, la distancia que se debe comprobar es aquella que une el punto donde se encuentra el obstáculo con el punto de ingreso a la intersección, como se muestra en el diagrama de la figura 41. Se puede observar que en el caso de redondeles tanto la distancia  $d_1$  (flujo entrante) como la distancia  $d_2$  (flujo circulante) no se miden en forma recta desde el obstáculo al punto de ingreso a la intersección sino que por el contrario se toma en cuenta la distancia de recorrido entre estos dos puntos (véase figura 41, en la página siguiente). (NCHRP, 2010)

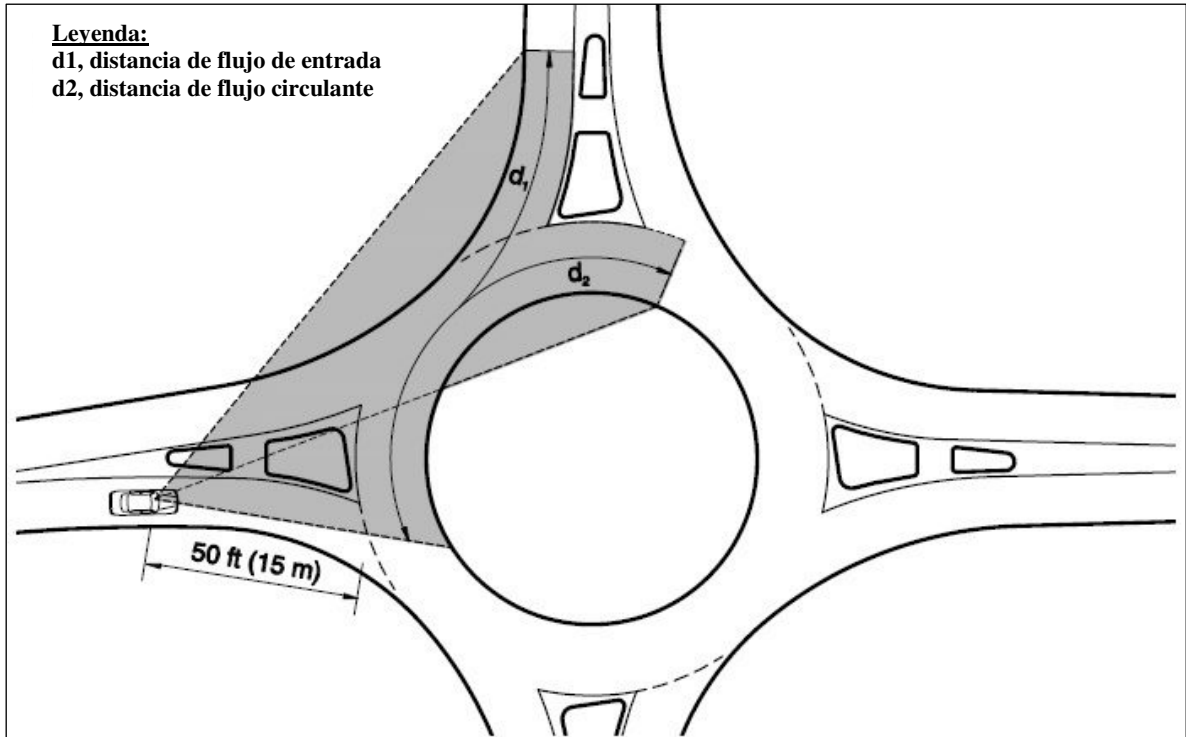


Figura 41. Distancias de visibilidad de la intersección. [Traducido por el autor] (NCHRP, 2010)

Las distancias  $d_1$  y  $d_2$  para el flujo de entrada y el circulante, respectivamente, se calculan con la misma formulación; presentada a continuación. (NCHRP, 2010)

$$d_{1y2} = (1.468)(V_{mayor})(t_c)$$

Donde:

- $d_{1y2} =$   
*distancia de visibilidad del flujo de entrada y circulante (ft)*
- $V =$  *velocidad del flujo conflictivo (mph)*
- $t_c =$  *tiempo crítico de transición para entrar (asumido 5 s)*



La tabla 41 contiene los valores calculados mediante la fórmula recomendada por NCHRP para la distancia de visibilidad del flujo de entrada y circulatorio en función de la velocidad del flujo que se aproxima (tanto circulatorio como de entrada). (NCHRP, 2010)

Tabla 41. Distancia de visibilidad del flujo de entrada y circulatorio, calculada en función de la velocidad del flujo conflictivo. (Transformada a SI) (NCHRP, 2010)

Velocidad del flujo conflictivo (km/h)	Distancia calculada (m)
20	27.8
25	34.8
30	41.7
35	48.7
40	55.6

Cabe resaltar que la investigación sobre la distancia de visibilidad en la intersección ha demostrado que en la mayoría de casos, es preferible no diseñar para una distancia mayor a las de la tabla 41 para cada aproximación. Proveer de una distancia mayor de visibilidad, puede promover el incremento de la velocidad por parte del conductor, reduciendo la seguridad para los usuarios no-motorizados. (NCHRP, 2010)

#### **Consideraciones adicionales.**

Existen una gran cantidad de detalles menores de diseño adicionales a los discutidos anteriormente, mismos que no se han estimado necesaria su discusión; pero que decididamente han sido considerados en el diseño final. Ejemplos de estos son, detalles de los requisitos para el diseño de acuerdo a las necesidades de peatones y ciclistas, consideraciones de zonas de parqueo, entre otros. En cuanto a las zonas de parqueo existentes en la actualidad, sobre los dos sentidos de las Av. 12 de Octubre e/w (desde la calle Lincoln) y Av. Coruña s/n (desde la calle Isabel La Católica); se decide eliminar

dichas zonas puesto que se detalla en NCHRP los parqueaderos en las aproximaciones como limitantes de la eficiencia del redondel. (NCHRP, 2010)

En cuanto a las paradas de buses, se decide mover el lugar actual de la mayoría de dichas paradas, ya que en la actualidad se encuentran muy cercanas a la entrada y salida del redondel. Alternativamente, se propone mover el lugar donde se detienen los buses, según recomendación de la guía de NCHRP. Esta recomendación incluye alejar la parada de bus al menos 30 metros de la entra o salida de la intersección y colocarla inmediatamente después del paso peatonal; de tal manera que para los conductores detrás del bus se mejore la visibilidad de los peatones al intentar cruzar la calzada y al mismo tiempo reduzcan la velocidad intuitivamente a causa del obstáculo visual que representa el bus. (NCHRP, 2010)

#### **Consideraciones sobre el carril de bypass para giro a la derecha.**

Una parte fundamental de la propuesta de modificación geométrica a la intersección, tiene fundamento en el carril de bypass previsto para el giro a la derecha desde la Av. Colon w/e. Los carriles de bypass en redondeles tienen una inmensa ventaja cuando la capacidad de una aproximación se ve superada por la demanda y al mismo tiempo, una cantidad significativa de dicha demanda realiza el giro a la derecha. Si bien, se reconoce ampliamente que el uso de un carril bypass de giro a la derecha mejora la capacidad de la intersección cuando existe gran demanda de dicho giro; se deben tomar en cuenta ciertas condiciones generadas por el carril exclusivo o bypass que condicionan el diseño. (NCHRP, 2010)

El ingreso y salida del carril de bypass, puede generar conflictos adicionales a los propios del redondel, con respecto a los usuarios no-motorizados; dado que este carril por lo general opera a una velocidad mayor que la prevista para el redondel y el conductor tiene la expectativa de no encontrarse con obstáculos al circular por dicho carril. Otro

factor importante a considerar es que el bypass debe ser prolongado tanto como sea necesario para que la velocidad del carril de bypass sea semejante a las de los vehículos que abandonan la intersección, de esta manera la incorporación al tráfico de los vehículos circulando por el bypass resulte tan natural como sea posible. La ilustración 3 contiene la configuración típica de un carril bypass para giro a la derecha. (NCHRP, 2010)

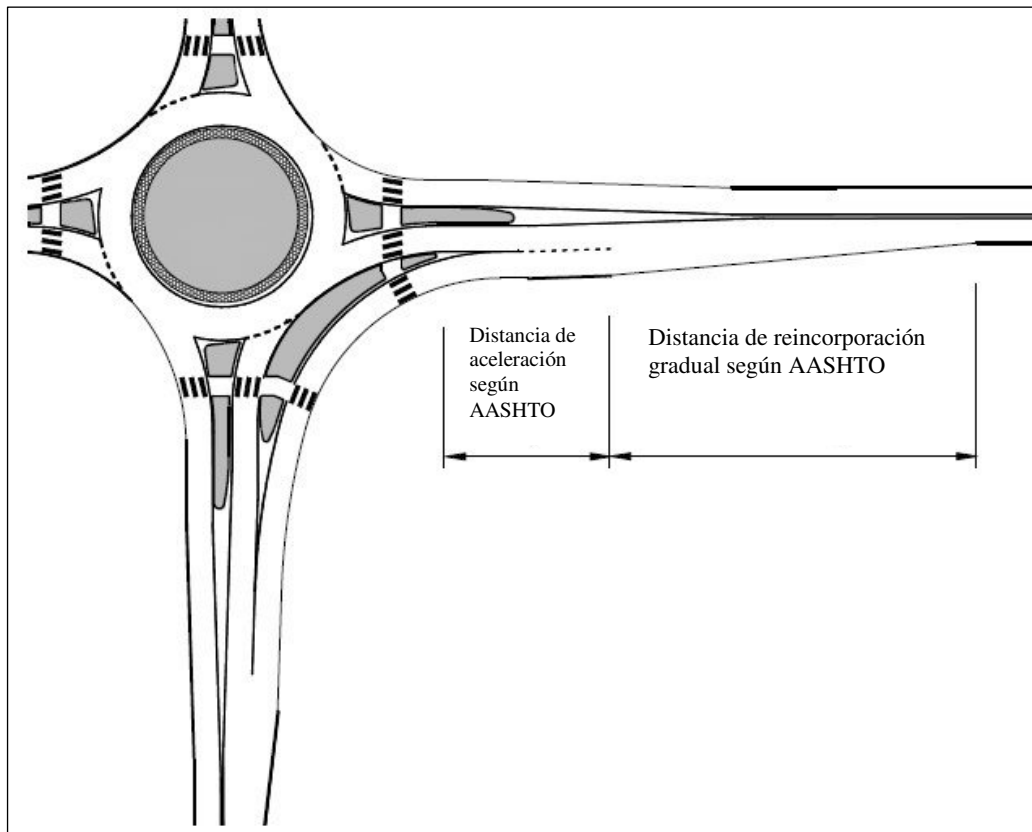


Figura 42. Configuración típica de un carril bypass en redondel. [Traducido por el autor] (NCHRP, 2010)

### **Elementos geométricos del diseño final.**

Una vez discutidas las consideraciones para el diseño geométrico a lo largo del capítulo, la tabla 42 presentada a continuación, resume las características geométricas generales del diseño. El Anexo Q, compuesto por dos láminas, contiene el detalle de las características geométricas de la propuesta final del diseño del redondel.

Tabla 42. Características geométricas generales.

<b>Características Geométricas Generales</b>	
<b>Parterres</b>	
Separación mínima en filo redondel	: 0.50 m
Separación máxima en filo redondel	: 1.00 m
Separación típica laterales	: 0.3 m
Radio mínimo borde redondel	: 0.25 m
Radio máximo borde redondel	: 0.50 m
Radio típico pasos peatonales	: 0.2 - 0.3 m
Distancia abertura paso peatonal	: 3 m
Radios de curvatura (referirse a lámina 3)	: múltiples
<b>Redondel</b>	
Tipo de redondel	: Múltiples carriles
Número de carriles	: 3
Diámetro círculo inscrito	: 51 m
Diámetro isleta central	: 27 m
Ancho de carril	: 4 m
<b>Bypass giro derecho</b>	
Múltiples dimensiones, referirse a lámina 3.	
<b>Ramales de aproximación</b>	
<b>Av. Coruña n/s</b>	
Alineación con respecto al centro del redondel	: Derecha
Radio de curvatura del ramal de entrada	: 100 m
Radio de curvatura del ramal de salida	: 60 m
<b>Av. Colón w/e</b>	
Alineación con respecto al centro del redondel	: Izquierda
Radio de curvatura del ramal de entrada	: 30 m
Radio de curvatura del ramal de salida	: 80 m
<b>Av. 12 de Octubre w/e</b>	
Alineación con respecto al centro del redondel	: Derecha
Radio de curvatura del ramal de entrada	: 60 m
Radio de curvatura del ramal de salida	: 30 m
<b>Av. Coruña s/n</b>	
Alineación con respecto al centro del redondel	: Derecha
Radio de curvatura del ramal de entrada	: 50 m
Radio de curvatura del ramal de salida	: 40 m
<b>Av. 12 de Octubre e/w</b>	
Alineación con respecto al centro del redondel	: Derecha
Radio de curvatura del ramal de entrada	: 50 m
Radio de curvatura del ramal de salida	: 40 m

### **Modificaciones a la estructura geométrica actual para el diseño definitivo.**

A continuación se detallan las modificaciones realizadas a la geometría actual de la intersección, en especial las modificaciones previstas al número de carriles, estructura de parterres, alineación de la aproximación, entre otros.

Los parterres de las cinco aproximaciones, sufren modificaciones en las cercanías del redondel. Todos ellos, que en la actualidad son completamente simétricos con respecto

a su eje; sufren variaciones (generalmente disminución) en el ancho del parterre a lo largo de la trayectoria. Esto sucede por la necesidad de diseñar la curvatura de la aproximación para generar deflexión en las trayectorias de entrada de los vehículos.

Se decide cerrar parterre (o isleta divisoria entre los sentidos de circulación) sobre la Av. Coruña s/n, entre el redondel y la calle Isabel La Católica. La finalidad de cerrar el parterre o en otras palabras hacerlo continuo a lo largo de toda la aproximación, es evitar los giros a la izquierda o en u que se pueden producir en ambos sentidos de circulación; dado que al bloquear el carril izquierdo de ambos sentidos por causa del giro, se reduce en una tercera parte la capacidad del ramal.

Se reduce el parterre (o isleta divisoria entre los sentidos de circulación) de la Av. 12 de Octubre e/w (desde calle Lincoln), en 1.25 metros de cada lado con la finalidad de cumplir con los requisitos de tamaño adecuado para los tres carriles por sentido de circulación.

La Av. Colon w/e sufre dos cambios necesarios para poder crear el bypass de giro a la derecha. Se desvía la alineación de la aproximación con respecto a la alineación original, hacia el norte a  $1^{\circ}8'30''$ . Se reduce en 0.4 m, el ancho de la vereda en el ramal de entrada al redondel (reducción aplica entre la calle Francisco Salazar y el redondel).

En la Av. Coruña s/n desde la calle Isabel La Católica, se realiza una ampliación a 3 carriles efectivos, dado que el carril derecho no funcionaba como tal ya que estaba destinado al estacionamiento vehicular, en ambos sentidos de circulación (entrada y salida del redondel).

Se define como lugar estratégico para las paradas de transporte público, el espacio inmediatamente después de los cruces peatonales, por seguridad del peatón al cruzar la calzada. Por esta razón cambian los lugares donde se ubica la estructura de las paradas de transporte público.

## **Señalización para el diseño definitivo**

En el marco teórico, se definieron ya las características de señalización globales y los tipos de señalización tanto para una intersección cualquiera, como en los redondeles. Por lo cual, se analizarán los objetivos que se persiguen con la señalización para los redondeles y elementos puntuales, no discutidos con anterioridad como es la señalización para los cruces peatonales como principal cambio a la situación actual.

Adicionalmente a la teoría general de señalización expuesta en el marco teórico, se siguen las recomendaciones del capítulo 7 de la guía de NCHRP, principalmente en la señalización horizontal del redondel. Para términos de diseño, configuración y dimensiones de las señales de tránsito (verticales y horizontales), siempre teniendo en cuenta que éstas deben estar de acuerdo con el contexto local; se debe utilizar el reglamento técnico ecuatoriano INEN, tanto para señalización vertical (RTE INEN 004-1:2011) como horizontal (RTE INEN 004-2:2011). De esta manera garantizar consistencia en las señales de tránsito de acuerdo con el contexto del proyecto.

El lugar y el tipo de señalización que se encuentra funcionando actualmente en la intersección se encuentra detallada en la lámina del anexo O, mientras que la señalización planteada para el rediseño del redondel, se encuentra detallada en la lámina del anexo P. La discusión y el detalle del dimensionamiento de las señales de tránsito vertical y horizontal no forma parte del alcance del presente estudio, por tanto las láminas de los anexos O y P, comprenden la ubicación y tipo de señales tanto existentes como propuestas, siguiendo las características definidas en la normativa anteriormente mencionada no obstante obviando la escala y dimensionamiento correspondiente a cada señal.

### **Principios.**

Consistentemente con la metodología presentada en el presente capítulo, se siguen los principios de NCHRP para la configuración de la señalización tanto horizontal como

vertical como complemento del diseño geométrico. A continuación se detallan los principios propuestos por la metodología, que deben servir principalmente, para crear un sistema de señales que guíen y regulen el comportamiento de los usuarios.

La señalización tanto vertical como horizontal, forma parte integral en el diseño de redondeles, en especial de múltiples carriles; por tanto, debe ser considerada durante las etapas preliminares del diseño antes que adecuarla en la etapa final del mismo. (NCHRP, 2010)

Si bien la señalización es un complemento del diseño geométrico de redondeles, ya que clarifican las reglas de circulación que tienen que seguir los usuarios; ésta no aporta a la seguridad de los usuarios tanto como un diseño geométrico eficiente. (NCHRP, 2010)

La señalización tanto vertical como horizontal, debe ser coherente y compatible; tanto en los carriles de aproximación como dentro del redondel, para que el mensaje sea consistente para el usuario. (NCHRP, 2010)

La señalización debe lograr facilitar para el usuario la elección del carril adecuado al aproximarse al redondel, mismo que le permitirá realizar el giro requerido sin tener que cambiar de carril. Al mismo tiempo la señalización debe proveer el tiempo y distancia necesario para realizar dicha elección. (NCHRP, 2010)

### **Semaforización actuada para peatones.**

Una de las aristas más importantes con respecto a la seguridad de los usuarios no motorizados es el cruce peatonal. La densidad de peatones en la intersección que deben cruzar una o más aproximaciones es sumamente alta durante las horas de mayor demanda vehicular. Actualmente, el paso peatonal se encuentra colocado en las entradas del redondel, situación que es sumamente peligrosa y que debe evitarse en este tipo de intersecciones. Dada la situación actual, se ha evidenciado que los peatones se ven forzados a tomar muchos riesgos para cruzar cualquier aproximación y más aún los

usuarios con capacidades especiales, personas con coches de niños, entre otros. Por lo tanto, el problema del cruce peatonal todavía no se solucionado en la actualidad, ni se ha tratado todavía en el desarrollo del presente estudio. A causa del problema identificado y la necesidad de solucionarlo, se propone adicionalmente al cambio de la geometría de la intersección, la implementación de semáforos híbridos actuados para el cruce peatonal (HAWK signals).

Existen dos razones fundamentales que motivan la implementación de dichos semáforos para el caso del presente estudio. La razón fundamental es que se ha demostrado que la seguridad se incrementa enormemente desde una perspectiva del peatón. Por otro lado, resulta sumamente interesante los huecos o intervalos (gaps) arbitrarios que se generan en el flujo vehicular a causa de la detención de los vehículos; mientras se garantiza que la intersección esté todo el tiempo cargada, dichos huecos o gaps que se generan en el flujo vehicular de cada ramal, promueven la fluidez en al interior del redondel. (NCHRP, 2010)

Si bien se puede pensar que la implementación de este tipo de semáforos actuados tiene como gran desventaja la generación de mayores demoras en la intersección, estas demoras resultan significativamente menores que las obtenidas por un semáforo tradicional (verde-rojo-amarillo) dado que la fase de detención de los vehículos depende exclusivamente de la demanda peatonal; por lo tanto durante la gran mayoría de horas del día los semáforos estarán inactivos. La ilustración 4 contiene la secuencia de funcionamiento general para el semáforo peatonal propuesto. (NCHRP, 2010)



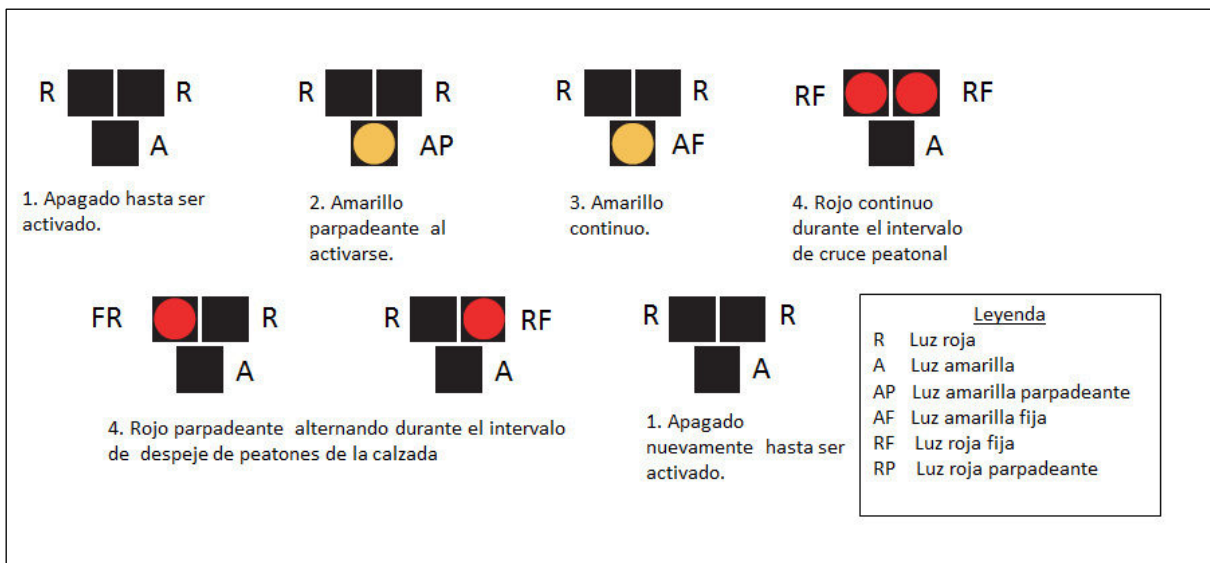


Figura 43. Secuencia de funcionamiento, semáforo actuado peatonal propuesto. (MUTCD, 2009)

La estructura del semáforo peatonal tiene 3 cabezales de luces, dos superiores de color rojo y una inferior de color amarillo. La secuencia mostrada en la ilustración 4 comienza con el semáforo apagado. Al ser activado por peatones, el semáforo empieza su ciclo con amarillo parpadeante, luego amarillo continuo, rojo continuo (encendidos ambos cabezales superiores) y finalmente rojo parpadeante alternando. Como en el caso de los semáforos convencionales, las señales amarilla (ciclo parpadeante y fijo) y roja (ciclo parpadeante y fijo) significan exactamente igual, por lo tanto una vez apagado el semáforo; los vehículos pueden circular libremente. Adicionalmente a los semáforos planificados para regular la circulación vehicular en los pasos peatonales, se propone colocar cabezales semafóricos direccionados a los peatones que tengan como función señalar el período durante el cual es seguro cruzar la calzada. Los semáforos para peatones deben estar coordinados con las fases del semáforo actuado. (NCHRP, 2010)

Para el diseño de los tiempos adecuados de cada fase y las características necesarias para la implementación de este sistema, el manual de FHWA (Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways) es ampliamente recomendado por la

metodología seguida en este capítulo. Las características más importantes aplicadas al redondel del presente estudio son que al menos se debe colocar un grupo de tres cabezales por cada sentido de circulación de las aproximaciones, adicionalmente se debe colocar una señal horizontal sobre la calzada que indique el lugar donde deben detenerse los vehículos, se debe colocar un semáforo para los peatones en los dos extremos del paso peatonal. Adicionalmente, el manual recomienda instalar los sistemas de semáforos actuados al menos 30 metros separados de ramales controlados por señales de PARE o CEDA EL PASO, y evitar obstrucciones (vehículos parqueados) al menos 30 metros antes y 10 metros después del semáforo actuado. (MUTCD, 2009)

Según las recomendaciones del manual de FHWA para el caso de cruces peatonales cercanos a redondeles, la duración de las fases queda a criterio del análisis del diseñador del sistema semaforico, y puede ayudarse de análisis de sensibilidad para dicho fin. En el caso del presente estudio, se planifica la duración de la fase amarilla parpadeante en 3 segundos, 3 segundos también para la fase de amarillo continuo (recomendación del manual), 19 segundos para la fase de rojo continuo y finalmente, 7 segundos para la fase de rojo parpadeante. El cálculo del tiempo necesario para la fase roja continua se lo realizó por medio de un muestreo del tiempo que le toma a un peatón cruzar los dos sentidos de los 5 ramales; determinando estadísticamente que el tiempo medio de cruce es de aproximadamente 16 segundos (15.99) con una desviación estándar de 3 segundos aproximadamente (2.80). Dicho cálculo se puede corroborar en el Anexo N. (MUTCD, 2009)

## CAPÍTULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### Conclusiones

El hecho de que el uso del suelo en la zona de la intersección sea de múltiples características y casi igualmente importantes; produce viajes intrazonales e interzonales de variados orígenes y naturaleza, dificultando así las decisiones en la planificación del transporte y en las medidas que se adoptan para solucionar los problemas de movilidad. Adicionalmente al uso del suelo, la ubicación de la intersección en la ciudad en un punto neurálgico y al estar formada por varias vías arteriales, produce que los usuarios sean de múltiples orígenes y características; por tanto, se tiene gran flujo de tráfico en todos los giros posibles del redondel.

La información recolectada de la demanda es crucial, puesto que de ella depende irremediablemente tanto los problemas que aparentemente tiene la intersección así como, de las soluciones que se plantean; por esta razón se debe recolectar la información siguiendo procedimientos técnicos que permitan lograr la mayor precisión posible. En este sentido se debe recurrir a procedimientos técnicos planteados por metodologías como la del manual HCM, dado que se evidencia una falta de procedimientos técnicos propuestos y regulados por las entidades locales correspondientes como la EPMMOP o el MTOP.

Dado que la información de demanda es lo único con lo que se cuenta al momento de analizar la intersección, la cantidad de datos que se pueda recolectar debe ser de calidad y tan abundante como sea posible. Al mismo tiempo, mientras mayor sea la cantidad de días de la semana en los que se pueda recolectar la información, ésta resultará más fiable.

Los aforos manuales, a diferencia del método automático empleado, son definitivamente una manera más precisa y confiable de obtener datos reales de la demanda y los giros, tanto para un redondel como es el caso del presente estudio, así como para cualquier tramo vial. El método automático empleado en el presente estudio es sumamente

sensible a sufrir desperfectos, principalmente cuando existen intensos flujos vehiculares, velocidades elevadas, condiciones atmosféricas muy variables, entre otros.

El nivel de servicio actual de la intersección está muy por debajo de lo aceptable; se observa en prácticamente todos sus ramales demoras cuantiosas que, clasificadas se encuentran significativamente por debajo del nivel de servicio ("F") de peores prestaciones.

Entre las opciones evaluadas por medio de la simulación, se concluye que rediseñar geoméricamente la intersección para mejorar el nivel de servicio durante las horas pico, es la mejor opción. Dado que, las condiciones en las que funciona la intersección fuera de las horas pico son significativamente mejores que las previstas en las horas de máxima demanda; no se justifica el diseño de un intercambiador que signifique mayor tiempo de construcción, costo, impacto en la zona del proyecto y traslade el problema a las intersecciones inmediatamente adyacentes.

El diseño del redondel se enfocó, en favorecer la naturalidad de las trayectorias de los vehículos en su interior, adicionalmente se eliminó el punto más conflictivo (giro derecho desde Av. Colón w/e) por medio del bypass propuesto. Estas condiciones generales mencionadas en conjunto con el rediseño geométrico según los parámetros definidos en normativa utilizada, resultan suficientes para reducir significativamente la congestión y las demoras que sufren los usuarios.

Se opta por usar el conjunto de semáforos actuados para los cruces peatonales, dado que las investigaciones reportan mejoras significativas en cuanto a las prestaciones de la intersección para los usuarios no-motorizados. Si bien, se debe evaluar el funcionamiento in-situ, una vez implementado el sistema; el concepto garantiza la disminución sustancial del peligro existente en la actualidad para los peatones (observado durante la realización

del presente estudio), al momento de cruzar cualquiera de las aproximaciones que forman la intersección.

A lo largo del proceso de recolección de información sobre la demanda, se observa que la presencia e intervención policial en la intersección, lejos de ayudar a reducir la congestión; provoca mayores demoras para los usuarios, al mismo tiempo que se registra un incremento significativo en el número de accidentes de tránsito.

Es sumamente importante y apremiante, la elaboración de un código ecuatoriano que defina los parámetros para, evaluación, análisis y diseño de todo tipo de infraestructura vial. Por otro lado, resulta necesario incrementar la investigación en el transporte local, con la finalidad de entender las necesidades globales del transporte y la movilidad.

### **Recomendaciones**

Cuando se planifica la recolección de datos, se debe prever las variaciones en el clima durante dicho proceso, así como anticipar cualquier tipo de problema que el equipo de apoyo pueda presentar. Se recomienda en definitiva, dar una capacitación previa de la forma correcta de realizar los procedimientos de conteo a las personas que van a participar del mismo, dado que indudablemente la calidad de los datos se ve afectada por dudas o problemas que puedan presentarse al momento de aforar.

En cuanto a los contadores automáticos se refiere, el lugar donde se colocan las mangueras es fundamental para el funcionamiento del contador. Se las debe colocar sobre la calzada en tramos donde los vehículos generalmente no varíen significativamente su velocidad o donde estos no frenen abruptamente; dado que este comportamiento es la causa en la mayoría de ocasiones de rupturas en las mangueras.

Se debe monitorear constantemente los contadores automáticos y sobretodo las mangueras que permiten su funcionamiento, ya que estos dispositivos tienen la desventaja

que no se pueden detectar cuando fallan inmediatamente sino que únicamente se detectan cuando se hace el control del funcionamiento.

Se recomienda ampliamente el uso de Aimsun para la modelación, tanto por la facilidad que presenta al usuario para manejar el software, así como la versatilidad de tamaño y complejidad de las redes que se pueden modelar.

En cuanto a la falta de metodologías para el análisis de la demanda y diseño de la infraestructura, que sean propias al contexto de nuestro país; se recomienda usar AASHTO para el diseño y HCM para el análisis de capacidad y demanda.

Se deberían realizar procesos similares de análisis y rediseño de muchas otras intersecciones de la ciudad que se encuentran en condición tan crítica como la analizada en este estudio, al mismo tiempo se recomienda que la municipalidad cree un programa de evaluación de las intersecciones, implementación de cambios y monitoreo de los mismos.

La situación crítica de la intersección, fue la motivación principal para el presente estudio; dado que su estado permanece crítico, se recomienda ampliamente evaluar el funcionamiento de la misma por parte de la entidad municipal competente, con el fin de proporcionar una solución al problema que representa dicha intersección para la movilidad de la ciudad. Si bien el presente estudio podría no considerarse definitivo, se recomienda como punto de partida o estudio preliminar del problema, con su correspondiente propuesta de solución.

La opción de utilizar semáforos actuados, forma parte de un grupo de varias alternativas que pueden ser implementadas, y si bien podría haber otras opciones que resulten mejores; es necesaria la investigación al respecto por el organismo municipal encargado de la movilidad, con el fin de encontrar que mecanismo se ajusta mejor a las necesidades de la intersección y al comportamiento de los usuarios.

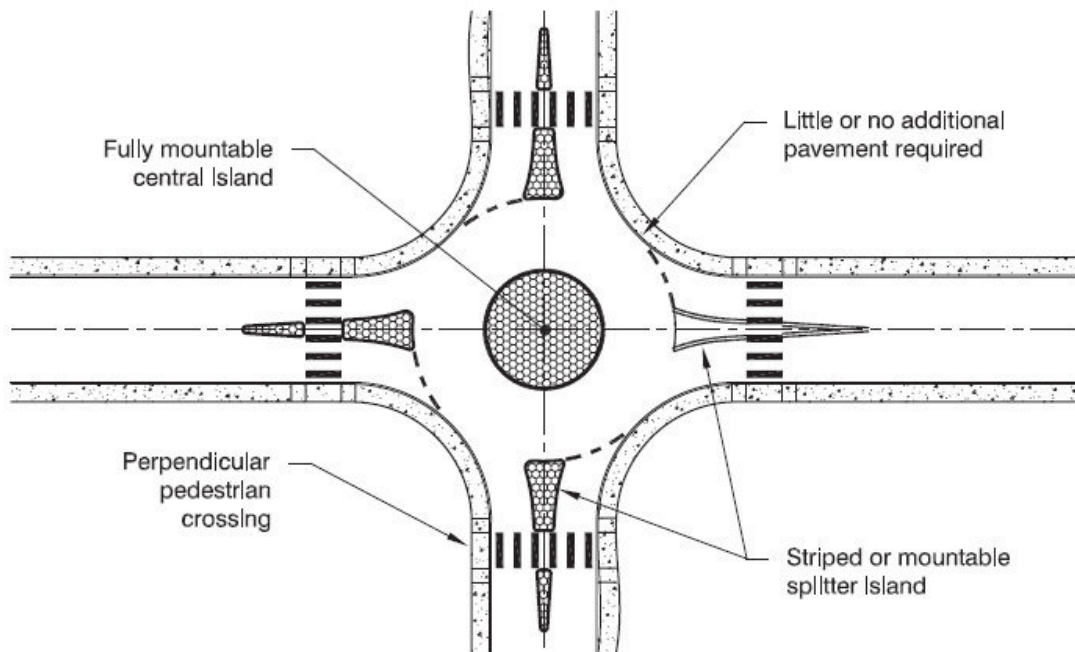
## REFERENCIAS

- AASHTO. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* (6th ed.). Washington D.C.: American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Box, P. C. (1985). *Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito* (Cuarta ed.). Mexico D.F.: Representaciones y servicios de Ingeniería.
- Cárdenas G., J., & Cal y Mayor R., R. (2007). *Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y aplicaciones* (Octava ed.). Mexico D.F.: Alfaomega.
- DMPT-MDMQ. (n.d.). Dirección Metropolitana de Planeación Territorial. Recuperado, Octubre 20, 2013, de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito: [http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/proyeccion\\_zonal.htm](http://sthv.quito.gob.ec/images/indicadores/proyeccion_zonal.htm)
- DMQ. (2011). Ordenanza de Zonificación No. 0031. Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Dirección Metropolitana de Planificación Territorial y Servicios Públicos, Quito.
- Guaman Carrazco , G. A., & Lara Romero, V. J. (2008). *Estudio de tráfico, impacto ambiental y diseño geométrico del intercambiador (sector centro agrícola)*. Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba.
- Hay, W. (1983). *Ingeniería de Transporte* (Primera ed.). (R. C. Berber, Trans.) Mexico D.F.: LIMUSA S.A.
- INEC. (2013). Instituto Nacional de Estadísticas y Censos. *Anuarios de Transporte*. Recuperado Agosto 18, 2013, de [http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com\\_content&view=article&id=294&Itemid=380&lang=es](http://www.inec.gob.ec/inec/index.php?option=com_content&view=article&id=294&Itemid=380&lang=es)
- Johansson, C., & Rumar, K. (1971). Driver's Brake Reaction Time. *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society* , Vol 13 (No.1), 22-27.
- Ko, J., Hunter, M., & Guensler, R. (2007). *Measuring Control Delay Using Second-by-Second GPS Speed Data*. Georgia Institute of Technology, School of Civil And Environmental Engineering, Atlanta.
- Lane, R., Powell, T., & Prestwood Smith, P. (1975). *Planificación analítica del transporte*. (S. T. Olmo, Trans.) Madrid: Gerald Duckworth & Co. Ltd.
- Municipio Del Distrito Metropolitano de Quito. (2008). *Plan Maestro de Movilidad 2009-2025*. EMMOP, Quito.
- MUTCD. (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways*. U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration. FHA.

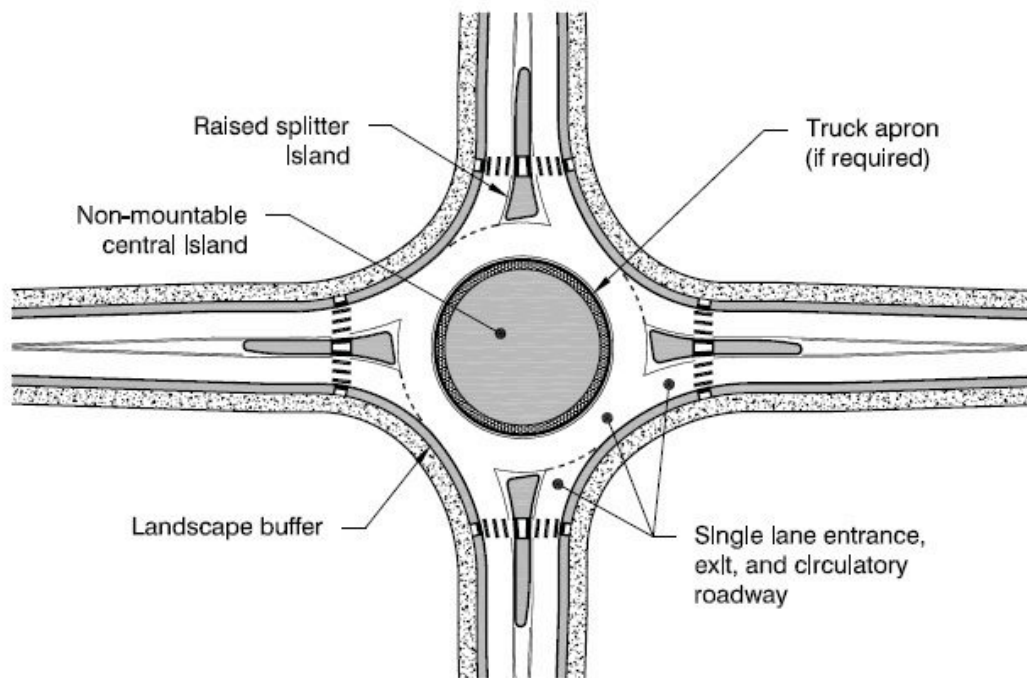
- National Research Council. (2010). HCM 2010: Highway Capacity Manual. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- NCHRP. (2010). National Cooperative Highway Research Program Report 672: Roundabouts: An Informational Guide. Washington, DC: NCHRP, Transportation Research Board.
- PNUMA, FLACSO. (2011). Perspectivas del ambiente y cambio climático en el medio urbano: ECCO Distrito Metropolitano de Quito. Quito: FLACSO.
- PUOS. (2011, Diciembre). Secretaría de Territorio Habitat y Vivienda. Recuperado Octubre 20, 2013, de Municipio del Distrito Metropolitano de Quito, Mapas DMQ: <http://sthv.quito.gob.ec/images/PUOS2012/USOSSUELOPRINCIPALPUOSU1.pdf>
- T.A.M.S. – ASTEC. (2003). Normas de Diseño Geométrico de Carreteras. LOUIS BERGER INTERNACIONAL, INC. (New Jersey, USA) - PROTECVIA CIA. LTDA.
- TSS. (2014). Aimsun DTA. Barcelona: Transport Simulation Systems.
- Valdez Gonzales-Roldan, A. (1982). Ingeniería de Tráfico (3era ed.). Madrid: Dossat.



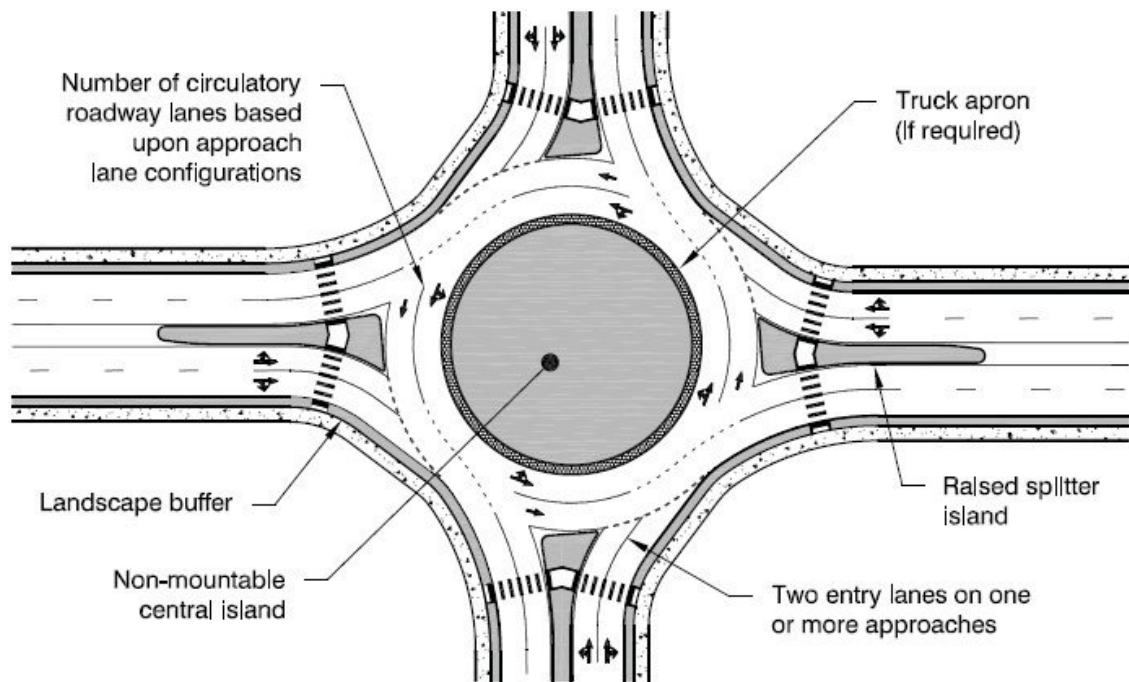
## ANEXO A. CONFIGURACIONES TÍPICAS DE REDONDELES



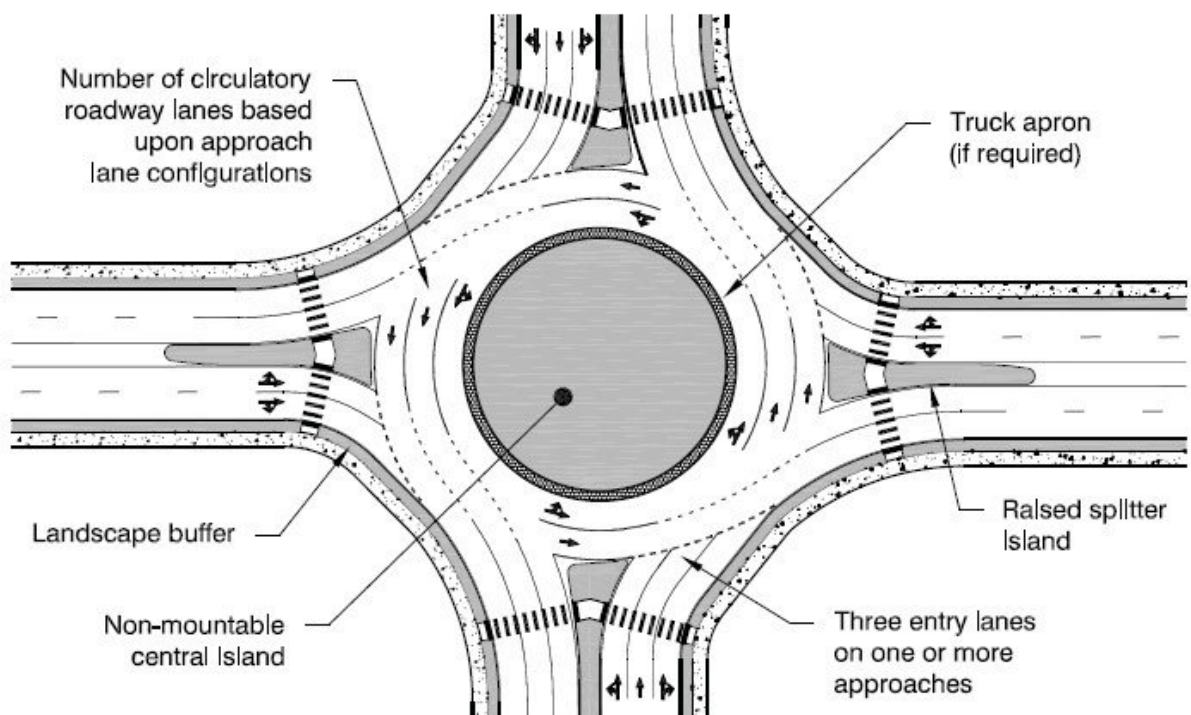
### Anexo A.1. Configuración Típica Mini-Redondel. (NCHRP, 2010)



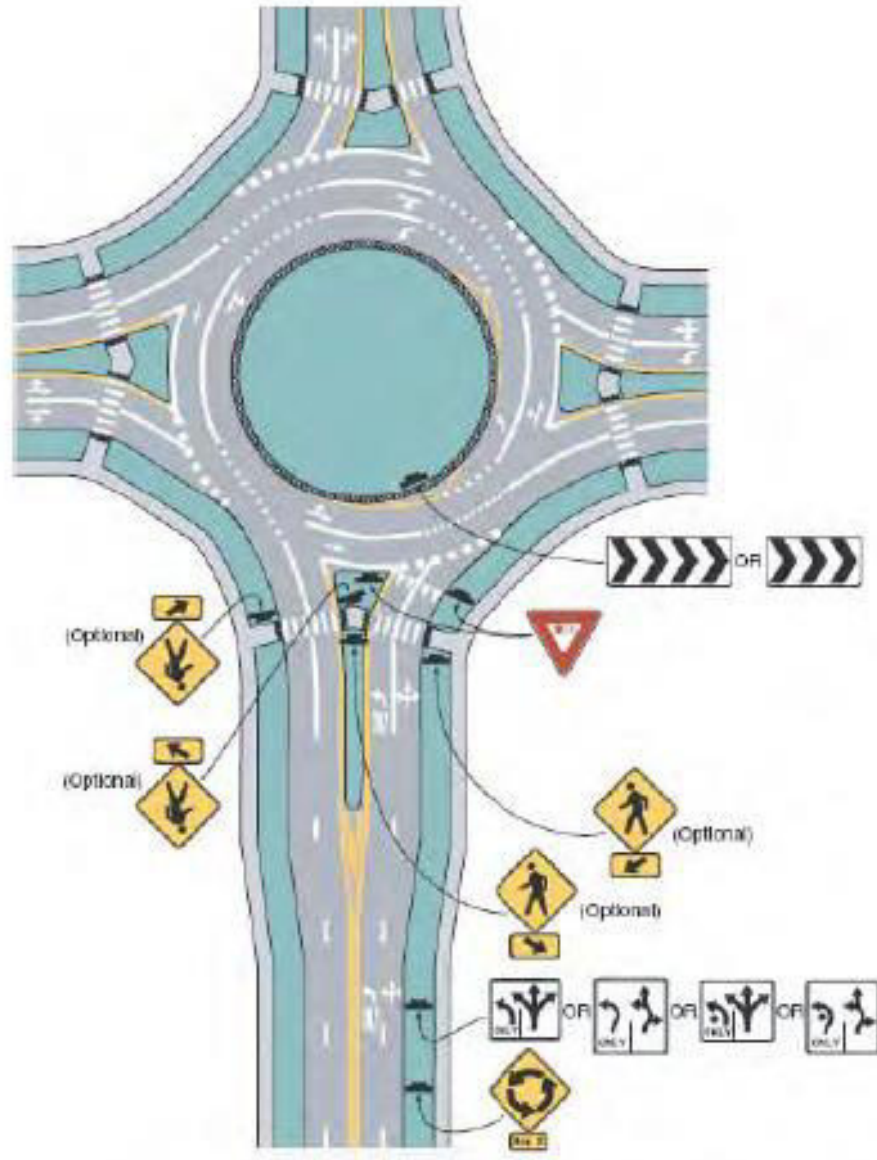
### Anexo B.2. Configuración Típica Redondel de un carril. (NCHRP, 2010)



### Anexo C.3. Configuración Típica Redondel de dos carriles. (NCHRP, 2010)



**Anexo D.4. Configuración Típica Redondel de tres carriles. (NCHRP, 2010)**



**Anexo E.5. Señalización vertical y horizontal típica para un redondel de dos carriles. (NCHRP, 2010)**

(NCHRP, 2010)

ANEXO B. REGISTROS DE LOS CONTEOS AUTOMÁTICOS

INTERVALO	VOLUMEN UNIFICADO CONTADOR SOBRE AV. CORUÑA N/S (Desde San Ignacio a Plaza Artigas)			
	viernes, 12 de julio de 2013	sábado, 13 de julio de 2013	miércoles, 24 de julio de 2013	jueves, 25 de julio de 2013
0:00 - 0:59	-	360	-	211
1:00 - 1:59	-	250	-	90
2:00 - 2:59	-	261	-	69
3:00 - 3:59	-	222	-	45
4:00 - 4:59	-	114	-	46
5:00 - 5:59	-	134	-	112
6:00 - 6:59	-	280	528	579
7:00 - 7:59	1122	603	1193	1017
8:00 - 8:59	1144	791	1506	1562
9:00 - 9:59	1093	840	1433	1424
10:00 - 10:59	1347	912	1366	1363
11:00 - 11:59	1293	965	1330	1342
12:00 - 12:59	1344	986	1376	1315
13:00 - 13:59	1319	1003	1338	1335
14:00 - 14:59	1335	905	1342	1333
15:00 - 15:59	1376	874	1359	1369
16:00 - 16:59	1242	825	1349	1309
17:00 - 17:59	1247	839	1023	1246
18:00 - 18:59	1182	848	1156	1288
19:00 - 19:59	1129	813	1115	1158
20:00 - 20:59	1130	668	1037	1070
21:00 - 21:59	1002	660	742	926
22:00 - 22:59	804	467	461	574
23:00 - 23:59	553	376	329	365
<b>TOTAL DIARIO</b>	<b>19662</b>	<b>14996</b>	<b>19983</b>	<b>21148</b>

Anexo B.1. Datos contador Av. Coruña (entrada al redondeo)

Anexo B.2. Datos contador AV. Coruña (salida del redonde).

INTERVALO	VOLUMEN UNIFICADO CONTADOR SOBRE AV. CORUÑA S/N					
	jueves, 18 de julio de 2013	viernes, 19 de julio de 2013	sábado, 20 de julio de 2013	domingo, 21 de julio de 2013	lunes, 22 de julio de 2013	martes, 23 de julio de 2013
0:00 - 0:59	143	215	647	315	68	111
1:00 - 1:59	84	133	323	239	40	60
2:00 - 2:59	70	113	264	255	25	36
3:00 - 3:59	52	72	223	186	48	50
4:00 - 4:59	86	101	158	101	89	69
5:00 - 5:59	229	224	179	132	223	224
6:00 - 6:59	859	855	434	286	834	815
7:00 - 7:59	1348	1324	812	435	1353	1326
8:00 - 8:59	1309	1476	1062	510	1468	1415
9:00 - 9:59	1277	1386	1079	617	1321	1400
10:00 - 10:59	1329	1272	1100	740	1320	1324
11:00 - 11:59	1294	1399	1033	762	1298	1249
12:00 - 12:59	1166	1229	1067	823	1221	1246
13:00 - 13:59	1131	1274	1017	784	1151	1159
14:00 - 14:59	1219	1249	898	720	1164	1193
15:00 - 15:59	1277	1297	867	731	1292	1275
16:00 - 16:59	1235	1199	939	759	1237	1261
17:00 - 17:59	1264	1241	888	762	1306	1311
18:00 - 18:59	1111	1158	900	727	1117	983
19:00 - 19:59	1004	1027	900	765	925	879
20:00 - 20:59	956	983	749	618	765	845
21:00 - 21:59	786	809	633	410	710	744
22:00 - 22:59	493	616	570	251	392	474
23:00 - 23:59	337	490	424	170	207	279
<b>TOTAL DIARIO</b>	<b>20059</b>	<b>21142</b>	<b>17166</b>	<b>12098</b>	<b>19574</b>	<b>19728</b>

**ANEXO C. HOJA DE REGISTRO CONTEO VEHICULAR Y PEATONAL**

**HOJA DE REGISTRO - CONTEO VEHICULAR Y PEATONAL**

FECHA :  
LUGAR :  
RAMAL :

OBSERVACIONES :

HORA	LIVIANOS	BUSES	CAMIONES	MOTOS	PEATONES
7:30 - 7:45					
7:45 - 8:00					
8:00 - 8:15					
8:15 - 8:30					
8:30 - 8:45					
8:45 - 9:00					
9:00 - 9:15					
9:15 - 9:30					
9:30 - 9:45					
9:45 - 10:00					
<b>HORA PICO MAÑANA</b>					
17:00 - 17:15					
17:15 - 17:30					
17:30 - 17:45					
17:45 - 18:00					
18:00 - 18:15					
18:15 - 18:30					
18:30 - 18:45					
18:45 - 19:00					
<b>HORA PICO TARDE</b>					

**ANEXO D. VOLUMEN ANUAL DE VEHÍCULOS – PEAJE AUTOPISTA  
RUMIÑAHUI**

<b>VOLUMEN ANUAL DE VEHICULOS - PEAJE AUTOPISTA LOS CHILLOS</b>												
<b>DIA</b>	<b>ENERO</b>	<b>FEBRERO</b>	<b>MARZO</b>	<b>ABRIL</b>	<b>MAYO</b>	<b>JUNIO</b>	<b>JULIO</b>	<b>AGOSTO</b>	<b>SEPTIEMBRE</b>	<b>OCTUBRE</b>	<b>NOVIEMBRE</b>	<b>DICIEMBRE</b>
1	20,137	29,156	30,754	29,705	27,755	28,551	29,589	34,929	31,253	33,270	32,364	31,404
2	28,759	25,951	25,375	29,258	26,984	28,939	29,742	32,614	32,097	36,825	26,850	32,662
3	28,340	25,113	28,703	30,322	26,976	29,934	30,667	28,062	32,805	33,318	25,406	33,818
4	25,873	19,768	29,416	33,355	24,976	29,826	34,181	32,270	32,744	27,634	32,564	35,854
5	23,261	27,050	29,796	31,293	29,342	30,510	32,045	32,065	35,533	33,143	32,130	35,391
6	28,788	12,543	30,660	26,809	29,833	33,677	26,100	32,193	32,010	33,423	33,036	30,273
7	28,850	24,024	33,568	29,673	29,707	31,852	29,949	32,288	26,931	34,144	36,304	26,858
8	28,890	24,911	31,805	29,548	30,405	24,232	31,340	34,315	31,667	2,799	32,775	31,805
9	29,029	24,986	28,105	30,122	34,313	29,559	30,945	32,550	32,101	34,761	26,429	32,927
10	31,875	23,291	29,411	30,812	31,831	30,283	31,431	29,182	32,185	31,188	32,058	32,977
11	28,192	22,571	29,591	33,875	30,297	30,398	33,385	30,736	32,313	25,616	32,526	33,604
12	24,126	28,384	29,740	32,618	29,195	30,705	31,559	30,023	35,197	32,944	32,547	37,750
13	29,440	29,340	30,149	29,530	29,414	34,649	27,110	31,958	31,323	32,467	32,770	35,782
14	29,280	32,488	33,719	29,488	29,912	31,942	29,709	32,202	27,923	33,020	36,109	27,880
15	29,356	29,822	30,480	29,996	30,056	28,348	29,745	34,637	31,990	33,703	27,869	32,168
16	28,950	24,804	26,549	30,655	33,475	29,615	31,009	31,986	32,278	36,586	25,572	33,374
17	31,794	28,531	28,690	30,212	31,364	29,863	34,163	27,673	32,036	32,690	31,530	34,396
18	28,788	28,850	29,309	33,200	26,401	30,034	33,213	31,591	32,997	25,839	32,287	35,707
19	22,399	28,770	29,494	29,986	29,146	30,992	28,123	32,387	36,018	32,284	32,114	40,353
20	28,300	29,219	30,124	25,587	29,781	33,848	30,085	31,889	31,856	32,794	33,049	37,797
21	28,566	32,010	33,574	28,190	29,812	32,125	30,852	32,120	26,690	32,866	35,963	26,970
22	28,980	30,206	31,330	29,077	30,573	25,721	31,212	34,095	31,383	33,067	31,725	34,982
23	28,969	25,556	26,441	28,867	33,743	29,670	31,475	31,261	31,775	36,309	25,994	28,147
24	31,912	28,622	28,813	29,437	29,291	30,087	33,820	28,137	31,920	34,038	31,549	36,498
25	29,023	29,545	29,683	32,622	24,574	29,990	33,471	31,689	32,808	28,145	31,618	24,691
26	23,427	30,003	31,383	29,499	29,174	30,866	27,807	31,738	35,426	32,436	29,508	30,712
27	27,940	28,479	30,025	24,301	29,581	34,482	29,957	31,904	32,531	32,147	32,936	29,637
28	28,303	32,545	20,035	28,899	30,115	31,755	30,769	33,010	26,164	32,172	36,559	25,502
29	28,564		23,801	29,127	30,542		31,269	35,196	32,198	32,456	31,339	29,484
30	29,142		24,934	31,215	33,585		32,381	32,939	32,872	32,159	25,795	31,558
31			28,941		33,170					37,997		31,078
<b>TOTAL MENSUAL</b>	<b>839,253</b>	<b>756,538</b>	<b>904,398</b>	<b>897,278</b>	<b>925,323</b>	<b>852,453</b>	<b>927,103</b>	<b>957,639</b>	<b>957,024</b>	<b>982,240</b>	<b>939,275</b>	<b>1,002,039</b>

## ANEXO E. CÁLCULO DEL FACTOR DE HORA PICO – CONTADORES AUTOMÁTICOS

### RESUMEN DE TABLAS PARA EL CÁLCULO EL FACTOR DE HORA PICO

jueves, 18 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	7:30 - 7:44	357	1428
	7:45 - 7:59	380	1520
	8:00 - 8:14	354	1416
	8:15 - 8:29	331	1324
	7:30 - 8:29	1422	
	<b>FHP =</b>	<b>0.936</b>	
viernes, 19 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	7:45 - 7:59	370	1480
	8:00 - 8:14	367	1468
	8:15 - 8:29	359	1436
	8:30 - 8:44	383	1532
	7:45 - 8:44	1479	
	<b>FHP =</b>	<b>0.965</b>	
sábado, 20 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	9:45 - 9:59	258	1032
	10:00 - 10:14	282	1128
	10:15 - 10:29	284	1136
	10:30 - 10:44	280	1120
	9:45 - 10:44	1104	
	<b>FHP =</b>	<b>0.972</b>	
domingo, 21 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	12:00 - 12:14	216	864
	12:15 - 12:29	188	752
	12:30 - 12:44	198	792
	12:45 - 12:59	221	884
	12:00 - 12:59	823	
	<b>FHP =</b>	<b>0.931</b>	
lunes, 22 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	7:45 - 7:59	382	1528
	8:00 - 8:14	368	1472
	8:15 - 8:29	367	1468
	8:30 - 8:44	379	1516
	7:45 - 8:44	1496	
	<b>FHP =</b>	<b>0.979</b>	
martes, 23 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	7:30 - 7:44	338	1352
	7:45 - 7:59	367	1468
	8:00 - 8:14	375	1500
	8:15 - 8:29	369	1476
	7:30 - 8:29	1449	
	<b>FHP =</b>	<b>0.966</b>	
miércoles, 24 de julio de 2013	<b>PERÍODO</b>	<b>VOL (VEH)</b>	<b>FLUJO DE T.</b>
	7:45 - 7:59	377	1508
	8:00 - 8:14	375	1500
	8:15 - 8:29	357	1428
	8:30 - 8:44	351	1404
	7:45 - 8:44	1460	
	<b>FHP =</b>	<b>0.968</b>	



## ANEXO F. CALCULO FACTOR DE HORA PICO – TODOS LOS RAMALES

### RESUMEN DE TABLAS PARA EL CÁLCULO EL FACTOR DE HORA PICO - POR RAMAL

Av. Coruña desde la San Ignacio

PERÍODO	VOL (VEH)	FLUJO DE T.
8:30 - 8:45	473	1892
8:45 - 9:00	525	2100
9:00 - 9:15	449	1796
9:15 - 9:30	472	1888
8:30 - 9:30	1919	
	<b>FHP =</b>	<b>0.914</b>

Av. Colón desde la Plácido Caamaño

PERÍODO	VOL (VEH)	FLUJO DE T.
8:00 - 8:15	160	640
8:15 - 8:30	167	668
8:30 - 8:45	183	732
8:45 - 9:00	179	716
8:00 - 9:00	689	
	<b>FHP =</b>	<b>0.941</b>

Av. 12 de Octubre desde la Salazar

PERÍODO	VOL (VEH)	FLUJO DE T.
17:30 - 17:45	308	1232
17:45 - 18:00	304	1216
18:00 - 18:15	339	1356
18:15 - 18:30	338	1352
17:30 - 18:30	1289	
	<b>FHP =</b>	<b>0.951</b>

Av. Coruña desde la Isabel La Católica

PERÍODO	VOL (VEH)	FLUJO DE T.
7:30 - 7:45	398	1592
7:45 - 8:00	365	1460
8:00 - 8:15	345	1380
8:15 - 8:30	358	1432
7:30 - 8:30	1466	
	<b>FHP =</b>	<b>0.921</b>

Av. 12 de Octubre desde lincoln

PERÍODO	VOL (VEH)	FLUJO DE T.
9:00 - 9:15	218	872
9:15 - 9:30	189	756
9:30 - 9:45	173	692
9:45 - 10:00	283	1132
9:00 - 10:00	863	
	<b>FHP =</b>	<b>0.762</b>



## ANEXO H. REGISTROS DE TIEMPOS DE CRUCE POR TRAMOS

### TIEMPOS DE CRUCE - INTERSECCIÓN REDONDEL PLAZA GENERAL JOSE ARTIGAS

**TRAMO 1-5:**
**AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA n/s**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	3	12
	2	2	8
	3	3	13
	4	1	54
	5	2	37
HORAS PICO TARDE	1	1	32
	2	1	25
	3	1	50
	4	1	42
	5	1	32
FLUJO LIBRE	1	0	29
	2	0	27

**TRAMO 5-1:**
**AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	23
	2	1	36
	3	1	38
	4	1	26
	5	1	41
HORAS PICO TARDE	1	2	26
	2	1	10
	3	1	34
	4	1	37
	5	1	5
FLUJO LIBRE	1	0	40
	2	0	38

**TRAMO 1-4:**
**AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	2	52
	2	3	4
	3	3	13
	4	2	49
	5	2	26
HORAS PICO TARDE	1	1	50
	2	2	33
	3	1	24
	4	3	39
	5	1	15
FLUJO LIBRE	1	0	22
	2	0	22

**TRAMO 4-1:**
**AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OC**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	0	53
	2	1	11
	3	1	5
	4	1	7
	5	1	11
HORAS PICO TARDE	1	2	1
	2	3	7
	3	4	0
	4	3	20
	5	2	12
FLUJO LIBRE	1	0	30
	2	0	30

**TRAMO 1-3:**
**AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	4	13
	2	1	37
	3	2	7
	4	1	11
	5	3	50
HORAS PICO TARDE	1	1	4
	2	1	54
	3	0	59
	4	1	24
	5	1	53
FLUJO LIBRE	1	0	28
	2	0	28

**TRAMO 3-1:**
**AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA 12 DE OCTU**

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	1
	2	0	44
	3	0	59
	4	1	0
	5	0	55
HORAS PICO TARDE	1	2	33
	2	3	33
	3	2	27
	4	1	58
	5	1	56
FLUJO LIBRE	1	0	32
	2	0	31

**TRAMO 1-2:**

AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w - AVENIDA LA CORUÑA s/n

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	49
	2	2	41
	3	1	57
	4	1	19
	5	1	40
HORAS PICO TARDE	1	1	5
	2	1	46
	3	3	8
	4	3	55
	5	1	35
FLUJO LIBRE	1	0	30
	2	0	28

**TRAMO 2-1:**

AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE e/w

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	16
	2	1	33
	3	1	31
	4	1	6
	5	0	58
HORAS PICO TARDE	1	1	42
	2	1	13
	3	0	52
	4	1	31
	5	0	55
FLUJO LIBRE	1	0	24
	2	0	22

**TRAMO 2-5:**

AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA LA CORUÑA n/s

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	44
	2	1	13
	3	2	28
	4	2	15
	5	1	34
HORAS PICO TARDE	1	0	48
	2	1	46
	3	0	56
	4	0	58
	5	1	29
FLUJO LIBRE	1	0	31
	2	0	31

**TRAMO 5-2:**

AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA LA CORUÑA s/n

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	0	59
	2	0	48
	3	0	44
	4	1	22
	5	1	0
HORAS PICO TARDE	1	0	50
	2	0	56
	3	1	5
	4	1	16
	5	1	31
FLUJO LIBRE	1	0	33
	2	0	33

**TRAMO 2-4:**

AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	2	13
	2	1	17
	3	3	3
	4	1	51
	5	2	23
HORAS PICO TARDE	1	0	47
	2	1	46
	3	1	39
	4	0	59
	5	2	26
FLUJO LIBRE	1	0	27
	2	0	27

**TRAMO 4-2:**

AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	2	9
	2	1	47
	3	1	6
	4	2	38
	5	0	38
HORAS PICO TARDE	1	1	1
	2	0	51
	3	0	52
	4	1	2
	5	1	40
FLUJO LIBRE	1	0	23
	2	0	24

**TRAMO 2-3:**

AVENIDA LA CORUÑA s/n - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	13
	2	1	20
	3	1	38
	4	1	36
	5	1	29
HORAS PICO TARDE	1	1	14
	2	0	52
	3	1	2
	4	1	43
	5	1	52
FLUJO LIBRE	1	0	34
	2	0	33

**TRAMO 3-2:**

AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA s/n

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	2	56
	2	1	52
	3	2	37
	4	0	55
	5	0	48
HORAS PICO TARDE	1	1	14
	2	1	37
	3	0	53
	4	1	24
	5	0	49
FLUJO LIBRE	1	0	27
	2	0	27

**TRAMO 3-5:**

AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	7	33
	2	4	35
	3	6	19
	4	3	33
	5	3	23
HORAS PICO TARDE	1	3	18
	2	4	21
	3	3	31
	4	3	15
	5	4	36
FLUJO LIBRE	1	0	40
	2	0	40

**TRAMO 5-3:**

AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	3	38
	2	2	17
	3	1	9
	4	1	1
	5	1	2
HORAS PICO TARDE	1	1	1
	2	1	31
	3	2	17
	4	1	44
	5	1	15
FLUJO LIBRE	1	0	32
	2	0	33

**TRAMO 3-4:**

AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	2	58
	2	1	49
	3	2	42
	4	2	5
	5	1	47
HORAS PICO TARDE	1	3	15
	2	3	17
	3	4	24
	4	3	58
	5	4	10
FLUJO LIBRE	1	0	36
	2	0	36

**TRAMO 4-3:**

AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA 12 DE OCTUBRE w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	27
	2	2	18
	3	1	23
	4	1	7
	5	1	37
HORAS PICO TARDE	1	3	43
	2	1	23
	3	1	8
	4	1	53
	5	1	40
FLUJO LIBRE	1	0	27
	2	0	26

**TRAMO 4-5:**

AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e - AVENIDA LA CORUÑA n/s

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	12
	2	1	4
	3	0	59
	4	1	16
	5	1	32
HORAS PICO TARDE	1	1	43
	2	2	2
	3	2	51
	4	1	39
	5	2	13
FLUJO LIBRE	1	0	40
	2	0	40

**TRAMO 5-4:**

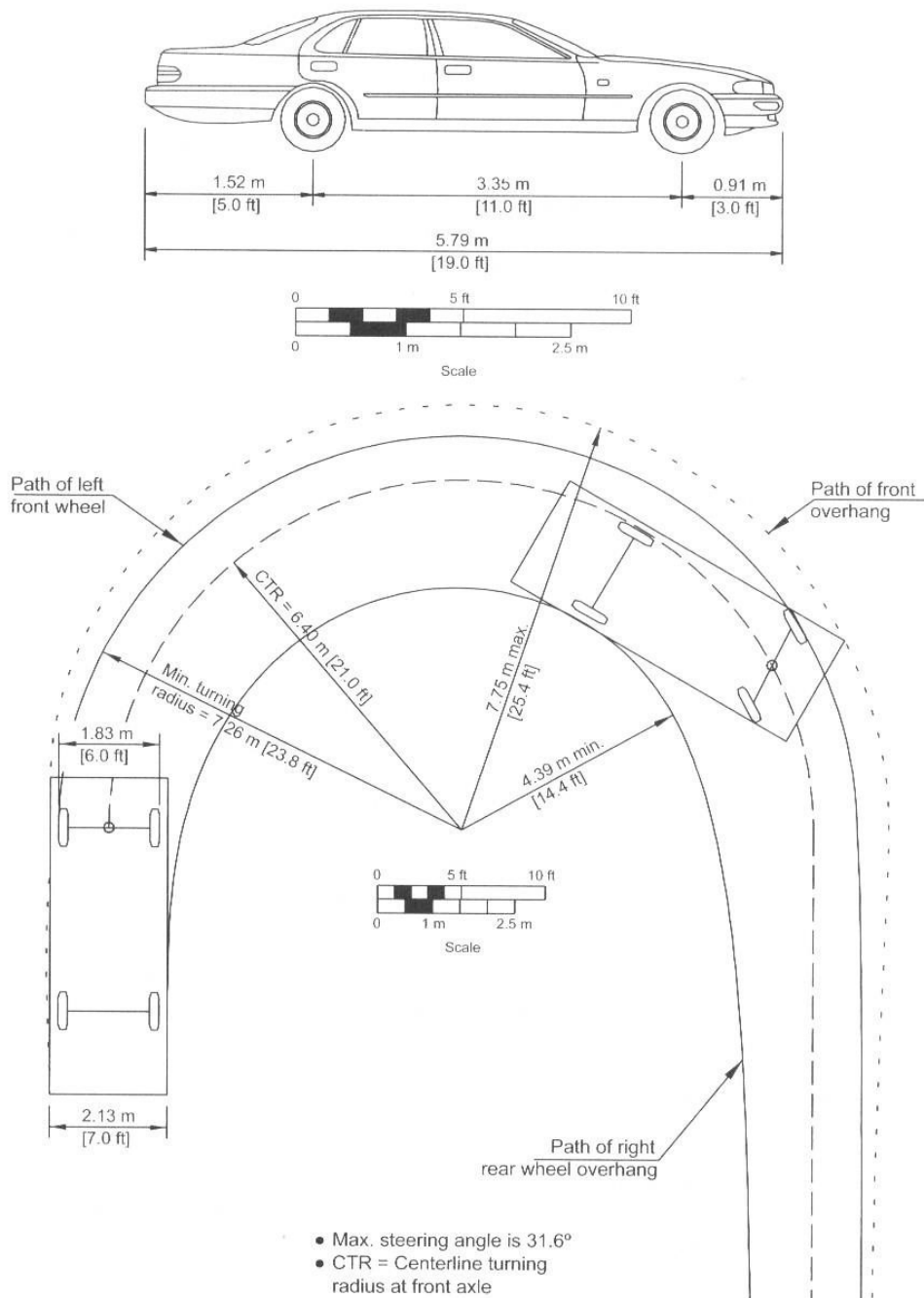
AVENIDA LA CORUÑA n/s - AVENIDA CRISTOBAL COLÓN w/e

		MIN	SEG
HORAS PICO MAÑANA	1	1	20
	2	1	13
	3	0	55
	4	1	36
	5	1	45
HORAS PICO TARDE	1	1	1
	2	0	51
	3	1	3
	4	0	54
	5	1	15
FLUJO LIBRE	1	0	29
	2	0	29

## ANEXO I. TABLA COMPARATIVA DE RESULTADOS GLOBALES DE LA SIMULACIÓN PARA LAS TRES OPCIONES.

RESULTADOS GLOBALES DEL SISTEMA - MEDIAS ESTADÍSTICAS DE LA SIMULACIÓN							
Serie Temporal	OPCIÓN 0 (SITUACIÓN ACTUAL)		OPCIÓN 1 (PASO DEPRIMIDO)		OPCIÓN 2 (REDISEÑO GEOMÉTRICO)		Unidades
	Valor	Desviación Estándar	Valor	Desviación Estándar	Valor	Desviación Estándar	
Cola Media - Todos	136.34	5.55	9.49	0.42	24.57	2.09	veh
Cola Media - Truck	2.82	0.55	0.15	0.02	0.38	0.07	veh
Cola Media - Car	119.97	5.66	8.81	0.41	22.97	1.91	veh
Cola Media - Bus	13.56	0.57	0.54	0.06	1.22	0.15	veh
Cola Virtual Máxima - Bus	152.4	21.55	2.4	0.55	1.2	0.45	veh
Cola Virtual Máxima - Car	1891.8	211.38	7.6	2.19	3.2	0.45	veh
Cola Virtual Máxima - Todos	2069.8	230.52	8.4	2.61	3.2	0.45	veh
Cola Virtual Máxima - Truck	30.2	3.7	1	0	0.8	0.45	veh
Cola Virtual Media - Bus	73.46	9.59	0.04	0.01	0.01	0	veh
Cola Virtual Media - Truck	15.41	2.3	0	0	0	0	veh
Cola Virtual Media - Car	911.81	116.88	0.29	0.03	0.03	0	veh
Cola Virtual Media - Todos	1000.68	127.3	0.33	0.03	0.03	0	veh
Contaje de Entrada - Truck	93.6	ND	118.8	ND	127.4	ND	veh
Contaje de Entrada - Todos	10281.6	ND	12213.2	ND	12263.4	ND	veh
Contaje de Entrada - Car	9716.6	ND	11484.2	ND	11499.6	ND	veh
Contaje de Entrada - Bus	471.4	ND	610.2	ND	636.4	ND	veh
Densidad - Truck	0.63	0.09	0.1	0.01	0.14	0.01	veh/km
Densidad - Todos	29.77	0.93	7.85	0.15	10.6	0.35	veh/km
Densidad - Bus	3.11	0.13	0.46	0.02	0.62	0.04	veh/km
Densidad - Car	26.03	0.9	7.29	0.15	9.83	0.31	veh/km
Distancia Total de Viaje - Truck	36.21	2.59	47.4	4.84	50.61	3.2	km
Distancia Total de Viaje - Todos	4030.93	68.86	4691.14	51.76	4804.96	5.48	km
Distancia Total de Viaje - Bus	198	11.5	243.54	7.49	262.27	10.66	km
Distancia Total de Viaje - Car	3796.72	61.62	4400.2	53.8	4492.08	13.57	km
Flujo - Truck	36.4	2.56	47.44	4.74	51.04	3.03	veh/h
Flujo - Todos	4099.68	72.11	4884.48	57.19	4906.96	5.59	veh/h
Flujo - Car	3876.72	64.21	4592.8	59.22	4601.44	15.31	veh/h
Flujo - Bus	186.56	10.93	244.24	6.85	254.48	11.47	veh/h
Flujo de Entrada - Truck	37.44	2.62	47.52	4.66	50.96	2.75	veh/h
Flujo de Entrada - Todos	4112.64	71.93	4885.28	59.09	4905.36	10.86	veh/h
Flujo de Entrada - Bus	188.56	11.8	244.08	7.05	254.56	11.22	veh/h
Flujo de Entrada - Car	3886.64	61.02	4593.68	60.92	4599.84	14.65	veh/h
Giros Perdidos - Truck	0	0	0	0	0	0	
Giros Perdidos - Todos	0	0	1.6	1.52	1.4	0.89	
Giros Perdidos - Bus	0	0	0	0	0.8	0.84	
Giros Perdidos - Car	0	0	1.6	1.52	0.6	0.55	
Número de Paradas - Truck	6.54	0.34	1.84	0.16	3.02	0.28	#/veh/km
Número de Paradas - Todos	5.98	0.21	1.86	0.04	3.2	0.11	#/veh/km
Número de Paradas - Car	6.03	0.21	1.87	0.04	3.24	0.11	#/veh/km
Número de Paradas - Bus	4.98	0.36	1.73	0.1	2.56	0.14	#/veh/km
Tiempo de Demora - Bus	1987.27	165.83	31.85	2.55	68.25	4.64	seg/km
Tiempo de Demora - Car	1236.98	112.71	26.93	0.81	63.03	3.71	seg/km
Tiempo de Demora - Todos	1282.42	114.5	27.38	0.76	63.66	3.8	seg/km
Tiempo de Demora - Truck	2509.4	336.78	47.69	2.48	97.26	9.25	seg/km
Tiempo de Parada - Truck	2489.98	336.76	33.94	1.8	77.33	9.35	seg/km
Tiempo de Parada - Todos	1262.94	115.07	19.15	0.65	48.2	3.56	seg/km
Tiempo de Parada - Car	1217.44	113.29	18.79	0.67	47.94	3.47	seg/km
Tiempo de Parada - Bus	1968.99	165.81	23.12	2.33	47.2	4.31	seg/km
Tiempo de Viaje - Todos	1353.61	114.47	95.95	0.8	132.27	3.82	seg/km
Tiempo de Viaje - Truck	2584.07	337.02	120.46	2.58	168.48	9.43	seg/km
Tiempo de Viaje - Car	1307.81	112.68	95.13	0.86	131.28	3.73	seg/km
Tiempo de Viaje - Bus	2065.26	165.8	106.42	2.7	142.97	4.56	seg/km
Tiempo Total de Viaje - Truck	26.72	4.85	1.6	0.19	2.32	0.24	h
Tiempo Total de Viaje - Todos	1487.16	118.05	126.65	2.44	176.29	5.48	h
Tiempo Total de Viaje - Car	1356.41	112.24	117.64	2.43	163.59	4.97	h
Tiempo Total de Viaje - Bus	104.03	5.5	7.41	0.33	10.37	0.58	h
Vehículos Dentro - Truck	4.4	1.67	0.8	0.84	1	1.41	veh
Vehículos Dentro - Todos	184	14.93	49.2	5.89	72	6.78	veh
Vehículos Dentro - Bus	18.8	5.22	2.6	1.52	4.2	2.17	veh
Vehículos Dentro - Car	160.8	14.1	45.8	6.06	66.8	5.81	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Todos	2067.8	229.8	0.4	0.55	0	0	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Truck	27	4.69	0	0	0	0	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Car	1890.6	211.3	0.4	0.55	0	0	veh
Vehículos Esperando para Entrar - Bus	150.2	20.46	0	0	0	0	veh
Vehículos Fuera - Truck	91	6.4	118.6	11.84	127.6	7.57	veh
Vehículos Fuera - Todos	10249.2	180.27	12211.2	142.97	12267.4	13.97	veh
Vehículos Fuera - Car	9691.8	160.53	11482	148.06	11503.6	38.28	veh
Vehículos Fuera - Bus	466.4	27.33	610.6	17.13	636.2	28.68	veh
Vehículos Perdidos Dentro - Truck	0	0	0	0	0	0	veh
Vehículos Perdidos Dentro - Todos	0	0	0	0	0	0	veh
Vehículos Perdidos Dentro - Bus	0	0	0	0	0	0	veh
Vehículos Perdidos Dentro - Car	0	0	0	0	0	0	veh
Vehículos Perdidos Fuera - Truck	0	0	0	0	0	0	veh
Vehículos Perdidos Fuera - Todos	0	0	1.4	1.14	0	0	veh
Vehículos Perdidos Fuera - Car	0	0	1.4	1.14	0	0	veh
Vehículos Perdidos Fuera - Bus	0	0	0	0	0	0	veh
Velocidad - Todos	22.05	0.75	41.68	0.24	31.38	0.51	km/h
Velocidad - Truck	12.06	1.05	34.29	0.71	25.89	1.05	km/h
Velocidad - Car	22.35	0.78	41.86	0.27	31.58	0.5	km/h
Velocidad - Bus	17.86	0.68	39.67	0.68	28.69	0.58	km/h
Velocidad Armónica - Todos	8.94	0.27	37.79	0.31	27.26	0.78	km/h
Velocidad Armónica - Car	9.45	0.28	38.1	0.34	27.47	0.78	km/h
Velocidad Armónica - Bus	4.73	0.35	34.35	0.85	25.25	0.81	km/h
Velocidad Armónica - Truck	4.33	0.51	29.97	0.65	21.44	1.17	km/h

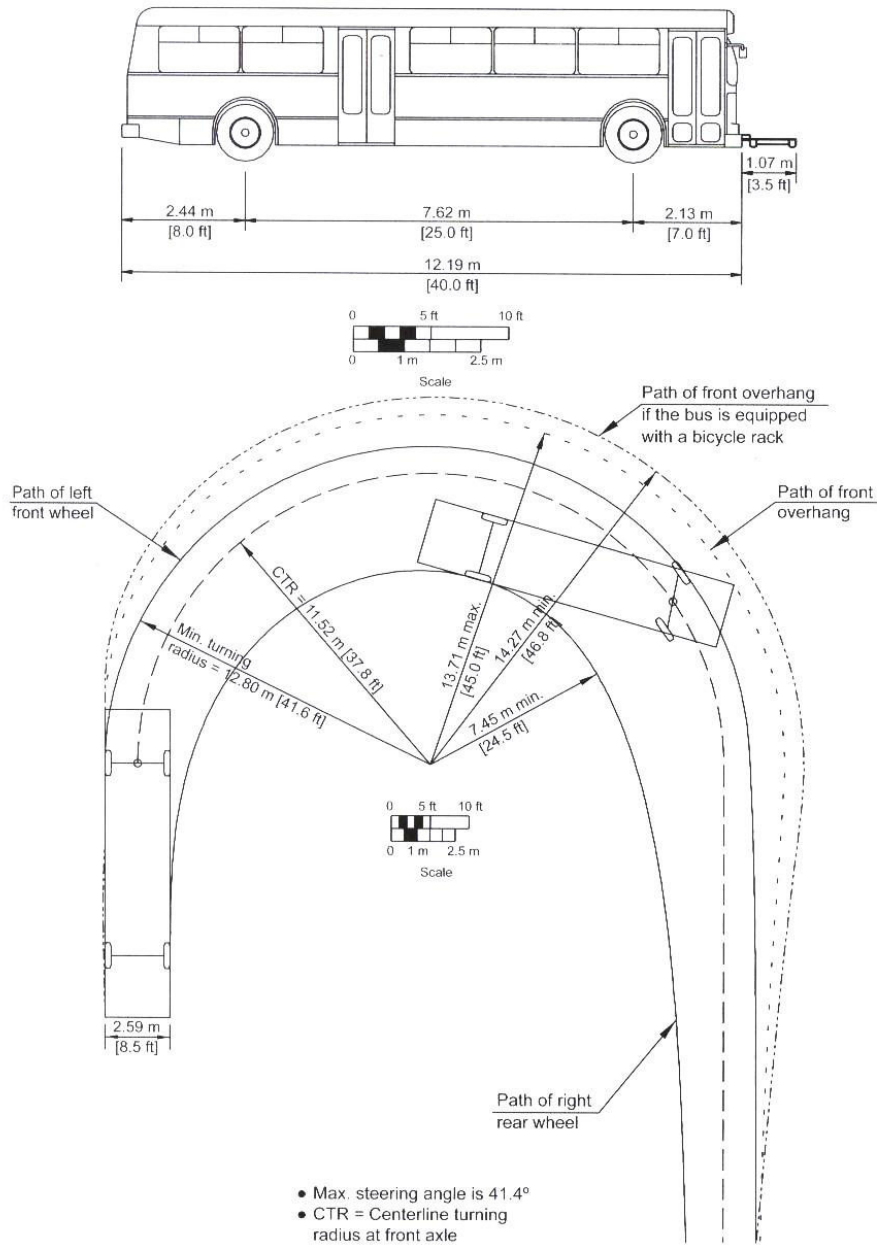
**ANEXO J. CARACTERÍSTICAS VEHÍCULO DE DISEÑO – AUTOMÓVIL**



(AASHTO, 2011)

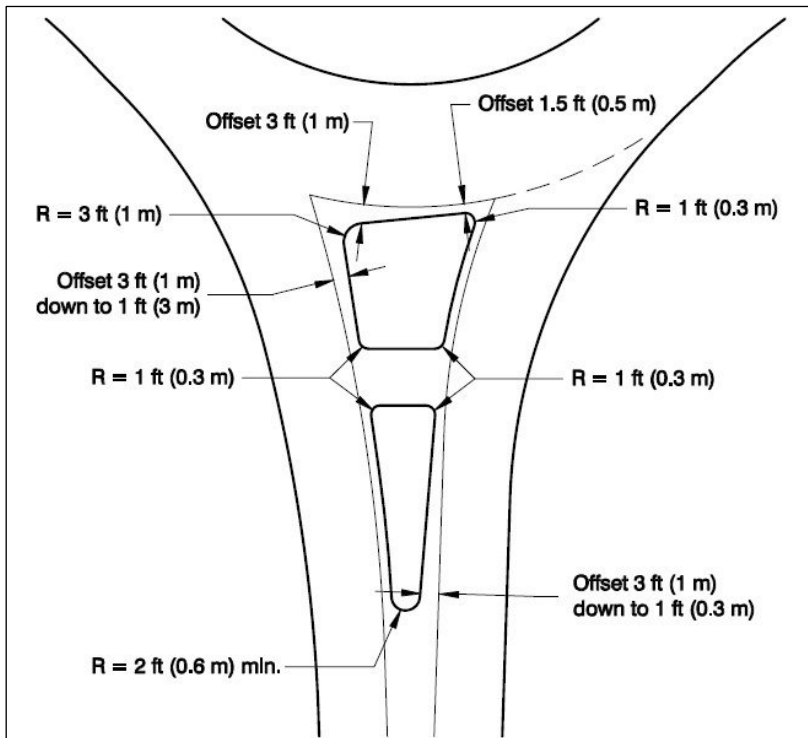


**ANEXO K. CARACTERÍSTICAS VEHÍCULO DE DISEÑO – AUTOBUS**

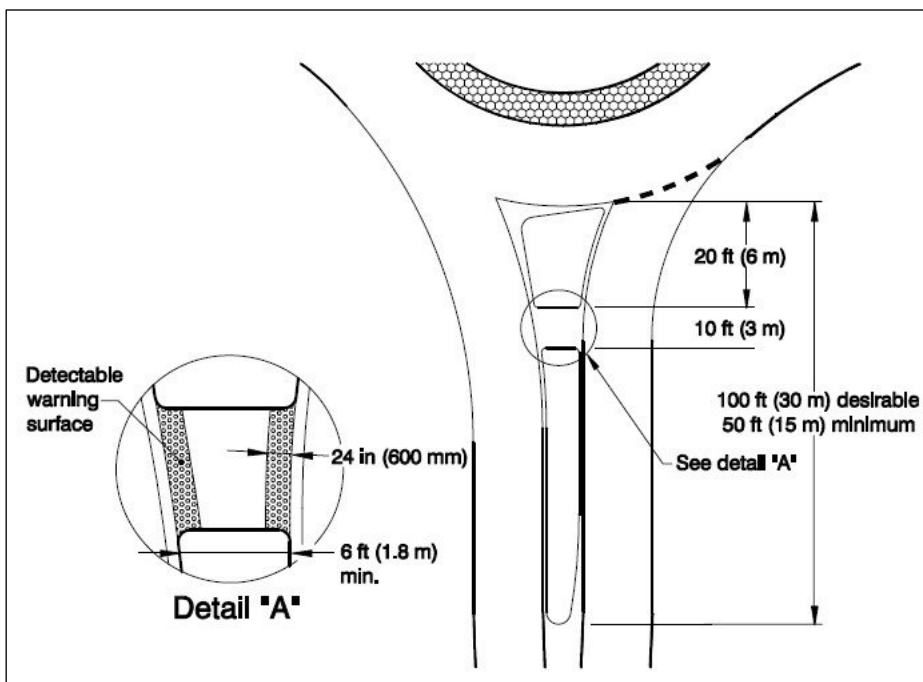


(AASHTO, 2011)

**ANEXO L. GEOMETRÍA TÍPICA DE ISLETAS DIVISORIAS O PARTERRES**

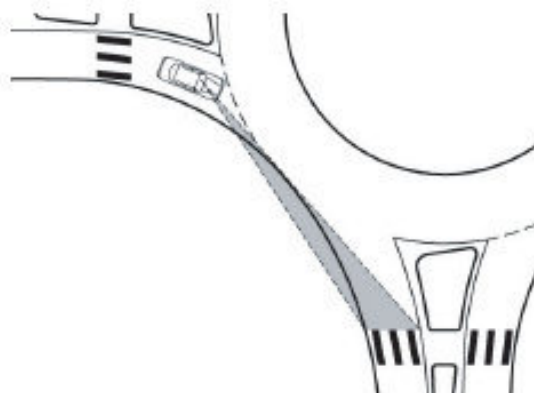
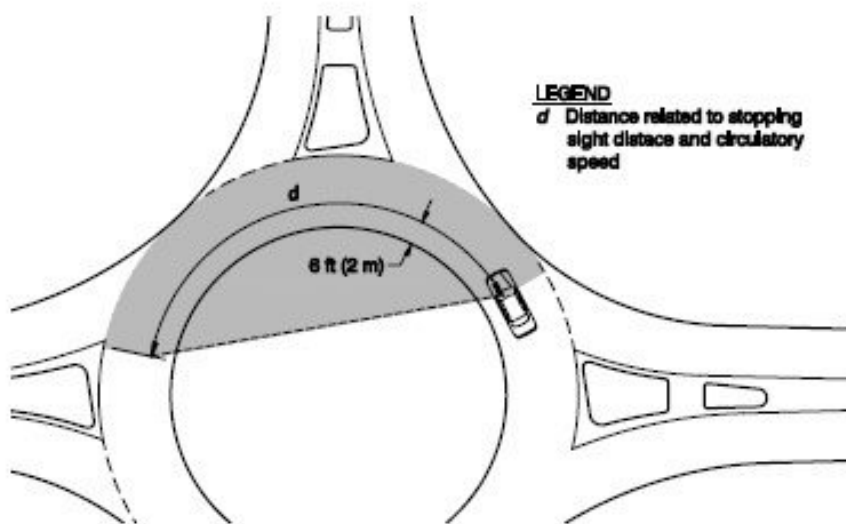
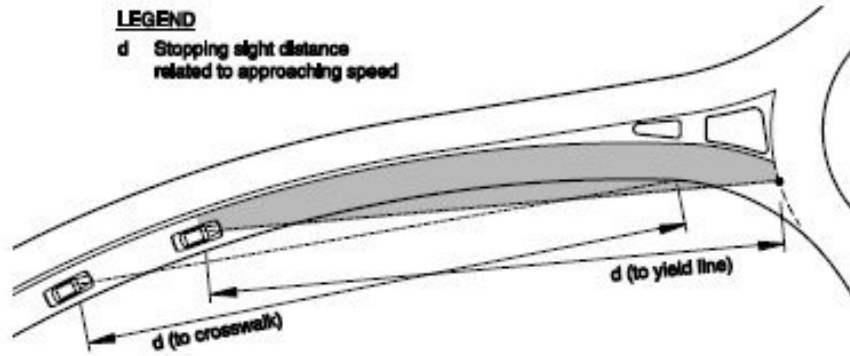


Radios de esquinas de parterres y separaciones mínimas (NCHRP, 2010)



Dimensiones mínimas de parterres (NCHRP, 2010)

ANEXO M. DISTANCIAS CRÍTICAS DE VISIBILIDAD DE PARADA



2010)

(NCHRP,

## ANEXO N. CÁLCULO ESTADÍSTICO DEL TIEMPO DE CRUCE PEATONAL

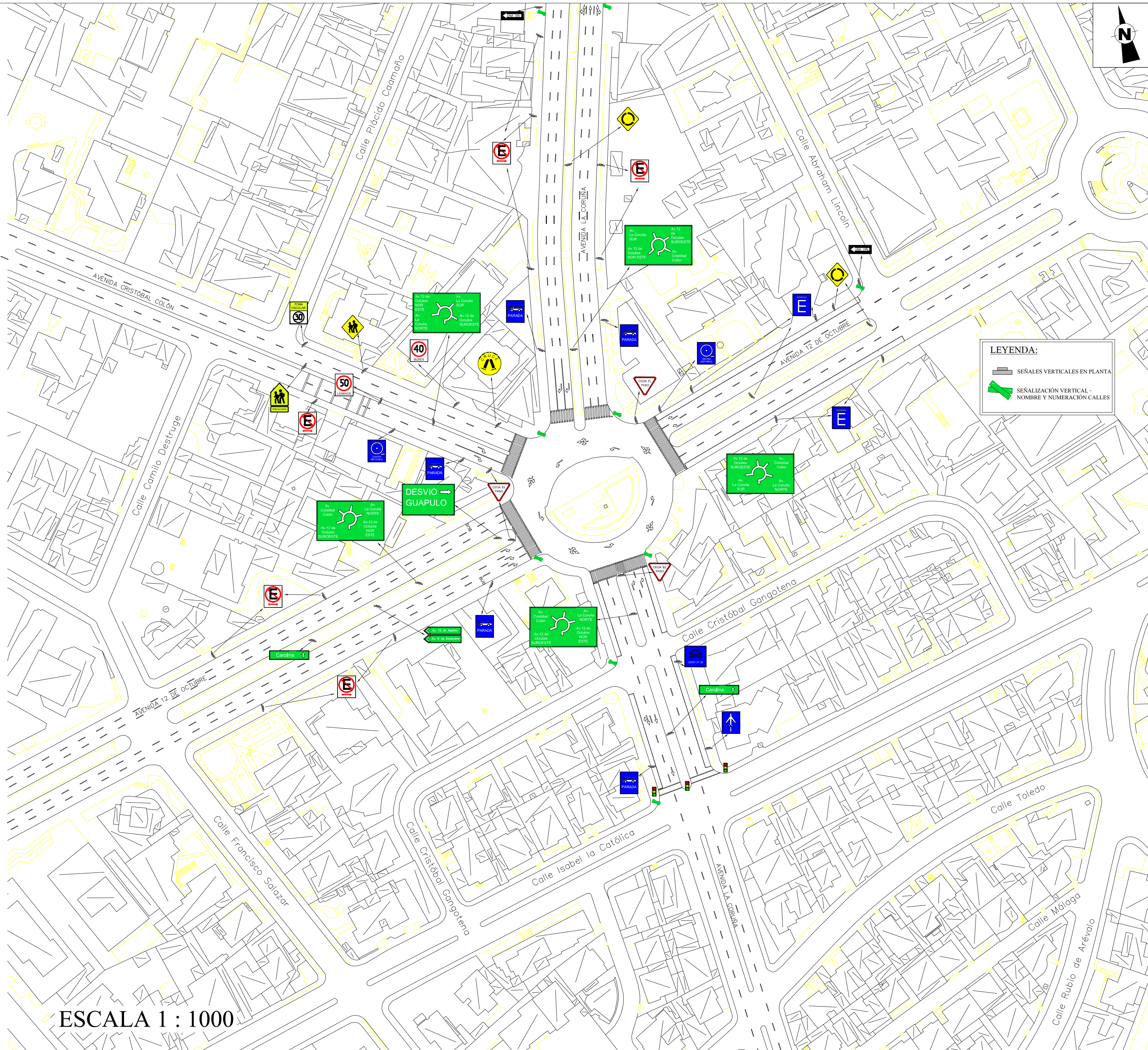
TIEMPO DE CRUCE PARA LA MUESTRA DE PEATONES		
Peatón	Tiempo de cruce (seg.)	$\sigma =  x-x_m ^2$
1	18.90	8.44
2	20.54	20.67
3	21.34	28.58
4	14.80	1.43
5	14.46	2.35
6	16.96	0.93
7	13.98	4.06
8	19.95	15.65
9	14.75	1.55
10	12.10	15.16
11	13.45	6.47
12	15.76	0.05
13	16.80	0.65
14	12.22	14.24
15	11.50	20.20
16	13.25	7.53
17	14.50	2.23
18	18.30	5.32
19	15.63	0.13
20	14.56	2.06
21	12.40	12.92
22	17.50	2.27
23	16.32	0.11
24	19.45	11.94
25	14.89	1.22
26	13.80	4.81
27	15.60	0.16
28	16.45	0.21
29	13.80	4.81
30	13.56	5.92
31	12.16	14.70
32	18.91	8.50
33	15.01	0.97
34	19.87	15.02
35	20.30	18.54
36	17.61	2.61
37	15.67	0.10
38	12.30	13.65
39	21.40	29.22
40	18.10	4.44
41	11.50	20.20
42	16.73	0.54
43	14.56	2.06
44	18.55	6.53
45	19.54	12.57
<b>MEDIA =</b>	<b>15.99</b>	<b>7.82</b>

$$x_m = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = 15.99 \text{ seg.}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_m)^2}{n}} = \sqrt{7.82} = 2.80 \text{ seg.}$$

## **ANEXO O. SEÑALIZACIÓN ACTUAL**





SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y SEMAFORIZACIÓN:

**LEYENDA:**  
 SEÑALES VERTICALES EN PLANTA  
 SEÑALIZACIÓN VERTICAL - NOMBRE Y NUMERACIÓN CALLES

SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL:

SIN ESCALA

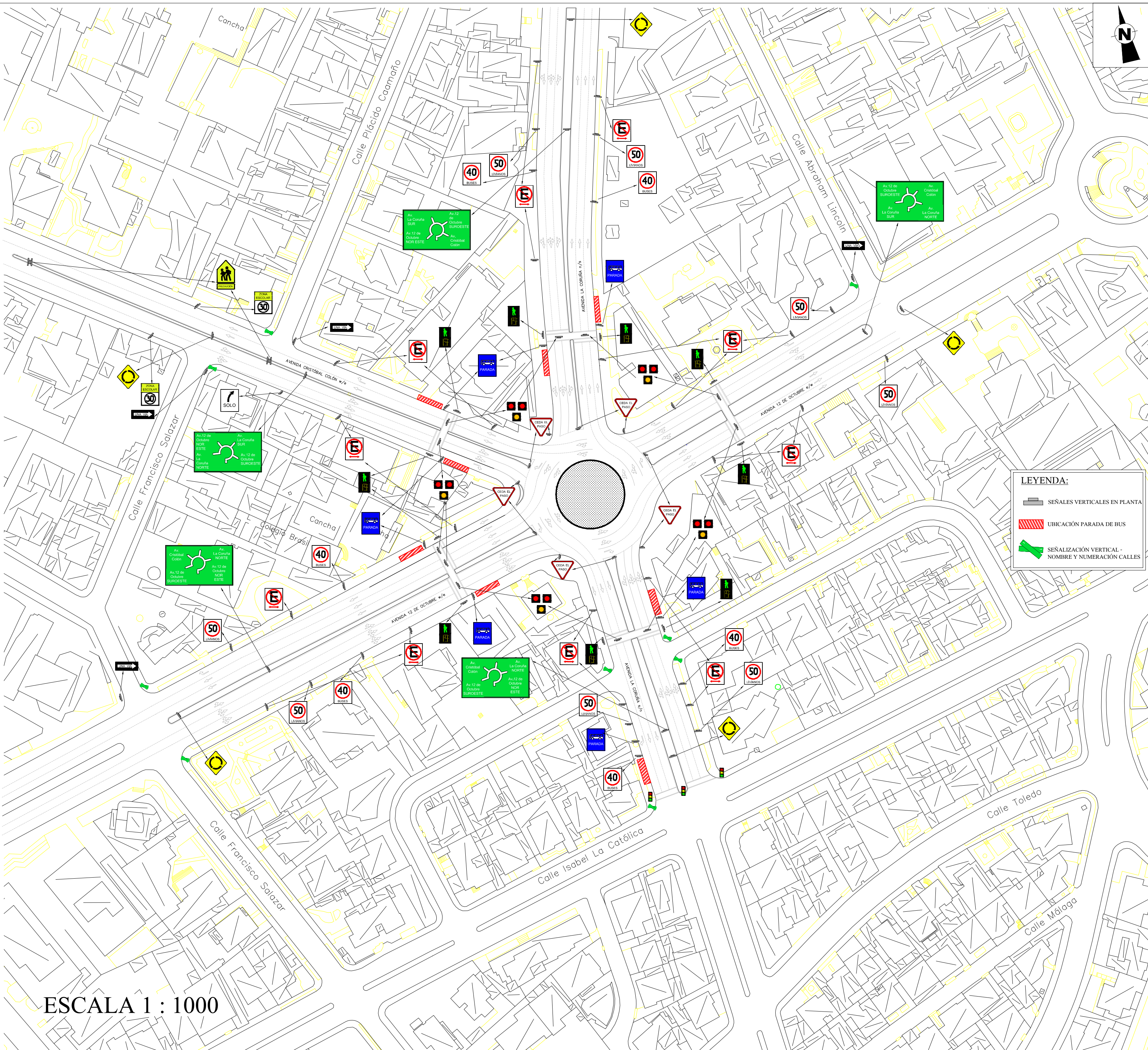
ESCALA 1 : 1000

	UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO
TESIS DE GRADO PROFESIONAL - INGENIERIA CIVIL	
AUTOR <b>PEDRO JOSE ZEVALLOS TURRIAGA</b>	
TEMA ESTUDIO DE TRAFICO - MODELACION - REDISEÑO TRAZADO VIAL REDONDEL DE LA PLAZA GRAL. JOSE ARTIGAS	
CONTIENE SEÑALIZACION ACTUAL	
UBICACION INTERSECCION AV. CORUÑA - AVENIDA COLÓN - AV. 12 DE OCTUBRE DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - ECUADOR	
FECHA MAYO 2014	ESCALAS INDICADAS
<b>1/4</b>	



## **ANEXO P. SEÑALIZACIÓN PROPUESTA**





SEÑALIZACIÓN VERTICAL Y SEMAFORIZACIÓN:

SEÑALES VERTICALES EN PLANTA:

LEYENDA:

- SEÑALES VERTICALES EN PLANTA
- UBICACIÓN PARADA DE BUS
- SEÑALIZACIÓN VERTICAL - NOMBRE Y NUMERACIÓN CALLES

SEÑALIZACIÓN HORIZONTAL:

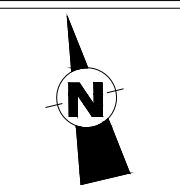
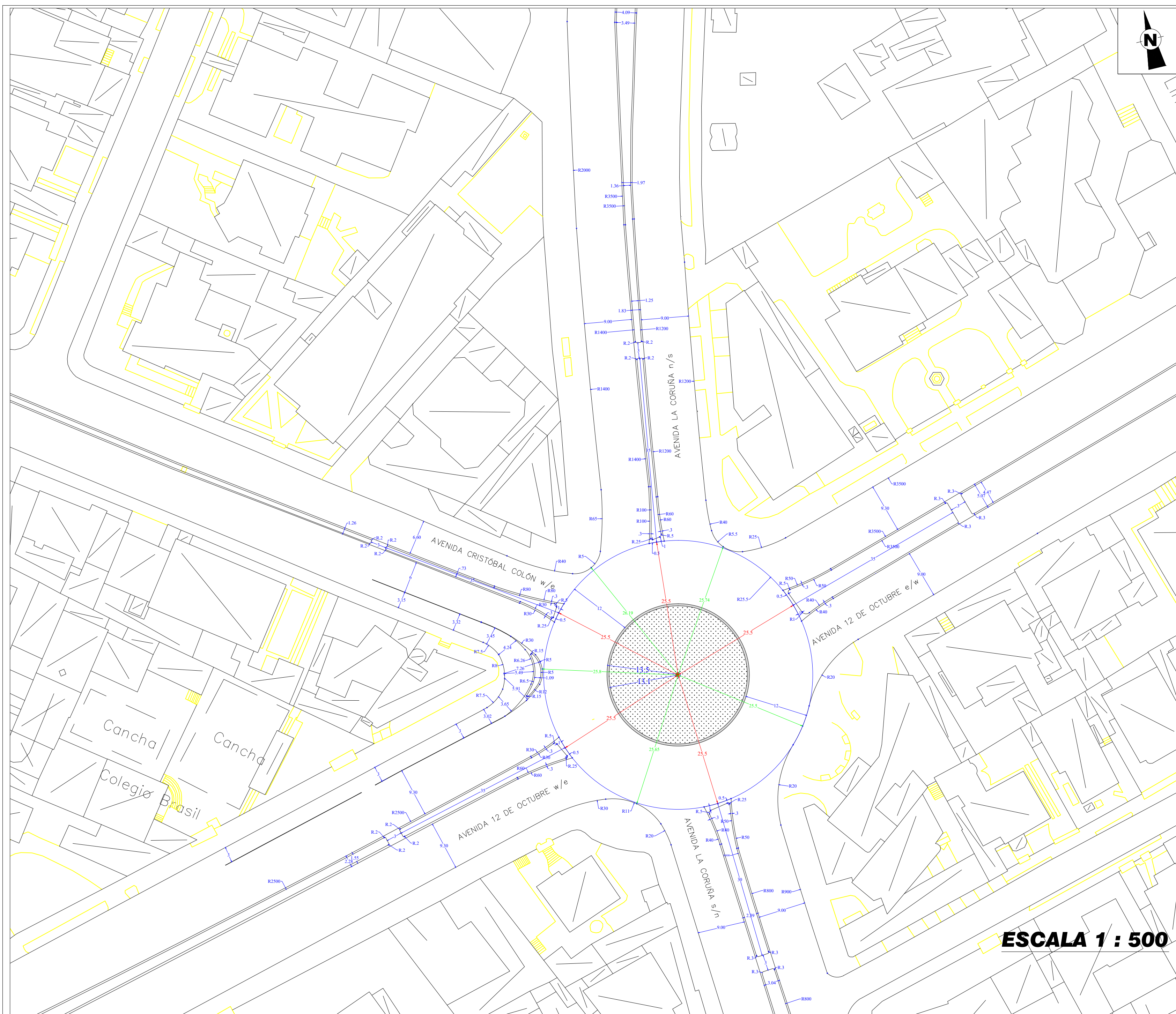
SIN ESCALA

ESCALA 1 : 1000

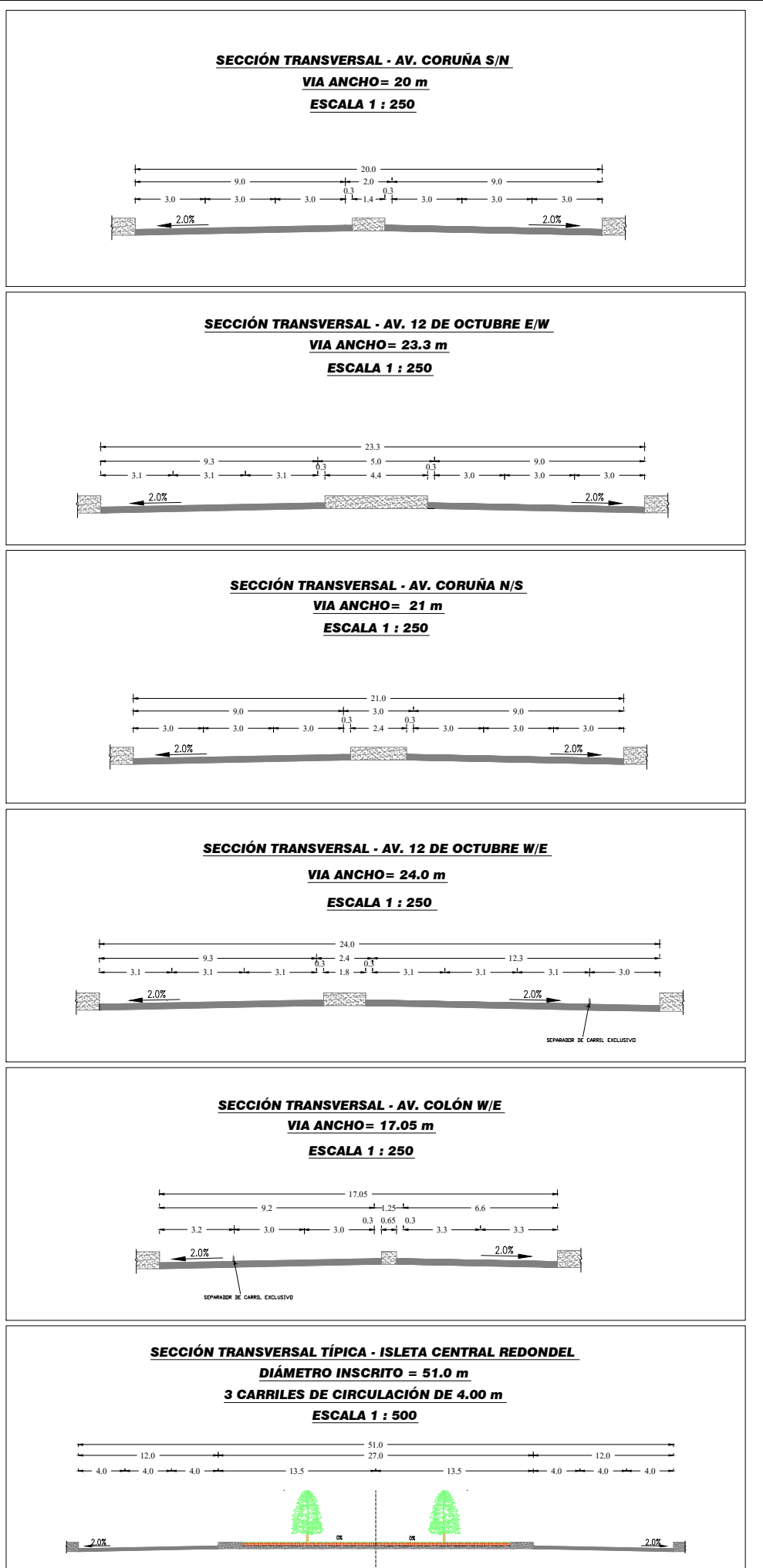
UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO	
TESIS DE GRADO PROFESIONAL - INGENIERIA CIVIL	
AUTOR <b>PEDRO JOSE ZEVALLOS TURRIAGA</b>	
TEMA ESTUDIO DE TRAFICO - MODELACION - REDISEÑO TRAZADO VIAL REDONDEL DE LA PLAZA GRAL. JOSE ARTIGAS	
CONTIENE SEÑALIZACION PROPUESTA	
UBICACION INTERSECCION AV. CORUÑA - AVENIDA COLON - AV. 12 DE OCTUBRE DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - ECUADOR	
FECHA MAYO 2014	ESCALAS INDICADAS
2/4	




## **ANEXO Q. CARACTERÍSTICAS GEOMÉTRICAS DE LA PROPUESTA**



**ESCALA 1 : 500**



 <b>UNIVERSIDAD SAN FRANCISCO DE QUITO</b> <small>Universidad San Francisco de Quito</small>	
TESIS DE GRADO PROFESIONAL - INGENIERIA CIVIL AUTOR <b>PEDRO JOSE ZEVALLOS TURRIAGA</b>	
TEMA <b>ESTUDIO DE TRAFICO - MODELACION - REDISEÑO          TRAZADO VIAL          REDONDEL DE LA PLAZA GRAL. JOSE ARTIGAS</b>	
CONTIENE <b>CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL DISEÑO          Y CORTES TRANSVERSALES TÍPICOS - RAMALES</b>	
UBICACION INTERSECCION AV. CORUÑA-AV. COLON-AV. 12 DE OCTUBRE DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO - ECUADOR	
FECHA <b>MAYO 2014</b>	ESCALAS <b>INDICADAS</b>



