

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ
FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



PONTIFICIA
UNIVERSIDAD
CATÓLICA
DEL PERÚ

Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas

Tesis para optar el Título de Ingeniero civil, que presenta el bachiller:

Witman Esquivel Fernández

ASESOR: Ing. MSc. Juan Carlos Dextre Quijandría.

Lima, Junio del 2011

Resumen

La presente investigación sobre “Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas” se desarrolló con el objetivo de proponer una metodología de diseño y planeamiento intersecciones urbanas las cuales reflejen diseños más justos, seguros y humanos para los habitantes del área de Lima Metropolitana. Para ello se analizarán los puntos de vista del transporte y la movilidad, en forma independiente, para luego analizar la combinación de ambos. Finalmente, se propone una metodología de diseño y planeamiento intersecciones urbanas desde el punto de vista del transporte y la movilidad.

Esta tesis está conformada por los cuatro capítulos siguientes: El capítulo 1, plantea el problema y los aspectos metodológicos de la investigación. Además de desarrollar el problema y su justificación, se detallan los objetivos generales, específicos, hipótesis y aspectos metodológicos de la tesis. El capítulo 2, muestra los aspectos a considerar en el diseño de intersecciones urbanas. Es así que se plantea el tema del tamaño la intersección, las intersecciones no controladas por semáforos y controladas por semáforos ambos desde los puntos de vista del transporte y la movilidad. También, se desarrolló la correlación entre cruces peatonales y la geometría de una intersección en la cual se hace énfasis en los tipos de semáforos peatonales. Finalmente, se toca el tema de elementos de canalización para vehículos que se aproximan a una intersección. El capítulo 3 es acerca de las condiciones especiales en las intersecciones urbanas, para lo cual, toca los tipo de intersecciones angulares, en “T”, desplazadas, tipo rotonda y mini-rotonda. El capítulo 4, se toca un tema muy importante como es la seguridad vial en las intersecciones y se hace énfasis en los métodos de solución de “*inicio y final de tubería*”, auditorías e inspecciones de seguridad vial, análisis de “*puntos negros*”, “*listas de chequeo*”, la correlación de la simulación computarizada y la seguridad vial. Finalmente, se muestran las conclusiones y recomendaciones de la tesis y al final se cita la bibliografía empleada.

TEMA DE TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

Título : "Elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas".
Área : Transporte -Investigación-
Asesor : Ing. Juan Carlos Dextre Quijandría
Alumno : WITMAN ESQUIVEL FERNÁNDEZ
Código : 2003.4032.7.412
Tema N° : 29
Fecha : Lima, 13 de abril de 2011



ANTECEDENTES

Las personas siempre han tenido la necesidad de realizar sus actividades en distintos puntos de la ciudad, es por esta razón que necesitan desplazarse dentro de la ciudad de forma cómoda, segura y rápida. Sin embargo, las características del transporte urbano, el enfoque de la infraestructura y especialmente el uso intensivo del automóvil han creado situaciones de congestión vehicular dentro las ciudades.

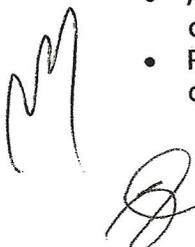
Por lo tanto, cuando las políticas de transporte son enfocadas a dar mayor y exclusiva prioridad al automóvil (dentro del contexto de las vías urbanas) las intersecciones se convierten en los puntos más caóticos, en los cuales se presentan situaciones de inseguridad para los peatones y conductores. Todo esto se traduce en accidentes de tránsito, pérdidas de muchas vidas, grandes inversiones en infraestructura urbana, impacto ambiental y la degradación de la calidad de vida de los ciudadanos. En conclusión, el buen planeamiento y diseño de intersecciones urbanas es muy importante para desarrollar la correcta convivencia entre los agentes que hacen uso de una intersección.

OBJETIVOS

Objetivos generales:

Proponer una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas las cuales reflejen diseños más inclusivos y seguros para los habitantes de la ciudad.

Objetivos específicos:

- Analizar el diseño y planeamiento de intersecciones desde el punto de vista del transporte
 - Analizar el diseño y planeamiento de intersecciones desde el punto de vista de la movilidad
 - Analizar y evaluar la efectividad del diseño y planeamiento de intersecciones desde los puntos de vista combinados entre la movilidad y el transporte
 - Proponer una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas desde los puntos de vista del transporte y la movilidad.
- 



PLAN DE TRABAJO

Primera revisión

- Planteamiento problema y aspectos metodológicos de la investigación.
 - Objetivos e hipótesis.
 - Aspectos metodológicos.

Segunda revisión

- Consideraciones para el diseño de intersecciones urbanas.
 - Desde el punto de vista del transporte.
 - Desde el punto de vista de la movilidad.

Tercera revisión

- Situaciones especiales en las intersecciones urbanas.
 - Intersecciones en ángulos menores a 60° y mayores a 120° , intersecciones en T, intersecciones desplazadas, rotondas y mini rotondas.
 - Modelación de intersecciones e instalaciones peatonales con el software VISSIM.
- Conclusiones y recomendaciones.

NOTA.
Extensión máxima: 100 páginas.

V°B°

ASB
.....
Ing. Ángel San Bartolomé
Coord. de Investigación

[Handwritten signature]
Juan Carlos...

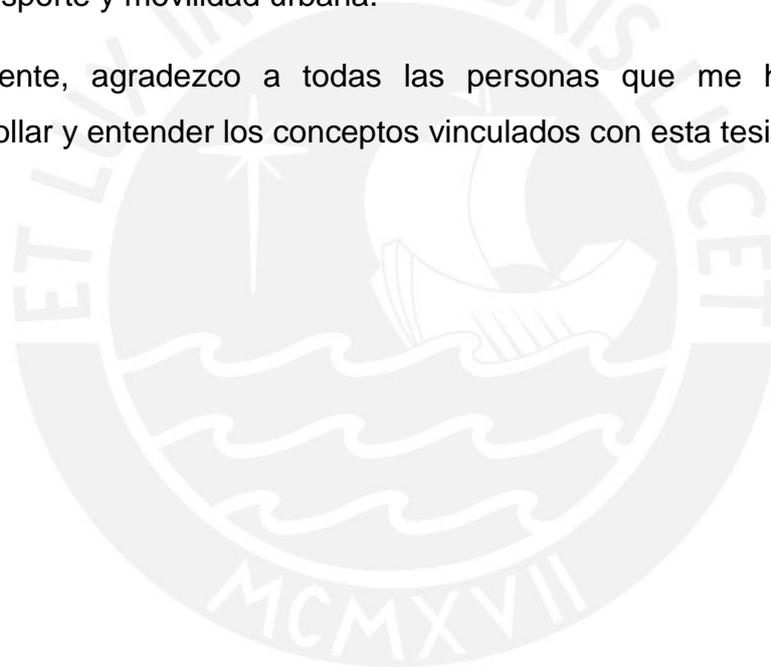
[Handwritten signature]

Agradecimientos

Con profundo agradecimiento a la Pontificia Universidad Católica del Perú por una formación completa en mi vida universitaria y en especial a las facultades de Estudios Generales Ciencias y la de Ciencias e Ingeniería: Sección de Ingeniería Civil.

Así mismo, agradezco a los Ingenieros Juan Carlos Dextre Quijandría y Felix Cabrera por haber inculcado en mi persona un especial interés en los temas de transporte y movilidad urbana.

Finalmente, agradezco a todas las personas que me han ayudado a desarrollar y entender los conceptos vinculados con esta tesis.



Dedico esta tesis a mi padres: Washington Esquivel, Ilse Fernández y a mi hermano Yhosimi Esquivel por todo su apoyo incondicional.



Elementos de Diseño y Planeamiento de Intersecciones Urbanas.

Contenido.

CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	9
1.1. Planteamiento del problema y justificación.....	9
1.2. Objetivos.....	11
1.2.1. Objetivos generales.....	11
1.2.2. Objetivos específicos.....	11
1.3. Formulación de hipótesis.	12
1.4. Aspectos metodológicos.	13
CAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE INTERSECCIONES URBANAS.	13
2.1. Objetivos.....	13
2.1.1. Desde el punto de vista del transporte.....	14
2.1.2. Desde el punto de vista de la movilidad.....	15
2.2. Punto básico de inicio: Tamaño de la intersección.....	18
2.3. Intersecciones no controladas por semáforo.....	18
2.3.1. Desde el punto de vista del transporte.....	18
2.3.1.1. Velocidad de diseño.....	20
2.3.2. Desde el punto de vista de la movilidad.....	21
2.3.2.1. Clasificación y características de los peatones.	21
2.3.2.2. Cruce a desnivel con respecto a la calzada.	26
2.3.2.3. Cruces sobre-elevados con respecto a la calzada.	28
2.4. Intersecciones controladas por semáforo.....	30
2.4.1. Desde el punto de vista del transporte.....	30
2.4.1.1. Geometría de las intersecciones.	30

2.4.1.2.	Fases del semáforo: Breve descripción.....	32
2.4.2.	Desde el punto de vista de la movilidad.....	33
2.4.2.1.	Opciones de sincronización para los cruces peatonales y la configuración geométrica de una intersección.	33
2.4.2.2.	Consideraciones para los semáforos peatonales.	37
2.4.2.3.	Tipos de semáforos peatonales.	37
2.4.3.	Influencia de los sistemas de control urbanos en el diseño geométrico de intersecciones controladas por semáforos.....	39
2.5.	Elementos de canalización para vehículos que se aproximan a una intersección.	40
2.5.1.	Principios generales.	40
2.5.1.1.	Desde el punto de vista del transporte.	40
2.5.1.2.	Desde el punto de vista de la movilidad.	41
2.5.2.	Canalización de los giros a la derecha.	42
CAPÍTULO 3. CONDICIONES ESPECIALES EN LAS INTERSECCIONES URBANAS		43
3.1.	Intersecciones con ángulos menores de 60° y más de 120°.	44
3.2.	Intersecciones en T.....	45
3.3.	Intersecciones desplazadas.	47
3.3.1.	Problemas de las intersecciones desplazadas a la derecha.	47
3.4.	Infraestructura para peatones en las rotondas (óvalos).....	50
3.4.1.	Tipos de rotondas.....	50
3.4.2.	Ubicación de las rotondas.....	54
3.4.3.	Requerimientos específicos para peatones en las rotondas.	54
3.4.4.	Aspectos a considerar en el diseño geométrico de rotondas.	57
3.4.5.	Visibilidad de los cruces peatonales.	57
3.5.	Infraestructura peatonal para mini-rotondas.	58
3.5.1.	Ubicación y uso de las mini rotondas.....	59
3.5.2.	Factibilidad de una mini rotonda.	62

3.5.3.	Consideraciones adicionales para el diseño geométrico de mini rotondas...	64
3.5.3.1.	Diámetro del círculo inscrito.....	65
3.5.3.2.	Visibilidad.....	65
3.5.3.3.	Islas de refugio para peatones.....	68
CAPÍTULO 4.	Seguridad vial en las intersecciones.....	70
4.1.	Método de solución con el análisis de puntos negros.....	71
4.2.	Diferencias entre las Auditorias de Seguridad Vial, las Inspecciones de Seguridad Vial y los “ <i>puntos negros</i> ”.....	72
4.3.	Evaluación del impacto de la seguridad vial.....	74
4.4.	Seguridad activa y pasiva de los vehículos.....	75
4.5.	Las <i>Listas de Chequeo</i>	75
4.5.1.	Parámetros para las <i>Listas de Chequeo</i>	75
4.6.	La simulación computarizada y la seguridad vial orientadas a mejorar las facilidades de los peatones: El software PTV VISSIM.....	77
4.6.1.	VISSIM PTV.....	81
4.6.2.	El Software VISSIM V5.1 y las <i>Listas de Chequeo</i> a favor de la seguridad vial para usuarios no motorizados.....	81
4.7.	Propuesta de proceso de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas..	84
	Conclusiones y recomendaciones.....	86
	Bibliografía.....	88

Índice de figuras.

Figura 1: Diseño de intersecciones desde el punto de vista del transporte.	15
Figura 2: Proceso de diseño geométrico del espacio requerido para los peatones.	17
Figura 3: Espacio para dos adultos - De 0.90m a 1.0m.....	22
Figura 4: Espacio para dos adultos - De 1.20m a 1.35m.....	22
Figura 5: Ancho de acera mínimo para las personas de la tercera edad.....	22
Figura 6: Ancho de acera recomendado para un peatón y una persona discapacitada.....	23
Figura 7: Ancho de vereda recomendado para cuatro peatones.....	23
Figura 8: Persona en silla de ruedas – Vista en planta.	24
Figura 9: Persona en silla de ruedas con acompañante – vista en planta.....	24
Figura 10: Esquema ilustrativo para la colocación de rampas de acceso y pavimento táctil para usuarios discapacitados.	25
Figura 11: Anchos de vereda recomendados para mobiliario urbano: Postes de luz (0.70m.); Paradero de buses (1.50m.); Kiosco (2.50m.).....	25
Figura 12: Crucero peatonal en una intersección no controlada por semáforos.	27
Figura 13: Sección transversal de un paso sobre-elevado.....	29
Figura 14: Crucero sobre-elevado	29
Figura 15: Diagrama de fases para una intersección compuesta de una vía principal (VP) y una vía secundaria (VS).....	32
Figura 16: Ciclo del semáforo para la intersección señalada anteriormente.....	33
Figura 17: Crucero íntegramente peatonal.....	35
Figura 18: Crucero peatonal paralelo.....	35
Figura 19: Crucero peatonal paralelo - Intersección en "T" de un solo sentido.	35
Figura 20: Crucero peatonal escalonado.	35
Figura 21: Crucero peatonal desplazado.	36
Figura 22: Propuesta del RACC, para cruces, en intersecciones controladas por semáforos.....	38
Figura 23: Crucero peatonal en una intersección, la cual considera <i>islas de refugio</i> y rampas de acceso, para personas discapacitadas.....	41
Figura 24: Detalle de la <i>isla de refugio</i> perteneciente a la intersección de la figura anterior.	42
Figura 25: Canalización simple para giros a la derecha.....	43
Figura 26: Canalización de giros a la derecha con carriles de aceleración y desaceleración.	43

Figura 27: Canalización para altos giros a la derecha.....	43
Figura 28: Intersección en ángulo agudo / obtuso.....	44
Figura 29: Soluciones para las intersecciones en ángulos agudos / obtusos.....	45
Figura 30: Ejemplo de intersección en forma "T"	47
Figura 31: Problema de giros a la izquierda en intersecciones desplazadas a la izquierda.....	48
Figura 32: Trayectoria de los peatones al entrar y salir de una intersección desplazada a la izquierda.	49
Figura 33: Conflictos en una intersección desplazada a la derecha.....	49
Figura 34: Rotondas normales.....	51
Figura 35: Mini rotonda.....	52
Figura 36: Fotografía de una mini rotonda.....	52
Figura 37: Rotonda doble.....	53
Figura 38: Marca en el pavimento el cual resalta la línea de parada para vehículos (Diagrama 1023).....	55
Figura 39: Ubicación del cruceo peatonal, tipo cebra, en el contexto de una rotonda.....	56
Figura 40: Visibilidad necesaria para los conductores que ingresan a una rotonda.....	58
Figura 41: Diferencia entre una intersección típica en "T" y una con mini-rotonda.....	61
Figura 42: Ejemplo de mini rotonda doble en una zona residencial a las afueras del centro de Londres, Reino Unido.....	62
Figura 43: Diagrama de flujo para evaluar la factibilidad de una mini rotonda.....	63
Figura 44: Área de rodamiento, la cual mejora el giro y visibilidad de los vehículos al tomar una mini rotonda.....	65
Figura 45: Distancia de visibilidad "D" y señalización para una mini rotonda tipo "T".	66
Figura 46: Requerimiento mínimo, el cual ayuda a señalar y proteger el cruceo peatonal, en las mini rotondas: Diagrama 1004.....	69
Figura 47: Diagrama 1040: Marcas sobre el pavimento para ingresar a una mini-rotonda.....	69
Figura 48: Conflictos en una intersección no controlada por semáforos.....	70
Figura 49: Ubicación de puntos negros en la ciudad de Lima Metropolitana.....	72
Figura 50: Esquema representativo de la micro-simulación computarizada para el ingreso de vehículos a la red vial.....	78
Figura 51: Diagrama de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas.....	85

Índice de tablas.

Tabla 1: Prioridades de las políticas de transporte bajo el punto de vista del transporte y movilidad.....	11
Tabla 2: Tipos de vías urbanas.....	16
Tabla 3: Recomendaciones para cruces peatones en intersecciones no controladas por semáforos.	28
Tabla 4: Especificaciones geométricas mínimas para cruces peatonales del tipo trapezoidal.	29
Tabla 5: Recomendaciones para el dimensionamiento de pasos sobre elevados...29	
Tabla 6: Factores que influyen en el diseño geométrico de intersecciones: Comparación entre las publicaciones de Schoon y Roess, Prassas & McShane. ...30	
Tabla 7: Tipos de cruces peatonales en intersecciones controladas por semáforos.....	34
Tabla 8: Leyenda de símbolos para los diagramas de cruces peatonales.	36
Tabla 9: Casos recomendados para el uso de cruces peatonales controlados por semáforos.....	39
Tabla 10: Medidas de control para intersecciones en forma de "T".	46
Tabla 11: Predisposiciones para cruces peatonales no controlados por semáforos en los accesos a las rotondas.....	56
Tabla 12: Especificaciones generales para el diseño de mini-rotondas.	59
Tabla 13: Leyenda para el diagrama de flujo de diseño de mini rotondas.....	63
Tabla 14: Tiempo aceptable entre vehículos para criterios de visibilidad.	66
Tabla 15: Distancia mínima de visibilidad "D" Figura 45.....	67
Tabla 16: Condiciones de visibilidad para determinar la distancia "F".	67
Tabla 17: Diferencias entre las Auditorías de seguridad vial y el tratamiento de "Puntos negros".	73
Tabla 18: Aspectos a considerar en las <i>listas de chequeo</i>	76
Tabla 19: Esquema genérico de las partes de una lista de chequeo.....	76
Tabla 20: Comparación de modelos computarizados orientados mayormente a los peatones.....	80
Tabla 21: Resultados del análisis actual y las mejoras propuestas para el tráfico motorizado.....	83

Tabla 22: Resultados del análisis actual y las mejoras propuestas para peatones y ciclistas.....	83
--	----

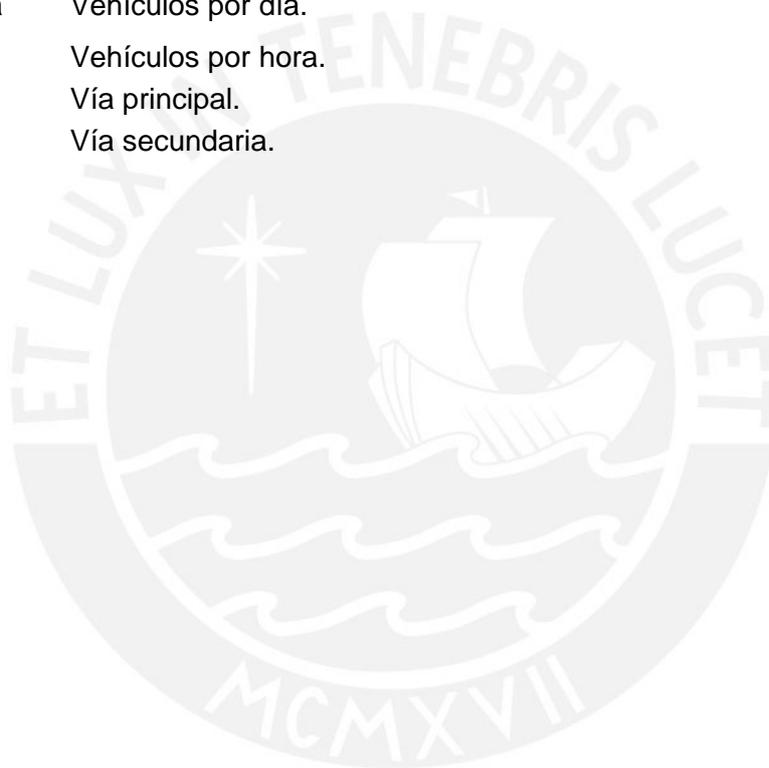
Índice de gráficos.

Gráfico 1: Número de carriles, para una calle secundaria controlada por una señal de <i>Pare</i> , en función del número de vehículos por hora en la calle principal y secundaria.....	19
Gráfico 2: Requerimientos de visibilidad para todo tipo de cruceos.	20
Gráfico 3: Longitud del ciclo, para una suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico. $h=2.6$ s/veh, $t_L=4$ s/fase.....	31

Índice de símbolos y abreviaturas.

≈	Aproximadamente
(E)	Este
(N)	Norte
(O)	Oeste
(S)	Sur
AADT	Annual Average Daily traffic flow [veh] (tráfico promedio diario anual)
AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials (USA)
ABS	Anti-locking Brake System (Sistema de antibloqueo de frenos).
ASV	Auditoría de seguridad vial.
C	Longitud del ciclo (s).
DCI	Diámetro del Círculo Inscrito.
DMRB	Design Manual for Roads and Bridges.
EISV	Evaluación de impacto en la seguridad vial.
h	Intervalo de tiempo promedio entre vehículos en movimiento en la misma dirección (s/veh).
HCM2000	Highway Capacity Manual, Year 2000 (USA).
IMD	Intensidad media diaria (veh/día).
ISV	Inspecciones de seguridad vial.
Km/h	Kilómetros por hora.
LCP	Línea de Ceda el Paso.
m	Metros.
m/s	Metros por segundo.
mi/h	Millas por hora

N	Número de fases en el ciclo.
ped/h	Peatones por hora.
PBI	Producto Bruto Interno.
RACC	Real Automóvil Club de Cataluña (España).
s	Segundos.
s/fase	Segundos por fase.
s/veh	Segundos por vehículo.
SEDUVI	Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (México).
t_L	Tiempo perdido en la fase (s/fase).
TR	Todo rojo
UNM	Usuario no motorizados
V_c	Suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico (veh/h).
veh/día	Vehículos por día.
veh/h	Vehículos por hora.
VP	Vía principal.
VS	Vía secundaria.



CAPÍTULO 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y ASPECTOS METODOLÓGICOS DE LA INVESTIGACIÓN.

1.1. Planteamiento del problema y justificación.

La idiosincrasia del hombre por desplazarse de un punto a otro ha estado entre nosotros desde tiempos antiguos. Es así que cuando la humanidad empieza a vivir en comunidades se dan cuenta que las comunicaciones entre dichos asentamientos es importante y vital, para las distintas actividades a desarrollarse (Leder, 2008)¹. Sin embargo, las características del transporte urbano, las condiciones de las vías, las formas de conducir, las políticas de transporte orientadas al vehículo particular, etc. ha conllevado a un estado caótico en las ciudades, debido a que se ha generado congestión vehicular, accidentes de tránsito, problemas ambientales y de salud (Thomson & Bull, 2001)².

Esta breve historia acerca de la necesidad humana por desplazarse y su conjugación con la necesidad creada por el vehículo motorizado ha traído, como se mencionó anteriormente, graves consecuencias. Entonces, la congestión vehicular de las ciudades responde a lo siguiente (Thomson & Bull, 2001):

- La “fricción” entre vehículos en el flujo de tránsito causan congestión. Es decir que cada vehículo que se integra a todo el volumen vehicular impide el desplazamiento de los demás autos.
- Las características del transporte urbano crean congestión.
 - El deseo de desplazarse por parte de los ciudadanos responde a una necesidad de cumplir sus actividades (ir al trabajo, la escuela, entretenimiento, etc).
 - La demanda del transporte es variable. Es decir que en la ciudad existen distintos puntos de destino, los cuales son atractivos para que las personas realicen sus actividades.
- Las características de un automóvil hacen que este vehículo sea una dura competencia para otros medios de transporte en cuanto a preferencias. Es así que la independencia, comodidad y seguridad del automóvil hacen los usuarios prefieran usar su auto para ir a sus destinos.

¹ Leder, S. (2008). *Nomadic and settled peoples in steppe landscapes and within statehood*. Retrieved December 27, 2011, from Web site Diference + Integration: Universities of Leipzig and Halle-Wittenberg

² Thomson, L., & Bull, A. (Junio de 2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Recuperado el 21 de Marzo de 2011, de División de Recursos Naturales e Infraestructura: CEPAL – ONU Pag 5.

- La infraestructura destinada sólo a satisfacer las *horas punta* y enfocadas a satisfacer las demandas del transporte traen problemas inversiones, lo cual conlleva a grandes congestiones con sus respectivos impactos ambientales.
- Según Thomson y Bull el automóvil es el principal agente de congestión, debido a su reducida capacidad de llevar personas (en promedio 1.5), y al gran número de automóviles en el conjunto del flujo vehicular.

Un claro ejemplo de los problemas evidentes de congestión vehicular se visualiza en la ciudad de Lima Metropolitana, la cual, con sus casi nueve millones de personas, está experimentando graves problemas de congestión. Sumado a este efecto, se acentúan las complicaciones del transporte público. Por último, las soluciones propuestas y practicadas por los gobiernos municipales están orientadas a solucionar las complicaciones de capacidad de las vías más no a la planificación de los medios de transporte.

Entonces, los sistemas, redes y medios de transporte están condicionados a la visión política y/o urbanística de una ciudad, desde el punto de vista del transporte y la movilidad, la cual debe ser congruente con los contextos sociales que las personas viven.

El diseño de una intersección, bajo el criterio del transporte, está gobernado por el número de carriles que llegan a la intersección, la canalización de los anteriores, giros a la derecha e izquierda, seguridad en la intersección y ubicación de las señales de tránsito (Roess, Prassas, & McShane, 2004)³. Sin embargo, debido a las externalidades ambientales de las tendencias del Transporte, la situación climática presente y nueva revaloración de la ciudad conllevan a considerar los puntos de vista de la Movilidad e incluso se sugiere imponer este concepto al del transporte (Dextre, Hablemos de movilidad y no de tráfico o circulación, 2010)⁴. Para el diseño de una intersección esto quiere decir lo siguiente:

³ Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). Traffic Engineering. In R. P. Roess, E. S. Prassas, & W. R. McShane, *Traffic Engineering* (Third Edition ed), Pag. 540. New Jersey, USA: Pearson

⁴ DEXTRE, J. C. (2010). Hablemos de movilidad y no de tráfico o circulación. *En Vía*, 4-5

Tabla 1: Prioridades de las políticas de transporte bajo el punto de vista del transporte y movilidad.

Si se da prioridad al transporte.	Si se da prioridad a la movilidad
Se tiene el siguiente orden	Se tiene el siguiente orden.
1. Vehículo motorizado privado.	1. Personas discapacitadas y peatones.
2. Transporte público.	2. Ciclistas.
3. Transporte de carga.	3. Transporte público.
4. Peatones.	4. Transporte de carga.
5. Ciclistas.	5. Vehículo motorizado privado.
6. Personas discapacitadas.	

Fuente: (Dextre, Hablemos de movilidad y no de tráfico o circulación, 2010)
Adaptado.

En las intersecciones con semáforos y las sin semáforos, las medidas de control deben de estar relacionadas tanto a nivel de diseño como de planeamiento. Es decir, desde las reglas básicas de las intersecciones (niveles de control) hasta el diseño del ciclo del semáforo, deben ser consideradas, para el diseño, y las conclusiones plasmadas en planos.

Esta tesis se enfoca en el diseño de intersecciones desde el punto de vista de la movilidad y el transporte.

Es por todo ello, debido a los problemas enunciados, este estudio intenta responder la siguiente interrogante: ¿Qué metodología se debe de seguir para el diseño de intersecciones urbanas?

1.2. Objetivos.

1.2.1. Objetivos generales.

Proponer una metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas que reflejen diseños más justos, seguros y humanos para los habitantes del área Metropolitana de la ciudad de Lima.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Analizar el diseño y planeamiento de intersecciones desde el punto de vista del transporte.

- Analizar el diseño y planeamiento de intersecciones desde el punto de vista de la movilidad.
- Analizar y evaluar la efectividad del diseño y planeamiento de intersecciones desde los puntos de vista combinados entre la movilidad y el transporte.
- Elaborar la metodología de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas desde los puntos de vista del transporte y la movilidad.

1.3. Formulación de hipótesis.

La metodología orientada al diseño y planeamiento de intersecciones urbanas, la cual asocia las políticas de transporte y las de movilidad, presenta resultados más efectivos que la metodología orientada sólo al transporte. Los resultados obtenidos al conjugar ambas políticas son de mayor beneficio para los usuarios de los sistemas de transporte.

Antecedentes.

Existen diversas instituciones internacionales que desarrollaron los criterios de diseño de intersecciones entre las cuales se tiene los siguientes (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

- AASHTO Policy on Geometric Design of Highways and Streets.
- Highway Capacity Manual 2000.
- Manual on Uniform Traffic Control Devices.
- Manual of Traffic Signal Design.
- Traffic Detector Handbook.

Otros autores, los cuales han trabajado los temas de movilidad, se enuncian a continuación:

- El Real Automóvil Club de Cataluña (RACC).
- El manual técnico de accesibilidad mexicano.
- A PIE Asociación de viandantes.
- Design Manual for Roads and Bridges (DMRB)
- Department for transport: Inclusive Mobility.

1.4. Aspectos metodológicos.

En el presente estudio se hizo uso del método descriptivo y analítico, por lo cual se presenta el procedimiento siguiente:

- Se describió en relación a las consideraciones, para los elementos de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas, con énfasis en los usuarios más vulnerables.
- Se describió los modelos de intersecciones urbanas, bajo los puntos de vista del transporte y la movilidad.
- Previo análisis y discusión de las referencias bibliográficas de los diferentes autores se desarrolló un diagrama de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas.
- En base a la descripción y análisis de la información se elaboró las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO 2. CONSIDERACIONES EN EL DISEÑO DE INTERSECCIONES URBANAS.

La compleja interacción de los medios de transporte, motorizado y no motorizado, demanda una clasificación del uso del espacio público en función de las prioridades que se desea asignar a cada usuario de una vía urbana. Evidentemente, las intersecciones forman parte importante de las vías urbanas, y es por ello que dichas vías se pueden clasificar de la siguiente forma (RACC, 2004):

- Calles de pasar: Son vías con un alto volumen vehicular y orientado a dar prioridad al vehículo.
- Calles de estar: Son vías en las cuales los peatones tienen la prioridad, y su enfoque está orientado a la planificación de las vías.

Esta clasificación se describe más adelante.

2.1. Objetivos.

En el diseño de intersecciones se espera que se cumplan los siguientes objetivos básicos (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

- Garantizar la seguridad de los usuarios de la intersección.

- Garantizar un flujo eficiente de los usuarios.

Se entiende por usuarios a los conductores de vehículos motorizados, no motorizados, peatones y personas con alguna discapacidad. Así mismo, se infiere del informe de la RACC⁵ y del Ayuntamiento de Madrid⁶ que los requerimientos, demandados por una intersección, están condicionados por los puntos que se mencionan a continuación (RACC, 2004) y (Instrucción de vía pública, 2000):

- El número de vehículos que circulan.
- El número de peatones y discapacitados que circulan.
- La frecuencia de uso de la intersección por parte de las personas.
- El contexto en el que se encuentra la intersección (Rango jerárquico de las vías que se aproximarán a la intersección y el tipo de edificios e instituciones que se encuentran cerca).

Entonces, los siguientes acápites desarrollarán las consideraciones, para el diseño y planeamiento de intersecciones, desde los puntos de vista del transporte y la movilidad.

2.1.1. Desde el punto de vista del transporte.

Los usuarios de vehículos motorizados y no motorizados deben de hacer uso de las intersecciones sin que estas afecten su impresión de seguridad/fluidez al aproximarse y salir de la intersección. Sin embargo, ambos puntos no son fáciles de obtener y muchas veces se arriesga uno de ellos más que el otro (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

El RACC (2004), indica que las *vías de pasar* están enfocadas a dar prioridad a los vehículos motorizados y aseguran el flujo vehicular privado o público con el uso mínimo de espacio. Además, dichas vías no deben interrumpir el flujo peatonal.

AASTHO indica que hay factores a tomar en cuenta para diseñar una intersección los cuales se detallan a continuación:

⁵ RACC Automóvil Club - Fundación, Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas, Cataluña, 2004.

⁶ Ayuntamiento de Madrid. *Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda*: Madrid, 2000.

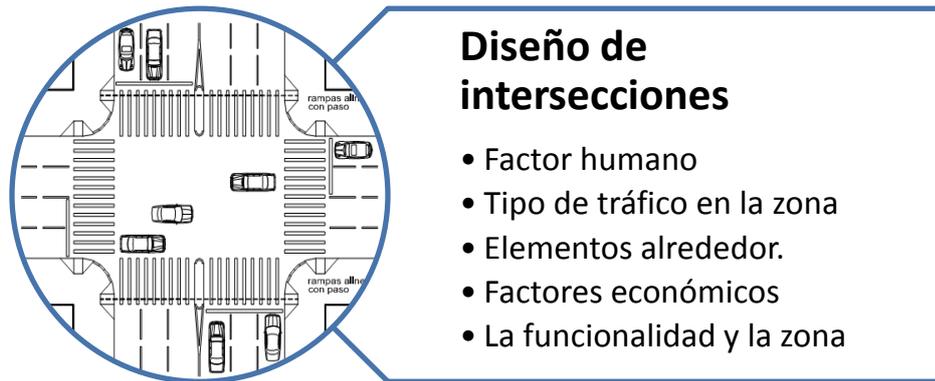


Figura 1: Diseño de intersecciones desde el punto de vista del transporte.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004); figura: (SEDUVI, 2007).

- Factor Humano: Tiempo de reacción y decisión del usuario.
- Tipo de tráfico en la zona: Capacidad adecuada para cada usuario, distribución del tipo de vehículos que se aproximan a la intersección, giros, velocidades de aproximación, requerimientos especiales.
- Elementos alrededor: Los elementos que generan y atraen el tráfico, así mismo la geometría de la intersección y la ubicación de los sistemas de control.
- Factores económicos: Costos en inversión en infraestructura, medidas para calmar el tráfico, consumo de energía, impacto ambiental, etc.
- Funcionalidad de la intersección: El área de influencia de la intersección debe estar relacionada con los tiempos de aceleración y desaceleración de los vehículos, así mismo con las colas que se generan.

2.1.2. Desde el punto de vista de la movilidad.

Las *vías de estar* se enfocan en dar prioridad a los siguientes elementos en ese orden (RACC, 2004):

- El peatón (evidentemente, se colige que las personas discapacitadas están incluidas en esta categoría).
- Estacionamientos para los residentes de la zona.
- Reparto de mercaderías.
- Circulación de bicicletas.
- Vehículos privados.

Tabla 2: Tipos de vías urbanas.

Tipo de zona	Función	IMD ⁷ por sentido y menor a: (Veh/día)	Velocidad máx. (Km/h)
Peatonal	Circulación de residentes y actividades de la zona	1000	10
Prioridad para peatones	Circulación de destino	2000	20
Zona 30	Circulación de aproximación y destino	5000	30

(Fuente: RACC, 2004 – Adaptado)

Zonas peatonales: Es un área en la cual el peatón tiene la prioridad y de forma muy excepcional se permite el ingreso de transporte público y de bicicletas (RACC, 2004).

Zonas 30: Son zonas en las que el peatón tiene la prioridad, pero el movimiento vehicular está limitado a 30Km/h (motivo por el cual lleva el nombre de *zona 30*) (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)⁸. Es por ello que dicha zona también es adecuada para el transporte de mercadería (RACC, 2004).

Entonces, el RACC⁹ indica que la clasificación de las vías es un punto importante para su dimensionamiento en función de los usuarios (personas discapacitadas, personas de la tercera edad, peatones, bicicletas, transporte público y transporte privado) (RACC, 2004).

Por otro lado, John G. Schoon, presenta un diagrama de flujo el cual indica el proceso para diseñar el espacio requerido por los peatones. A continuación se muestra dicho diagrama.

⁷ IMD: Promedio anual del número de vehículos que pasan por una sección de control de una vía.

⁸ A PIE, Asociación de viandantes; "Cuaderno de intervención peatonal", 2004, Pag.14

⁹ RACC Automóvil Club - Fundación, Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas, Cataluña, 2004. Pag15-18.

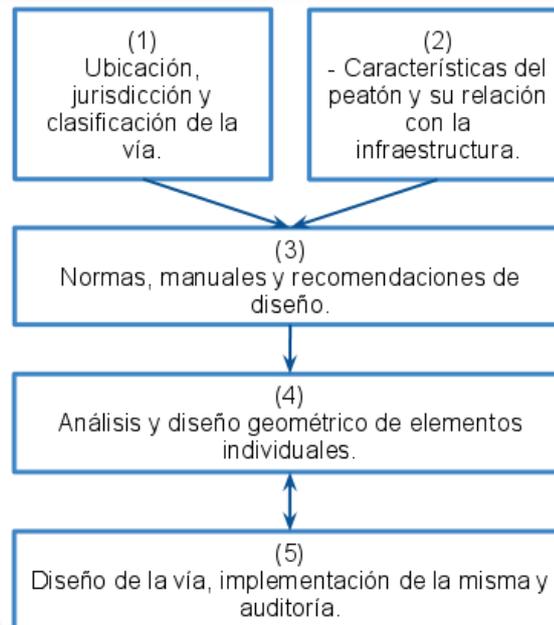


Figura 2: Proceso de diseño geométrico del espacio requerido para los peatones

Fuente: (Schoon, 2010) Adaptado.

A continuación se detalla los cinco puntos (Schoon, 2010):

- El punto número uno, postula tres componentes: La primera, la localización y jurisdicción de una vía. El segundo componente, señala que se debe tener en cuenta el contexto en el que estará la vía. El tercero, son las características de la ruta vehicular y calzada peatonal.
- En el punto número dos, también se tienen tres componentes importantes: La primera, desarrolla las características de las redes peatonales, sus rutas y uso. La segunda, las características de los peatones bajo los puntos de vista de la seguridad, movimiento y tiempos de reacción. La tercera, las características de las calzadas: ruta, anchos y configuración en una intersección.
- El punto tres, recomienda que los datos anteriores y características sean plasmados en las normas, manuales y recomendaciones para el diseño de vías.
- El punto cuatro, demanda el análisis de velocidades y distancias de parada de los vehículos, las velocidades y tiempos de reacción de los peatones, simulaciones computarizadas. Además, determinar la configuración geométrica de la vía o intersección que se desea implementar.

- Finalmente, el punto cinco, señala que el diseño inicial, costos y la implementación del diseño se deben de auditar con el fin de corregir o mejorar el proyecto final.

2.2. Punto básico de inicio: Tamaño de la intersección.

Uno de los puntos más importantes en el diseño de intersecciones es el determinar el número de carriles que llegan a la intersección. Para lo cual existen diversos parámetros a considerar los cuales van desde criterios propios de la ingeniería de tráfico hasta los que no están sujetos a estos (Roess, Prassas, & McShane, 2004). Al respecto el RACC⁴ y la SEDUVI¹⁰ indican las medidas, para planificar las calles, se deben de imponer a las de infraestructura. Finalmente, a lo que se aspira es conservar los objetivos del diseño de intersecciones y planeamiento (SEDUVI, 2007) (RACC, 2004).

2.3. Intersecciones no controladas por semáforo.

2.3.1. Desde el punto de vista del transporte.

En el texto, *Traffic Engineering*, este tipo de intersecciones operan bajo los tres niveles de control (reglas básicas en intersecciones, señales de *Pare* y *Ceda el Paso*) y los volúmenes de tráfico son bajos, por ello se señala que el número de carriles a usar en la intersección debe ser el mismo que los que se aproximan a la misma. Cabe resaltar, que las vías de alta velocidad y/o poca visibilidad son contextos especiales para las intersecciones y se debe de tratar de canalizar el flujo además de usar señales de tránsito apropiadas (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Los giros a la izquierda: En las calles principales, los autos que quieren girar a la izquierda crean colas y retraso innecesarios a los que van de frente debido a que los primeros tratan de encontrar un espacio que los deje cruzar, entre los vehículos que van en sentido opuesto. Como regla práctica, los giros a la izquierda con más de 100 vehículos por hora son los que producen las colas y retrasos. (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

¹⁰ Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), Manual Técnico de Accesibilidad, 2007

Los giros a la derecha: Para las calles principales estos giros no crean mayor impacto en las secundarias las cuales están controladas por señales de pare y ceda el paso. Cabe resaltar que los giros a la derecha, no debería presentar mayores problemas cuando se tienen estacionamientos en la calle, pero estos últimos, se deben prohibir a una distancia de 30.0m – 60.0m desde la línea de *Pare*. (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Las calles secundarias que se acercan a una intersección con un número de carriles iguales a tres, no se pueden controlar con señales de *Pare*. Evidentemente, para números mayores tampoco es eficiente (Roess, Prassas, & McShane, 2004). El *Highway Capacity Manual* postula una tabla en la cual correlaciona el volumen vehicular en la calle secundaria y principal con el número de carriles idóneos, para la calle secundaria controlada bajo una señal de *Pare*. A continuación ilustramos la idea anterior mediante un gráfico:

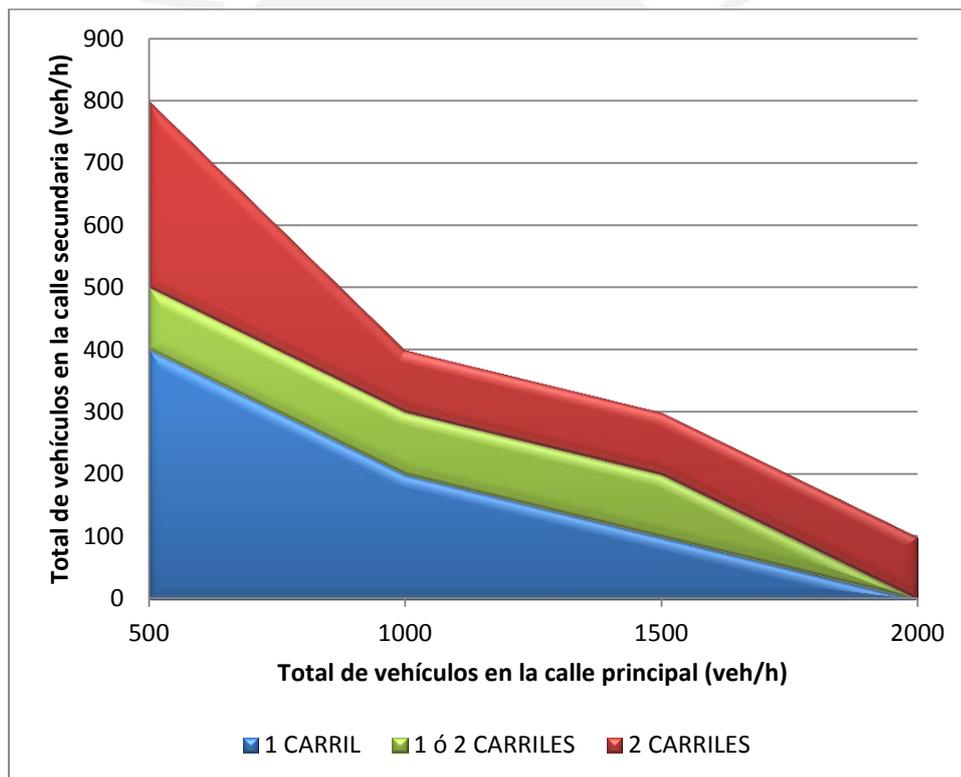


Gráfico 1: Número de carriles, para una calle secundaria controlada por una señal de *Pare*, en función del número de vehículos por hora en la calle principal y secundaria.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004) Adaptado.

El anterior gráfico está sujeto a las siguientes hipótesis (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

- Los obstáculos que impidan la circulación, como por ejemplo los taxis estacionados en uno de los carriles, reducen la capacidad del carril al 80% de su valor original.
- Todo el volumen vehicular en la calle principal y secundaria se desarrolla de forma recta, es decir que no se producirán giros a la izquierda o derecha.

Cabe resaltar, que el gráfico anterior corresponde a criterios aproximados de diseño, los cuales deben ser verificados por los procedimientos del HCM 2000 (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

2.3.1.1. Velocidad de diseño.

La publicación de Schoon, indica que algunas normas de diseño dependen de la velocidad de aproximación, de los vehículos a la intersección, las cuales se deben de hacer referencia a las normas usadas según la jurisdicción en la que se desarrollará el diseño con el fin de determinar la velocidad idónea. Si no es posible cumplir con las velocidades exigidas por norma se debe de reducir la velocidad de aproximación a la intersección hasta un punto apropiado, el cual cumpla con los criterios de visibilidad y distancia de parada de un vehículo (Schoon, 2010)¹¹.

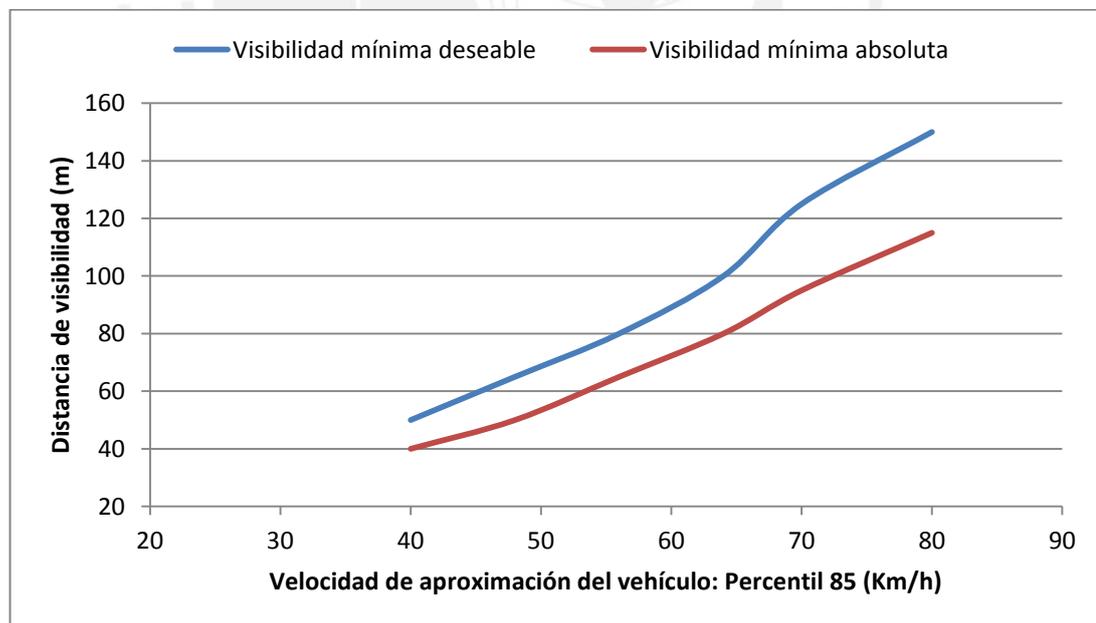


Gráfico 2: Requerimientos de visibilidad para todo tipo de cruces.

Fuente: (Highways Agency, 1981) (Schoon, 2010) Adaptado.

¹¹ Schoon, John G (2010), *Pedestrian Facilities Engineering and geometric design - Chapter 3th: Pedestrian Characteristics*, Thomas Telford. Pag 187 - 188

En el gráfico anterior se correlaciona la velocidad de aproximación con los criterios de visibilidad (Highways Agency, 1981) (Schoon, 2010).

2.3.2. Desde el punto de vista de la movilidad.

Si bien conseguir la convivencia de todos los usuarios de una intersección es complicada el caso opuesto que es la monopolización de uno de los agentes, los cuales hacen uso de la intersección, no está cerca de lo idóneo (Salamanca Garnica, 2008)¹². Las políticas que priorizan solo el transporte han restringido y quitado espacio a uno de los elementos más vulnerables al momento de usar una intersección: El peatón. Es por ello que la movilidad intenta proteger a las personas y les da pleno protagonismo especialmente en el uso de intersecciones no controladas por semáforos (RACC, 2004).

Según Schoon, la mayoría de diseños están orientados a que el vehículo motorizado evite la colisión con peatones y hay menos diseños que indiquen cómo un peatón o persona discapacitada evada la colisión con vehículos motorizados. Es por ello, que es importante conocer el movimiento y dimensiones características del peatón o discapacitado (Schoon, 2010)¹³.

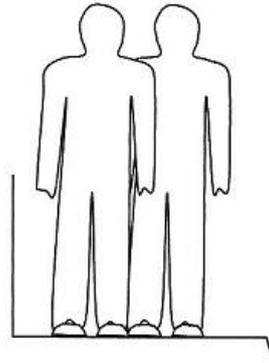
2.3.2.1. Clasificación y características de los peatones.

Existen diversas formas de clasificar a los peatones. Entre ellas se tiene según los propósitos de los viajes y habilidades. A continuación se presenta la clasificación considerada por Schoon. Además, de las características geométricas del peatón.

- **Viajero cotidiano:** El peatón prefiere las rutas que son directas a su casa, trabajo y transporte público. Todo ello, sin preocuparse de la calidad del medio ambiente (Schoon, 2010). El espacio necesario de este tipo de peatones es el siguiente:

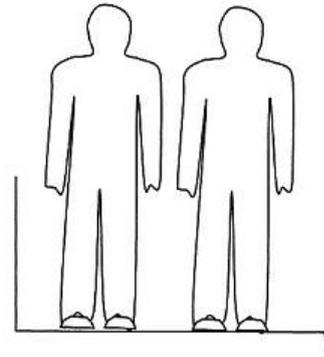
¹² Salamanca G. Luisa, Ponferrada: Hacia una movilidad más sostenible, Congreso nacional de medio ambiente 2008, Pag20,

¹³ Schoon, John G (2010), *Pedestrian Facilities Engineering and geometric design - Chapter 3th: Pedestrian Characteristics*, Thomas Telford. Pag 65.



Two adults
passing
900 (1000)

**Figura 3: Espacio para dos adultos -
De 0.90m a 1.0m.**
Fuente: (Schoon, 2010)



Two adults passing
1200 (1350)

**Figura 4: Espacio para dos adultos -
De 1.20m a 1.35m.**
Fuente: (Schoon, 2010)

- **Comprador o caminante típico:** Este tipo de peatones busca accesos atractivos y fáciles. También consideran los aspectos ambientales de sus rutas (Schoon, 2010).

Asimismo, se indica la situación en el cual la dimensión recomendada de acera es de 2.00m y se ilustra a continuación:

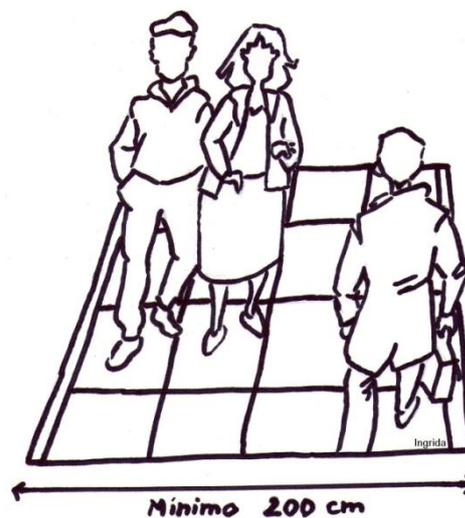
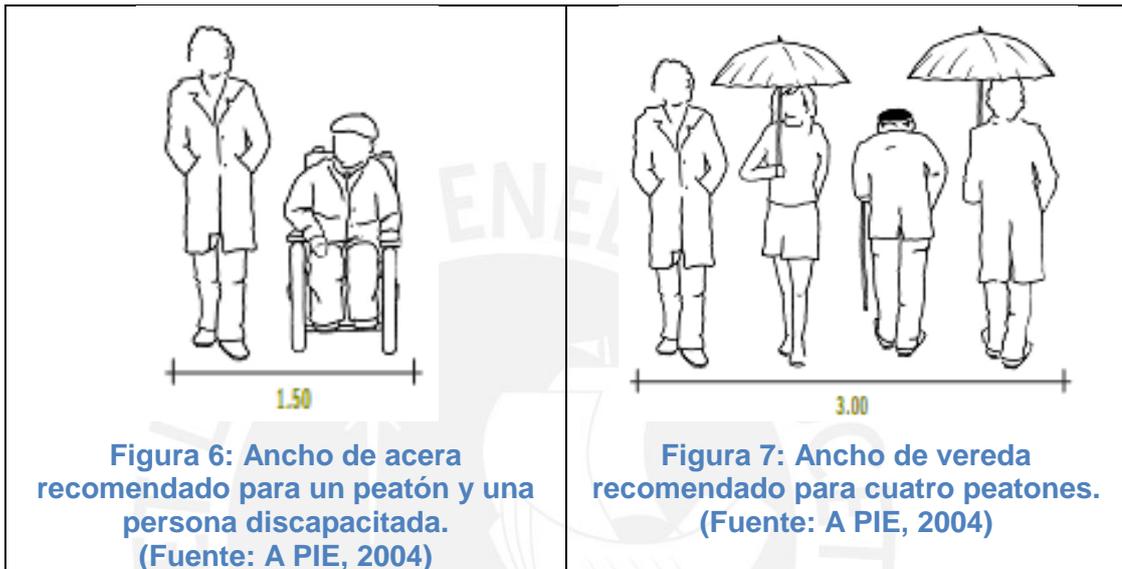


Figura 5: Ancho de acera mínimo para las personas de la tercera edad.

(Fuente: RACC⁸, 2004)

El RACC¹⁴ describe este caso como la circulación de un peatón, de la tercera edad, junto a otro que lo ayuda o acompaña además de tomar en cuenta a otra persona que circula en sentido opuesto. También se debe de considerar 0.5m adicionales, si se desea colocar mobiliario urbano como son las bancas, paraderos, postes de luz, etc. (RACC, 2004). Por otro lado, A PIE¹⁵, postula un ancho mínimo, libre de obstáculos, de 1.20m y recomienda un ancho de vereda de 1.50m a 3.00m. A continuación se ilustran esto dos últimos casos (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004).



- **Persona discapacitada:** Las personas discapacitadas buscan fáciles accesos y seguros. Además, el inmobiliario público debe estar correctamente ubicado y dimensionado, para estas personas. Cubrir esta necesidad también abarcará a otros peatones como son las personas de la tercera edad, las con discapacidad temporal, las personas con bajo desempeño físico, y personas con niños (Schoon, 2010).

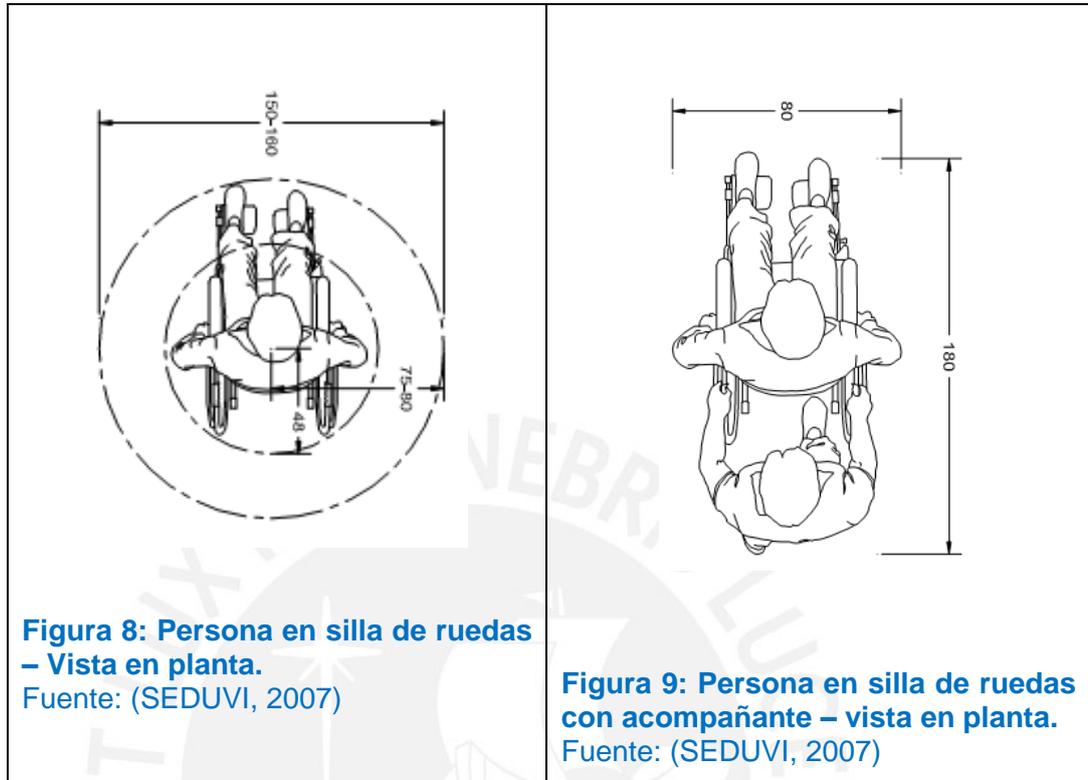
El informe del SEDUVI¹⁶ (2007), indica que es una necesidad incluir en el diseño de espacios públicos y privados a las personas con discapacidad motriz, visual y auditiva. Debido a ello es importante, para el diseño de intersecciones, conocer el espacio que necesitan las personas con las condiciones antes mencionadas.

¹⁴ RACC Automóvil Club - Fundación, Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas, Cataluña, 2004. Pag19.

¹⁵ A. SANZ, M. MATEOS, A. SÁNCHEZ Y C. CAPARRÓS; "Cuaderno de intervención peatonal", A PIE, Asociación de viandantes, 2004, Pag.14

¹⁶ Secretaría de Desarrollo Urbano y Vivienda (SEDUVI), Manual Técnico de Accesibilidad, 2007, Pag20.

Por ejemplo, las personas en sillas de ruedas necesitan las siguientes dimensiones para realizar sus actividades con normalidad.



Como se puede observar, en las dos figuras anteriores, las personas en silla de ruedas necesitan diámetro mínimo de 1.50m para realizar sus actividades por sí solas y cuando tienen un acompañante se tiene una longitud de 1.80m de largo y 0.80m de ancho. (SEDUVI, 2007). Por otro lado, Schoon, se presenta un ancho de entre 0.60m a 0.90m. para las personas que van en silla de ruedas. La rampa de acceso a veredas, continúa Schoon, para usuarios en silla de ruedas, debe tener una pendiente máxima de 8% (1:12). Además, de las rampas se debe proveer un pavimento táctil para usuarios con limitaciones visuales. En la siguiente figura se ilustran estas condiciones.

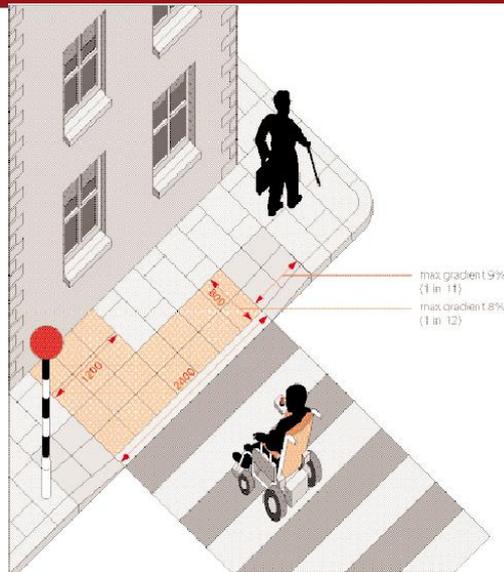


Figura 10: Esquema ilustrativo para la colocación de rampas de acceso y pavimento táctil para usuarios discapacitados.

Fuente: (Schoon, 2010)

- **Niños:** Esta categoría de peatones necesitan un gran nivel de exclusividad, minimización de la prioridad vehicular o reducción de la velocidad de los autos. Debido a que los niños y jóvenes deben de movilizarse a sus centros educativos es importante darles seguridad y comodidad para llegar a ellos (Schoon, 2010).

Por otro lado, A PIE, también indica que se debe de tomar en cuenta el tipo de mobiliario urbano a usar en las calles. Es por ello, que se postulan anchos de vereda adicionales de 0.70m a 2.50m. En las siguientes figuras se ilustran tres casos recomendados (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004).

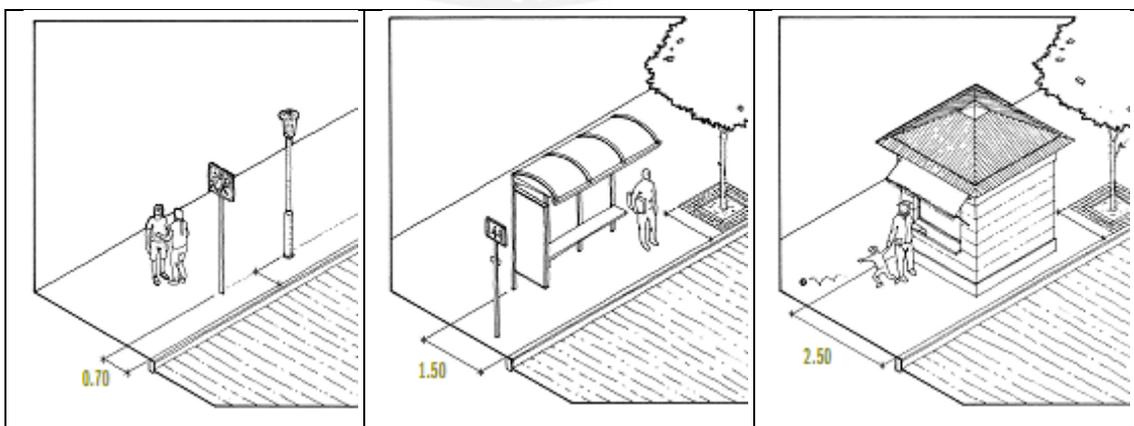


Figura 11: Anchos de vereda recomendados para mobiliario urbano: Postes de luz (0.70m.); Paradero de buses (1.50m.); Kiosco (2.50m.).

Fuente: (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)

Cabe resaltar que las recomendaciones expuestas hasta este punto han sido desarrolladas para las calles. Entonces, debido a que las intersecciones son parte de las calles, los conceptos mencionados son válidos para el dimensionamiento de intersecciones urbanas.

Cuando las personas cruzan una intersección se ven forzadas muchas veces a caminar más rápido por su seguridad. Es por ello, que en el planeamiento de una intersección se debe de establecer una velocidad de andanza para los peatones. Es así que el RACC¹⁷ fija una velocidad de caminata de 1.0 m/s mientras que A PIE¹⁸ una de 0.7m/s.

Una forma de señalar los cruces peatonales es mediante su nivel con respecto a la calzada. Entonces, un cruce a desnivel quiere decir que la acera se encuentra a un nivel superior que la calzada. En contra posición, un cruce sobre-elevado, indica que la vereda y la calzada se encuentran a un mismo nivel (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004). A continuación veremos estas dos formas típicas.

2.3.2.2. Cruce a desnivel con respecto a la calzada.

El RACC¹⁹ y A PIE¹¹ indican, para el dimensionamiento del cruce peatonal a desnivel de una intersección, se debe tomar en cuenta lo siguiente:

- El paso a desnivel típico es el de “cebra” (franjas blancas horizontales en el pavimento) con un flujo máximo de 1000 ped/h. (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)
- Se debe de vigilar la velocidad y volumen del flujo vehicular en la calle, debido a que para flujos mayores a 500 vehículos por hora, el cruce se torna peligroso para los peatones y discapacitados. (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)
- Colocar una señal de peligro, para el vehículo, a la distancia reglamentaria la cual indica al vehículo que se está aproximando a un cruce peatonal. (RACC, 2004).

¹⁷ RACC Automóvil Club - Fundación, Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas, Cataluña, 2004. Pag18

¹⁸ A. SANZ, M. MATEOS, A. SÁNCHEZ Y C. CAPARRÓS; “Cuaderno de intervención peatonal”, A PIE, Asociación de viandantes, 2004, Pag.10-11.

¹⁹ RACC Automóvil Club - Fundación, Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas, Cataluña, 2004. Pag18

- Colocar una señal, para el peatón, que indique el lugar por el cual se debe de cruzar. (RACC, 2004).
- En las noches se debe de iluminar claramente el cruce. (RACC, 2004).



Figura 12: Cruce peatonal en una intersección no controlada por semáforos.

Fuente: (RACC, 2004)

Por otro lado, el Ayuntamiento de Madrid estipula que los pasos de cebra se deben de diseñar, para las intersecciones no controladas por semáforos, bajo las siguientes condiciones:

- No se debe de usar un paso de “cebra” para las calles que poseen un flujo peatonal superior a 400 – 500 ped/h y flujo vehicular mayor a 1000 – 1200 veh/h.
- No se recomienda colocar un paso de cebra delante de paraderos de transporte público, debido a que se crea inseguridad en el peatón. Es por ello que se deben de separar por lo menos 20.0m.
- Si los vehículos que se aproximan a una intersección desarrollan altas velocidades no se recomienda colocar pasos de cebra.

Cuando hay un número de peatones por hora, los cuales hacen uso del paso de cebra, mayor a los indicados por el Ayuntamiento de Madrid estos crearán colas vehiculares excesivas. Asimismo, debido a un flujo vehicular alto y/o rápido, se crea la sensación de inseguridad para el peatón y/o discapacitados además de un mayor número de accidentes (Instrucción de vía pública, 2000).

En la tabla que se presenta a continuación se resumen las recomendaciones de las fuentes citadas.

Tabla 3: Recomendaciones para cruces peatones en intersecciones no controladas por semáforos.

Fuente	Máximo N° Peatones (ped/h)	Máximo N° Vehículos (veh/h)	Observaciones
RACC y A PIE	1000	500	-Controlar la velocidad de los vehículos en la calle -Señales de peligro. -Iluminación del paso
Ayuntamiento de Madrid	400 – 500	1000 – 1200	-Controlar la velocidad de los vehículos en la calle. -Debe de estar separado de los paraderos de transporte público

Fuente: (Instrucción de vía pública, 2000) (RACC, 2004) (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004) Adaptado.

2.3.2.3. Cruces sobre-elevados con respecto a la calzada.

Los cruces a nivel, llamados también cruces de cebra trapezoidal o sobre-elevados, se distinguen por enviar un fuerte mensaje a los conductores de vehículos: Los peatones y discapacitados tienen la prioridad en las calles. Es así que las intersecciones a base de cruces a nivel exhiben las siguientes ventajas (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004):

- Favorecen y facilitan el andar de los peatones y discapacitados.
- Enfatizan la presencia del peatón y discapacitados que hacen uso del cruce.
- Reduce la velocidad de los vehículos que se aproximan a la intersección.
- Enfatizan la línea de parada de los vehículos y cuidan que no se estacionen sobre el cruce peatonal.

La asociación A PIE recomienda, en forma general, las siguientes dimensiones para los cruces peatonales sobre-elevados.

Tabla 4: Especificaciones geométricas mínimas para cruces peatonales del tipo trapezoidal.

Vía	Ancho de la calzada	Gradiente de la rampa (%)
Principal	5.00m ≤ Rampa ≤ 8.00m	5
Secundaria	Rampa ≤ 4.00m o 5.00m	10

Fuente: (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004) Adaptado.

Por otro lado, el Ayuntamiento de Madrid es más específico y presenta mayores detalles, acerca de la dimensión de estos cruces, los cuales se presentan a continuación:

Tabla 5: Recomendaciones para el dimensionamiento de pasos sobre elevados.

Velocidad (Km/h)	Pendiente de la rampa (%)	Altura (m)	Longitud (m)	Ancho (m)
50	4	De 0.075 a 0.10	De 4.0 a 5.0	De la calzada
30	10			
20	14			

Fuente: (Instrucción de vía pública, 2000), adaptado.

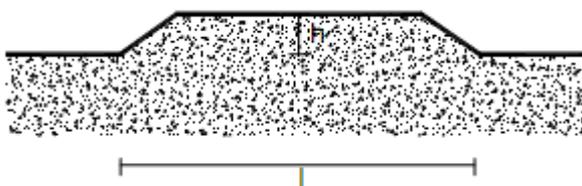


Figura 13: Sección transversal de un paso sobre-elevado.

Fuente: (Instrucción de vía pública, 2000)

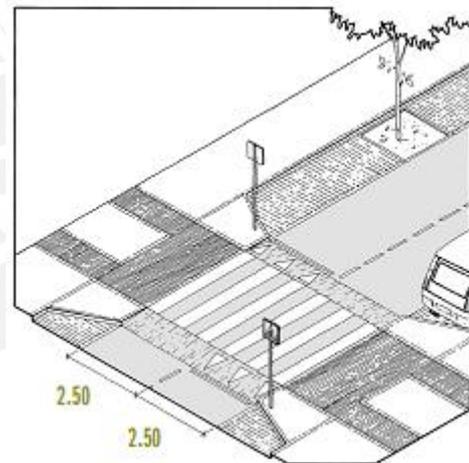


Figura 14: Crucero sobre-elevado

Fuente: (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)

En la Figura 14, se puede observar que en los extremos se coloca otra textura de pavimento con el fin de indicar, a los peatones invidentes o de visión limitada, que están en una zona de cruce peatonal. Esta es una práctica recomendada (Instrucción de vía pública, 2000).

2.4. Intersecciones controladas por semáforo.

2.4.1. Desde el punto de vista del transporte

2.4.1.1. Geometría de las intersecciones.

El diseño geométrico, de las intersecciones controladas por semáforos, obedece a muchos factores entre los cuales se tiene los siguientes:

Tabla 6: Factores que influyen en el diseño geométrico de intersecciones: Comparación entre las publicaciones de Schoon y Roess, Prassas & McShane.

Schoon, John G.	Roess, Prassas y McShane
<ul style="list-style-type: none"> • Diseño del tiempo del semáforo. • Características del tráfico vehicular. • Distancia de los semáforos con respecto a los conductores. • Tiempo de los semáforos vinculados al tiempo de reacción de los peatones. • Visibilidad entre conductores y peatones. • Ancho de las veredas. • Categorización de los peatones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Demanda en cada grupo de carriles. • Número de fases del semáforo. • Longitud del ciclo. • Otros factores.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)²⁰ y (Schoon, 2010)²¹

Como se puede apreciar, la posición de Schoon está inclinada a dar mayor prioridad al peatón. En contraposición, Roess, Prassas y McShane presentan factores que concuerdan con los puntos de vista del transporte.

Es por ello, que los diseños de intersecciones no son únicos y existen muchas posibilidades factibles. De la misma forma se presenta el caso del diseño del tiempo del semáforo (Roess, Prassas, & McShane, 2004). Sin embargo, se usa un criterio básico, para determinar el número de carriles, el cual toma el nombre de *suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico* y está representada por la siguiente expresión matemática. (HCM 2000, 2000) (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

²⁰ Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). Traffic Engineering. Third Edition ed., pp. 543.

²¹ Schoon, John G. (2010). Pedestrian facilities: Engineering and geometric design. Thomas Telford, pp. 172 – 173.

$$V_c = \frac{1}{h} 3600 - N t_L \frac{3600}{C}$$

En la cual:

V_c = suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico (veh/h).

h = Intervalo de tiempo promedio entre vehículos en movimiento en la misma dirección (s/veh).

N = Número de fases en el ciclo.

t_L = Tiempo perdido en la fase (s/fase)

C = Longitud del ciclo (s).

A continuación se presenta un gráfico, el cual muestra valores de longitud del ciclo (C) versus la suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico (V_c), bajo los siguientes valores típicos (Roess, Prassas, & McShane, 2004) : $h=2.6$ s/veh, $t_L=4.0$ s.

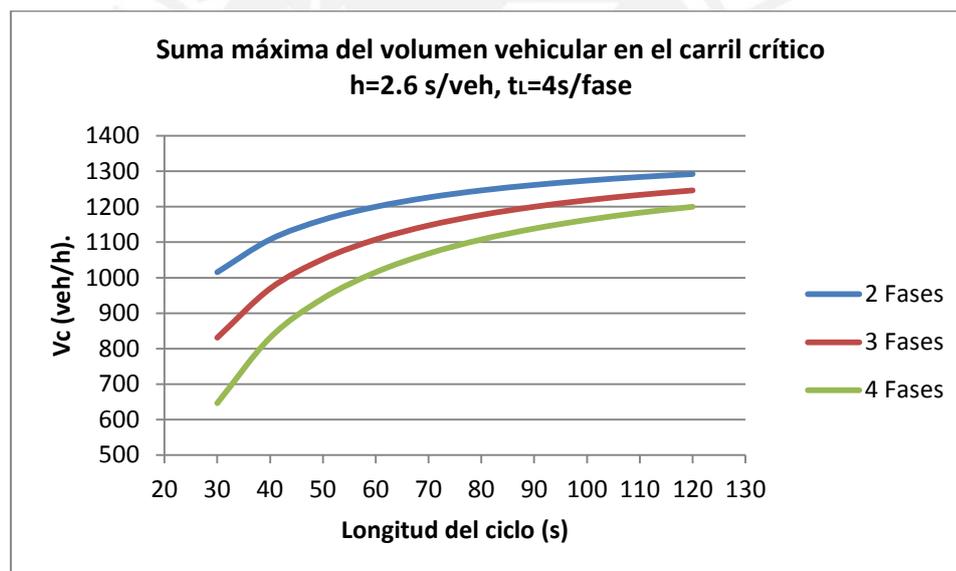


Gráfico 3: Longitud del ciclo, para una suma máxima del volumen vehicular en el carril crítico. $h=2.6$ s/veh, $t_L=4$ s/fase.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004) Adaptado.

Entonces, como se puede ver en el gráfico anterior, si se conoce la suma de volúmenes vehiculares de los carriles críticos (V_c) y el número de fases esperadas, es factible estimar el número de carriles necesarios y longitud del ciclo idónea (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Cabe resaltar lo siguiente: La metodología expuesta anteriormente, para determinar el número de carriles, es aproximada y sólo sirve como punto de inicio, para el

diseñador, dado que el proceso es iterativo y el diseño final debe ser comprobado por la metodología del HCM 2000 (Roess, Prassas, & McShane, 2004). El segundo evidencia a las hipótesis usadas, es decir que los valores típicos del *intervalo de tiempo promedio entre vehículos en movimiento en la misma dirección* (h) y *tiempo perdido en la fase* (t_L) fueron elaboradas para contextos Norteamericanos (Fuente propia).

2.4.1.2. Fases del semáforo: Breve descripción.

La fase del semáforo es una componente del ciclo del semáforo y consiste en un intervalo de tiempo de verde, más los intervalos de ámbar y rojo. Además, de configurar un conjunto de intervalos de tiempo que permiten un movimiento específico para vehículos o peatones. Asimismo, previene o resuelve los conflictos presentes en una intersección: un cruce con seguridad para los usuarios (Roess, Prassas, & McShane, 2004)²². Las fases del semáforo pueden ser plasmadas en un diagrama, el cual ilustra varios movimientos vehiculares y peatones. A continuación, en la Figura 15 y Figura 16, se presenta un ejemplo expuesto en la información de Schoon, para una intersección típica de una vía principal (VP) y una vía secundaria (VS) controlada por semáforos vehiculares y peatonales.

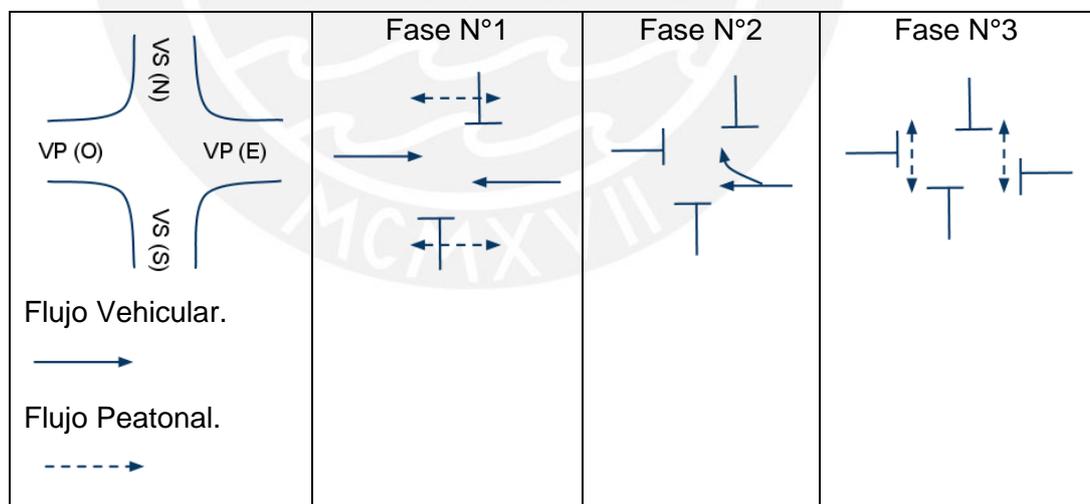


Figura 15: Diagrama de fases para una intersección compuesta de una vía principal (VP) y una vía secundaria (VS).

Fuente: (Schoon, 2010)²⁰

²² Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). Traffic Engineering. In R. P. Roess, New Jersey, USA: Pearson. Pag 471.

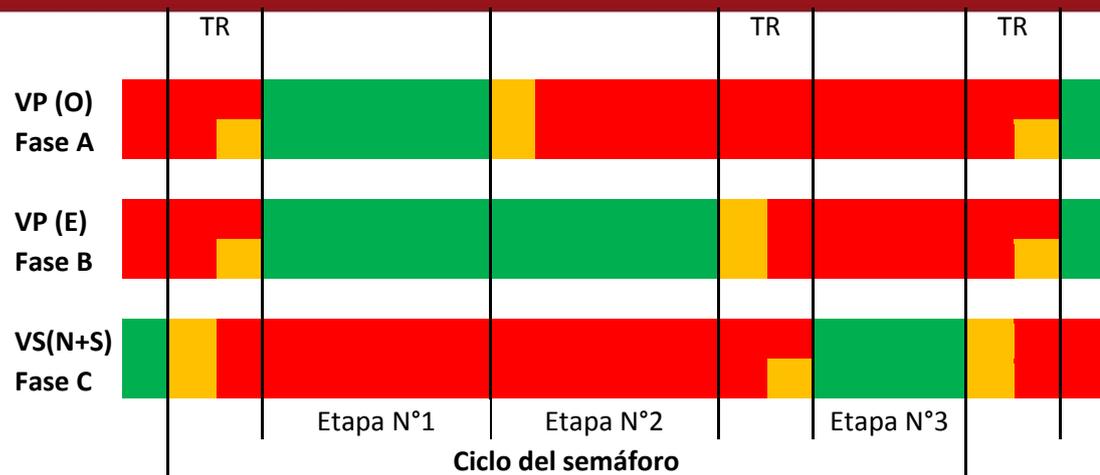


Figura 16: Ciclo del semáforo para la intersección señalada anteriormente.

Fuente: (Schoon, 2010)²³

Según Schoon, en la Figura 15, se puede ver un esquema de la intersección y los diagramas de fase, los cuales muestran los movimientos permitidos tanto para vehículos y como para peatones según las tres diversas fases. Así mismo, en la Figura 16, se presentan estas tres fases en el tiempo y su correlación con las señales semafóricas. Schoon, resalta el intervalo de tiempo, entre el inicio y fin del verde de cada una de las fases, como un periodo llamado *intergreen* o también llamado *todo rojo* (TR) (Schoon, 2010)²⁰.

2.4.2. Desde el punto de vista de la movilidad.

El diseño de las fases y tiempos del semáforo, en la mayoría de veces, están enfocados a mejorar el nivel de servicio vehicular y el tiempo restante está asignado a la circulación de peatones y discapacitados. Es por ello que se observa en las calles, a los peatones acelerando el paso mientras están cruzando la calzada. Entonces, en temas de seguridad y comodidad, el tiempo del semáforo, para el peatón, es crucial. (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004)²⁴.

2.4.2.1. Opciones de sincronización para los cruces peatonales y la configuración geométrica de una intersección.

Las opciones de señalización semafórica, para cruces peatonales, pueden ser divididas en la combinación de la configuración del tiempo del semáforo y

²³ SCHOON, John G. (2010) "Pedestrians facilities: Engineering and geometric design" Thomas Telford, Pag. 176-177

²⁴ . SANZ, M. MATEOS, A. SÁNCHEZ Y C. CAPARRÓS; "Cuaderno de intervención peatonal", A PIE Asociación de viandantes, 2004, Pag.11

geometría de la intersección. Esta división se muestra a continuación en la Tabla 7 (Schoon, 2010)²⁵:

Tabla 7: Tipos de cruces peatonales en intersecciones controladas por semáforos.

Tipo de cruce	Características principales.
Sin semáforo peatonal	<ul style="list-style-type: none"> • Los semáforos vehiculares crean espacios suficientes entre el tráfico lo cual ayuda a cruzar a los peatones.
Íntegramente peatonal	<ul style="list-style-type: none"> • Todo el tráfico vehicular se detiene para dar paso a los peatones. • Se puede solicitar el paso de peatones mediante el accionar de un botón el cual da la luz verde para peatones. • Mayor retraso para los vehículos, que en el caso combinado vehículo/peatón.
Peatonal paralelo	<ul style="list-style-type: none"> • Combina el caso vehículo/peatón acompañado por la restricción de movimientos vehiculares. • Útil para cruces en calles de un solo sentido vehicular.
Escalonado	<ul style="list-style-type: none"> • Los peatones cruzan por la mitad de la acera. • Se requiere un separador central largo y ancho.
Desplazado	<ul style="list-style-type: none"> • Para intersecciones las cuales está cerca de superar su capacidad. • Los cruces se colocarán a una distancia de 50.0m. de las intersecciones.

Fuente: (IHT, 1997) Adaptado.

A continuación se presentará diagramas que ilustran la clasificación mostrada en la Tabla 7:

²⁵ SCHOON, John G. (2010) "Pedestrians facilities: Engineering and geometric design" Thomas Telford, Pag. 177

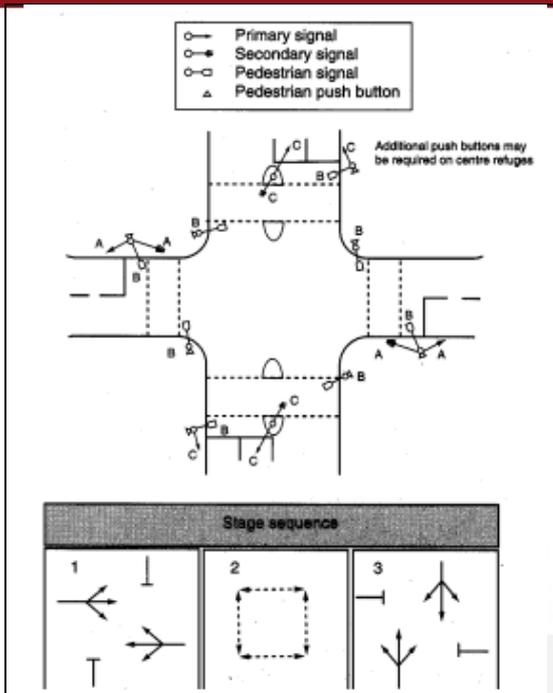


Figura 17: Crucero íntegramente peatonal.
Fuente: (Transport Research Laboratory, 1996)²⁶

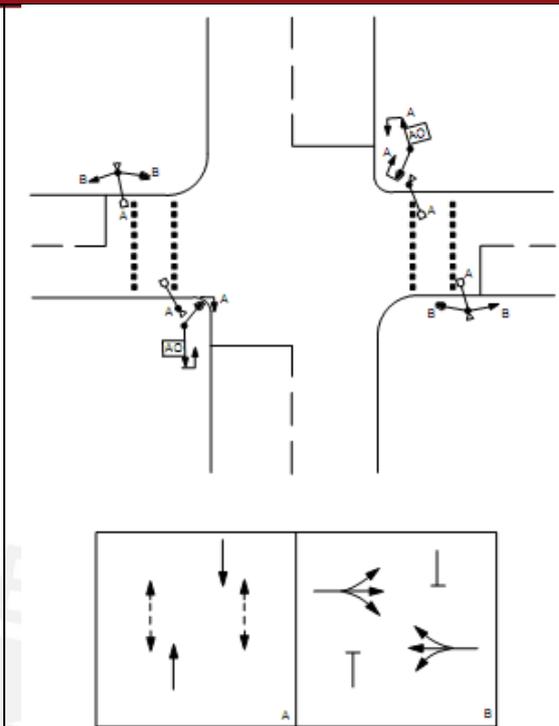


Figura 18: Crucero peatonal paralelo.
Fuente: (Highways Agency, 2010)²⁷

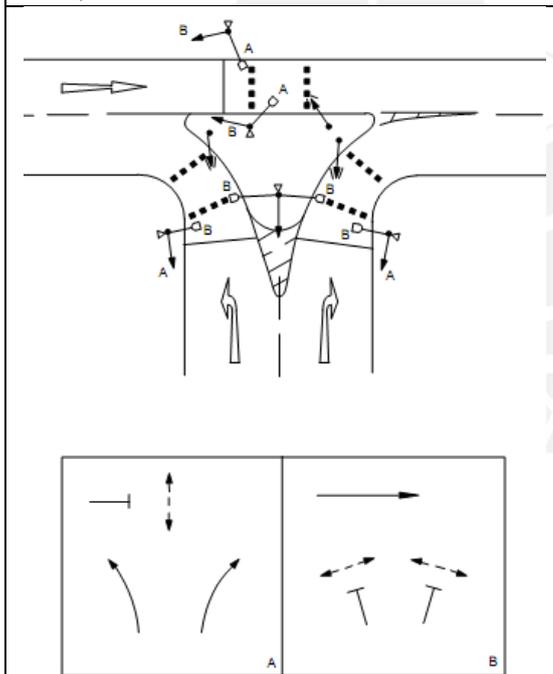


Figura 19: Crucero peatonal paralelo - Intersección en "T" de un solo sentido.
Fuente: (Highways Agency, 2010)

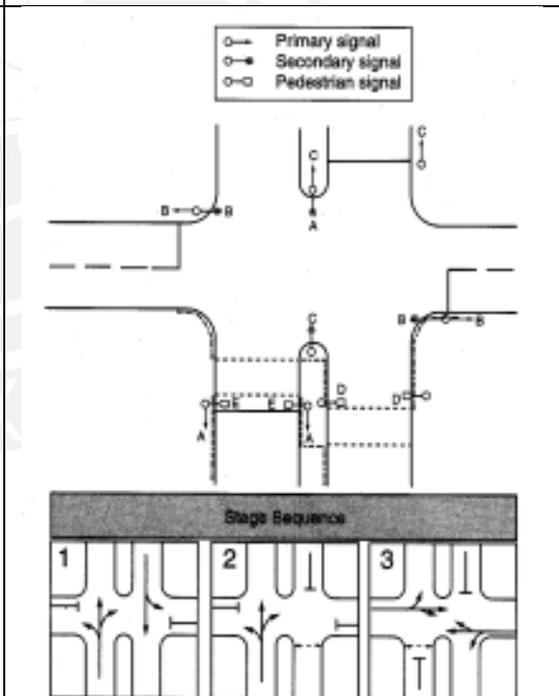


Figura 20: Crucero peatonal escalonado.
Fuente: (Transport Research Laboratory, 1996)

²⁶ Transport research laboratory TRL (1996), *The use of traffic signals in developing cities*, United Kingdom, Pag 11 – 15.

²⁷ Design Manual for Roads and Bridges DMRB (2010), *Pedestrian facilities at traffic signal installations*, London, Pag 13 – 17.

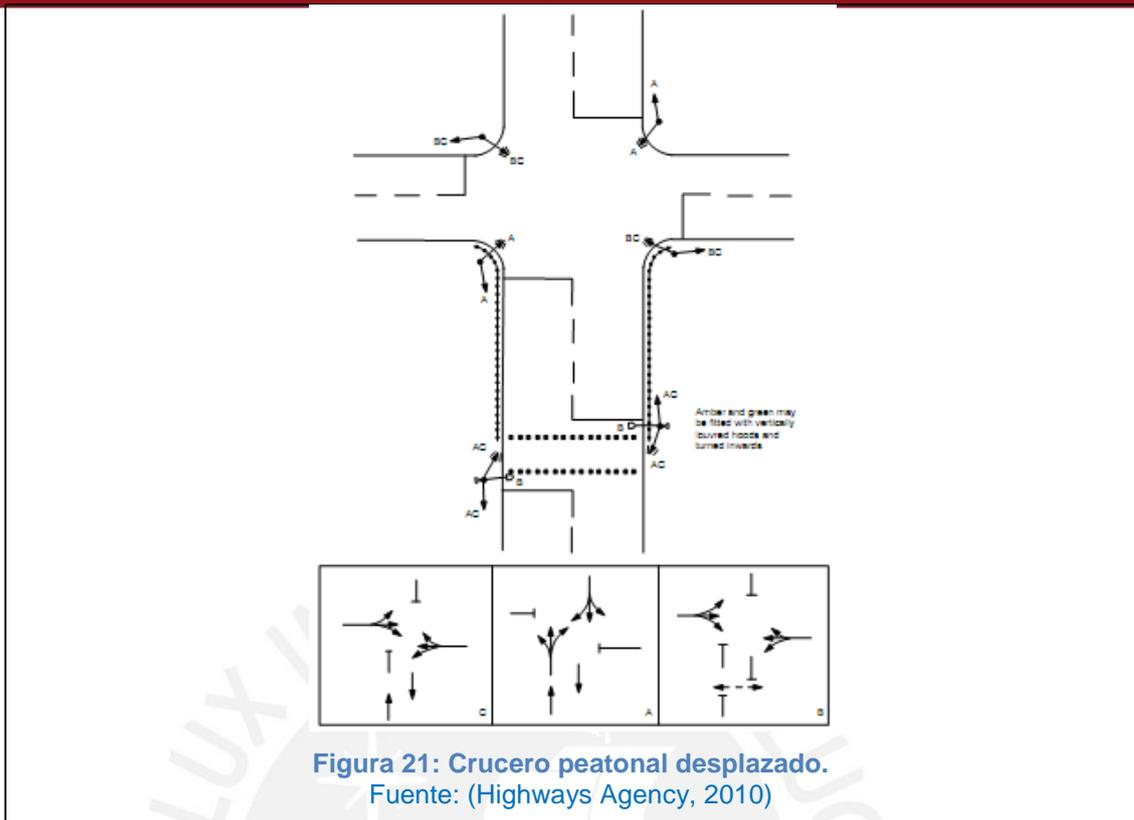


Figura 21: Cruce peatonal desplazado.
Fuente: (Highways Agency, 2010)

En la siguiente tabla, se presenta la leyenda de símbolos usados entre la Figura 17 a Figura 21.

Tabla 8: Leyenda de símbolos para los diagramas de cruces peatonales.

Símbolo	Semáforo
	Principal (Transport Research Laboratory, 1996)
	Secundario (Transport Research Laboratory, 1996)
	Peatonal (Transport Research Laboratory, 1996)
	Botón accionante del semáforo peatonal (Transport Research Laboratory, 1996)
	Barreras que dirigen el paso peatonal (Highways Agency, 2001) ²⁸
	Zona de cruce peatonal.

Fuente: (Transport Research Laboratory, 1996) (Highways Agency, 2001)

Adaptado.

²⁸ Highway Agency, (2001), *Specifications for traffic signals*, Revisado 7 de marzo 2011. Inglaterra, Appendix C

La Figura 17, el autor, hace énfasis en uso de botones accionantes del semáforo peatonal en los refugios centrales (separador central) (Transport Research Laboratory, 1996)

En la Figura 21, se indica que los cruceros deben ser provistos de alarmas que avisen a los peatones el tiempo de cruce (Highways Agency, 2010).

2.4.2.2. Consideraciones para los semáforos peatonales.

Los criterios para colocar un semáforo peatonal son los siguientes (Schoon, 2010)²⁹:

- Un alto número de peatones que desean cruzar la intersección.
- Un corto intervalo de tiempo, entre vehículos que cruzan la intersección (headways), junto con un mínimo número de peatones.
- Alto número de accidentes de tránsito que involucran peatones.
- Políticas o planeamiento orientado a que las personas caminen.

2.4.2.3. Tipos de semáforos peatonales.

Los semáforos, de los cruceros peatonales, se pueden clasificar según su funcionamiento de la forma la cual presentamos a continuación (Instrucción de vía pública, 2000) y (Schoon, 2010):

- Funcionamiento automático: Estos semáforos no pueden ser modificados por los peatones (Instrucción de vía pública, 2000).
- Funcionamiento manual (*Pelican: Pedestrian Light Controlled*): Los peatones presionan un botón con el fin de que el semáforo muestre el verde para los peatones (Instrucción de vía pública, 2000) y (Schoon, 2010).
- Semáforo tipo *Puffin (Pedestrian User-Friendly Intelligent)*: Este tipo de semáforo funciona igual que el *Pelican* y además incorpora sensores los cuales detectan la presencia de peatones que esperan en la vereda para cruzar (Schoon, 2010).
- Semáforo tipo *Toucan (Two Can)*: Está diseñado para ser usado tanto por peatones y ciclistas. Su desempeño es similar al *Puffin* (Schoon, 2010). Se recomienda su uso para anchos de calzada mayores a 4.0m.

²⁹ SCHOON, John G. (2010) "Pedestrians facilities: Engineering and geometric design" Thomas Telford, Pag. 173.

Para las intersecciones controladas por semáforos el RACC³⁰ postula cambiar el típico paso de cebra, por líneas discontinuas en cada extremo designado para el cruce de peatones y discapacitados. Dicha separación debe de estar entre 3.00m a 5.00m (RACC, 2004). A continuación se ilustra dicha idea:



Figura 22: Propuesta del RACC, para cruces, en intersecciones controladas por semáforos.

Fuente: (RACC, 2004)

En el capítulo de intersecciones no controladas por semáforo, la movilidad estipula una velocidad de peatón de entre 0.7m/s a 1m/s (Ver 2.3.2). Entonces, si tomamos 0.7m/s como referencia, el tiempo de verde peatonal mínimo, aproximado, es de 1.43seg. por cada metro de calzada. A PIE recomienda adicionar de 3 a 5seg. debido a que se debe de considerar el tiempo de reacción del peatón. Además, se debe situar la línea de pare de los vehículos, a una distancia mayor a 1.00m con respecto a la línea de paso peatonal. Por otro lado, el tiempo de rojo peatonal, también es importante ya que, para tiempos mayores a 80seg. el peatón experimenta sensación de incomodidad e incluso deduce que el semáforo peatonal no está operando correctamente. El efecto inmediato de esta situación es que el peatón intente cruzar cuando semáforo está en rojo para peatones. Es por ello que A PIE recomienda que el tiempo de rojo peatonal no exceda los 60seg. (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004).

El uso de los pasos peatonales controlados por semáforos, se debe de implantar en los siguientes contextos (Instrucción de vía pública, 2000):

³⁰ RACC Automóvil Club - Fundación, "Criterios de la Movilidad en Zonas Urbanas", Cataluña, 2004. Pag18

- Cuando el paso de cebra no brinda la protección necesaria al peatón o discapacitados para cruzar.
- Cuando la gran cantidad de peatones interrumpen, por largos periodos de tiempo, el flujo vehicular generando colas.
- No se podrá colocar pasos de cebra, sin control por semáforo, si la intersección tiene cuatro o más carriles.

Se recomienda proveer de pasos peatonales en todas las intersecciones que sea controladas por semáforos bajo los siguientes casos (Instrucción de vía pública, 2000)³¹:

Tabla 9: Casos recomendados para el uso de cruces peatonales controlados por semáforos.

CASO	Peatones	Vehículos
Caso I	Más de 150ped/h durante 8 horas diarias	
Caso II	Más de 150ped/h durante 8 horas diarias	Más de 1000 veh/h
Caso III	Más de 250 ped/h	Más de 600 veh/h
Caso IV	400 ped/h	400 veh/h

Fuente: (Instrucción de vía pública, 2000) Adaptado.

2.4.3. Influencia de los sistemas de control urbanos en el diseño geométrico de intersecciones controladas por semáforos.

En general la implementación o no de los sistemas urbanos de control de tráfico afectan mayormente al tiempo del semáforo y, por consiguiente, la frecuencia y tiempo de verde en semáforo peatonal. Así mismo, reducir el tiempo de retraso vehicular incrementa el tiempo de retraso en el semáforo peatonal (Schoon, 2010). A continuación, se presentan diferentes opciones relacionadas con el diseño geométrico de intersecciones, las cuales mejoran el cruce peatonal (Schoon, 2010):

- La ampliación de la zona de cruce para peatones, en los lugares que se pueda ampliar la capacidad, conlleva a una reducción del tiempo de verde peatonal.

³¹ Ayuntamiento de Madrid. "Ficha 5.5 Intersecciones y pasos peatonales" ,Área de Gobierno de Urbanismo y Vivienda: Ayuntamiento de Madrid. Recuperado el 27 de Enero de 2011, Pag6,de sitio Web Ayuntamiento de Madrid: www.madrid.es

- La reubicación o remoción de mobiliario urbano (postes para semáforos, postes de iluminación pública, etc.) permite un flujo peatonal máximo.
- Se puede demostrar que el uso de cruces peatonales de forma diagonal es aceptable según la zona urbana (generalmente en zonas residenciales).
- El uso de detectores peatonales incrementan el periodo de verde peatonal. Además, mejora la eficiencia del uso del espacio entre vehículos (gap vehicular) para el cruce de peatones.

2.5. Elementos de canalización para vehículos que se aproximan a una intersección.

2.5.1. Principios generales.

2.5.1.1. Desde el punto de vista del transporte.

La canalización de los vehículos se realiza mediante dos métodos típicos: Uno de ellos es el marcado del pavimento con pintura adecuada para el mismo. Otra forma es usar islas de canalización sobre el pavimento (Roger P. Roes, 2004). El *ASSHTO Policy on Geometric Design of Highway and Streets* enumera diversas razones por las que la canalización es importante entre ellas tenemos las siguientes:

- Cuando el ancho del pavimento se reduce, amplía o tienen formas ondulatorias el flujo debe ser controlado mediante la canalización.
- Se debe de dar prioridad a los movimientos vehiculares preponderantes.
- Áreas exclusivas para peatones, donde se puedan refugiar, deben ser provistas.
- Carriles exclusivos, para giros a la derecha o izquierda, deben ser señalados con el fin de que los vehículos puedan alinearse uno detrás del otro sin interrumpir el flujo que va de frente.
- Permitir o prohibir giros.
- Para colocar señales de tránsito.
- Reducir la velocidad de circulación.

Roger P. Roes indica que la canalización depende de muchos factores como el estado del terreno, visibilidad, demanda y costo. Además de que se puede usar como medida complementaria a las señales de tránsito (2004).

2.5.1.2. Desde el punto de vista de la movilidad.

Los elementos que se usan para la canalización del flujo vehicular también poseen la función de zonas de protección o resguardo de los peatones, los cuales desean cruzar una intersección. Es por ello que el uso de “isletas” ayuda a peatones y discapacitados a cruzar intersecciones. Asimismo, estos elementos reducen el ancho de la calzada y el efecto inmediato se produce en la reducción de la velocidad de los vehículos (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004) (RACC, 2004) (Oregon Department of Transportation, 2007).

Las recomendaciones para el dimensionamiento de las isletas se presentan a continuación (Oregon Department of Transportation, 2007)³² (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004) (SEDUVI, 2007):

- Se recomienda que el ancho de las islas deben ser de (8.0 pies) 2.40m y como mínimo 1.80m (Oregon Department of Transportation, 2007).
- Se deben de colocar “islas” intermedias, en los pasos peatonales, para ancho de calzada de 14.00m o más (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004).
- Se recomienda colocar “islas” en pasos peatonales, para calzadas de tres carriles (Sanz, Mateo, & Caparrós, 2004).
- Se debe colocar rampas de acceso para discapacitados con una pendiente máxima de 8% (SEDUVI, 2007) y (Schoon, 2010)

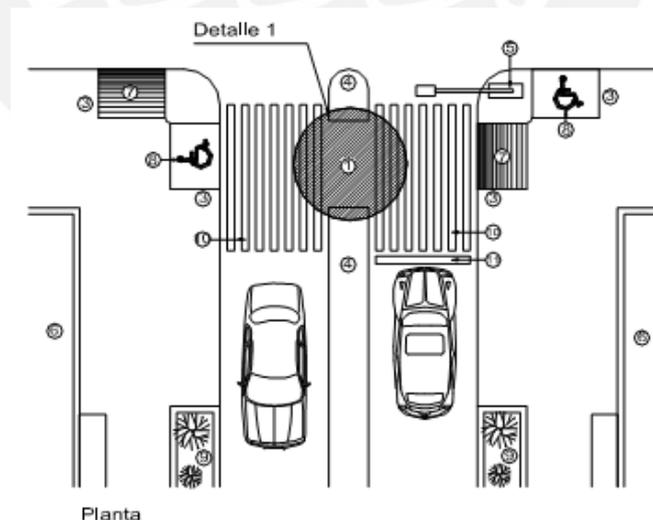


Figura 23: Cruce peatonal en una intersección, la cual considera *islas de refugio* y rampas de acceso, para personas discapacitadas.

Fuente: (SEDUVI, 2007)

³² OREGON DEPARTMENT OF TRANSPORTATION, 2007 December, “Chapter 6th Intersections” Oregon Bicycle Pedestrian Plan, Retrieved February 10th 2011, Page 4.

Detalle 1

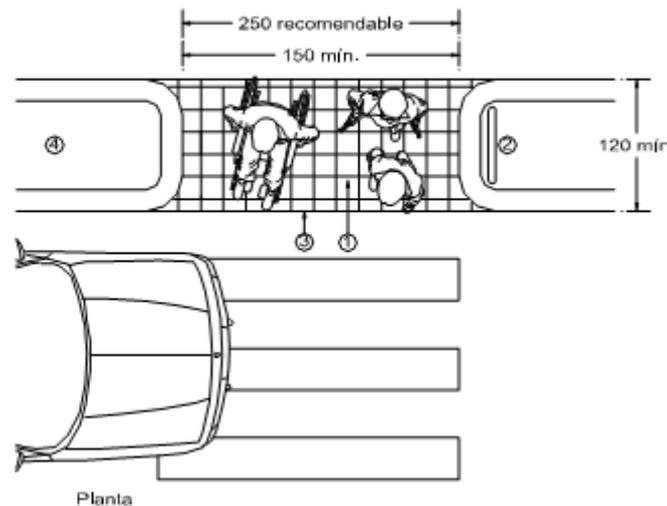


Figura 24: Detalle de la *isla de refugio* perteneciente a la intersección de la figura anterior.

Fuente: (SEDUVI, 2007)

2.5.2. Canalización de los giros a la derecha.

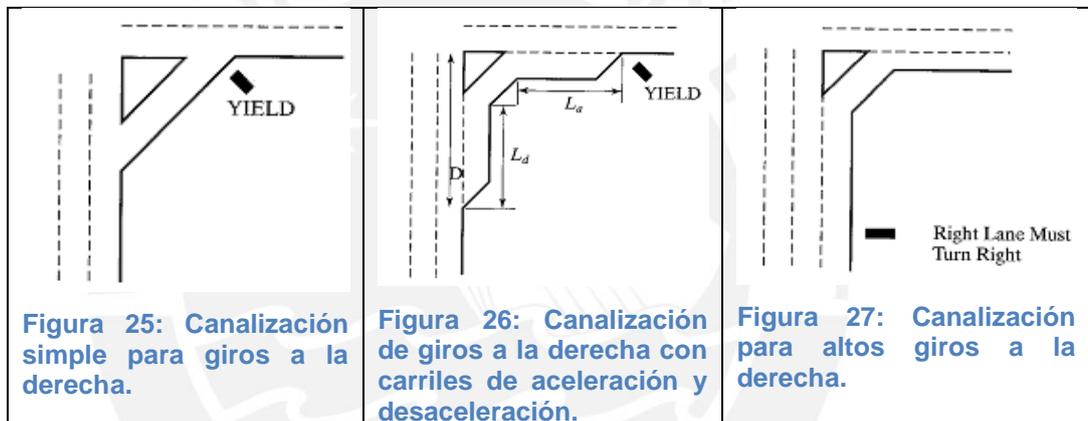
Según Roger P. Roes, se recomienda canalizar las intersecciones controladas por semáforo, si es que existe espacio, por las siguientes razones (2004):

- En las intersecciones, donde el giro a la derecha posee un carril exclusivo, se cuenta con el beneficio de mejorar el flujo vehicular que gira a la derecha y de dar mayor libertad al flujo que viene por detrás.
- Los giros canalizados a la derecha deben ser controlados mediante señales de *ceda el paso*.

A continuación se mostrarán tres casos propuestos y analizados por Roger P. Roes.

- En Figura 25 se tiene una canalización simple para giros a la derecha la cual tiene dos aspectos negativos claros los cuales se detallan a continuación:
 - Los vehículos que van de frente pueden bloquear el acceso al carril de giro a la derecha cuando se da la fase de luz roja.
 - En la fase de luz verde, para altos volúmenes de giros a la derecha, los vehículos que giran bloquean o limitan el flujo vehicular que va de frente por el carril derecho.

- En la Figura 26 se muestra la canalización de giros a la derecha con carriles de aceleración y desaceleración. Si los carriles están apropiadamente diseñados en su longitud se tiene los siguientes efectos:
 - Se suprime o minimiza considerablemente las colas producidas por bloqueo a los vehículos que van de frente o los que giran a la derecha.
- En la Figura 27 se puede ver la canalización, para una demanda de 500Veh/h o más que giran a la derecha. Dicho acceso cuenta con un carril exclusivo, el cual permite realizar el giro, y otro que ayuda a salir del acceso e integrar al vehículo al flujo inmediatamente. Para que dicha canalización sea efectiva se debe tener la siguiente consideración: la señal de giro permitida a la derecha debe ser anunciada como mínimo 300m. Antes de llegar a la intersección.



Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

CAPÍTULO 3. CONDICIONES ESPECIALES EN LAS INTERSECCIONES URBANAS

Una intersección puede estar configurada de diferentes formas, debido a su geometría o por el contexto que han sido diseñadas, es por ello que existen casos particulares, los cuales necesitan un tratamiento especial. A continuación se enuncian estos casos.

- Intersecciones con ángulos menores de 60° o más de 120°
- Intersecciones en T.
- Tratamientos especiales para altos volúmenes de giros a la izquierda.

3.1. Intersecciones con ángulos menores de 60° y más de 120°.

Las intersecciones controladas por semáforos o no controladas por ellos, son más eficientes cuando están a 90°. Sin embargo, hay casos, atípicos, en los cuales se debe de diseñar o analizar cruces con ángulos menores a 60° y mayores a 120° las cuales presentan un estudio particular debido a que la interpretación de las distancias y señales, para un conductor, es diferente a la típica intersección a 90° (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

Una intersección, en ángulo agudo u obtuso, presenta problemas de seguridad, para el usuario, cuando no es controlada por señales y, la aproximación a la intersección, permite altas velocidades. Este caso es típico en las carreteras rurales (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

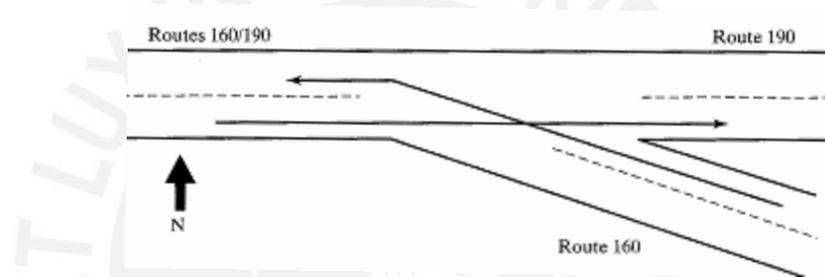


Figura 28: Intersección en ángulo agudo / obtuso.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

Asimismo Roger P. Roes, indica lo que para el contexto urbano, una intersección de cuatro accesos, presenta problemas similares a los antes mencionados, su solución es evitar el ángulo agudo con el que llegan sus accesos a la intersección. Otra medida que se puede optar, es convertir la intersección en dos intersecciones como se ilustra en la siguiente Figura 29. (2004).

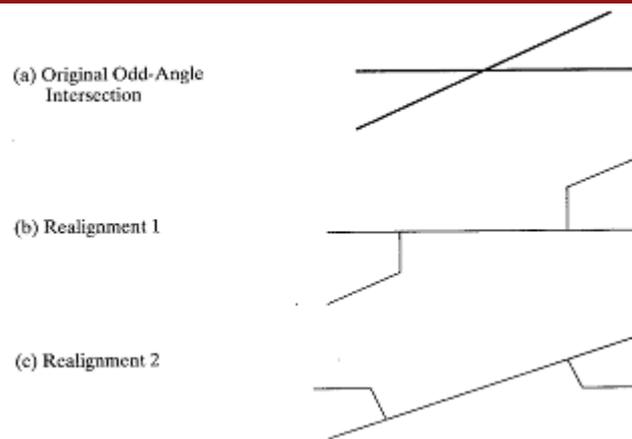


Figura 29: Soluciones para las intersecciones en ángulos agudos / obtusos.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

Cuando una vía principal se presenta como impedimento para realizar el cambio del trazo de la vía, con el fin de evitar el ángulo agudo, se debe recurrir a medidas de control que trabajen en conjunto con la canalización, semaforización y señalización (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Finalmente, la solución, la cual en última medida se debe optar, es el intercambio a nivel, debido a todas las externalidades negativas que esta conlleva: Tales como mayores costos en la infraestructura, contaminación del aire, visual y ruido. Además, de la inminente depreciación de los terrenos cercanos (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

3.2. Intersecciones en T.

Las intersecciones en T tienen las siguientes ventajas, en comparación a las intersecciones de cuatro accesos, según Roger P. Roes (2004):

- Las intersecciones en T poseen 6 movimientos menos que una intersección de cuatro accesos.
- Las intersecciones en T trabajan con 3 crucesos peatonales.
- Solo existe un movimiento que entra en conflicto con un giro a la izquierda.
- Los vehículos que van de frente sólo tienen un punto en conflicto: Conflicto entre los que van de frente y los que giran a la izquierda.

Las formas de controlar este tipo de intersecciones son las siguientes.

Tabla 10: Medidas de control para intersecciones en forma de "T".

Medidas de control	Parámetros.
Reglas básicas de las intersecciones	Se debe de optar por esta medida sólo si la visibilidad en la intersección es adecuada y los volúmenes vehiculares son bajos.
Señales de Pare y Seda el Paso	<p>No se colocará la señal de <i>Seda el Paso</i> en la vía principal (MUTCD³³, 2000)</p> <p>La señal de <i>Pare</i> en función de cuál es la vía dominante.</p> <p>Por ejemplo, en una vista en planta, se colocará una señal de <i>Pare</i> si la rama vertical que llega a la intersección en T es la vía secundaria. Se colocarán dos señales de <i>Pare</i> si las ramas horizontales no son las vías principales.</p>
Semáforos.	<p>Se sugiere colocar una fase de giro a la izquierda protegida cuando se presenta lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • El volumen vehicular de este movimiento es igual o mayor a 200 veh/h. • El producto del volumen vehicular de giros a la izquierda y los que van de frente opuestos al movimiento es mayor de 50000 (a dimensional) <p>Si no se necesita un giro a la izquierda protegido se usará lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un semáforo de dos fases (giros a la izquierda permitidos) <div style="text-align: center;"> </div> <p>Si el giro a la izquierda debe de ser protegido y no hay posibilidad de un carril exclusivo para el giro se recomienda lo siguiente:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Un semáforo de tres fases (giros a la izquierda protegidos) <div style="text-align: center;"> </div>

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

En la siguiente Figura 30, muestra un ejemplo de una intersección tipo "T".

³³ Manual of Uniform Traffic Control Devices, Edición del Milenio, Administración Federal de Carreteras, U.S.A. Departamento de transporte, 2000.

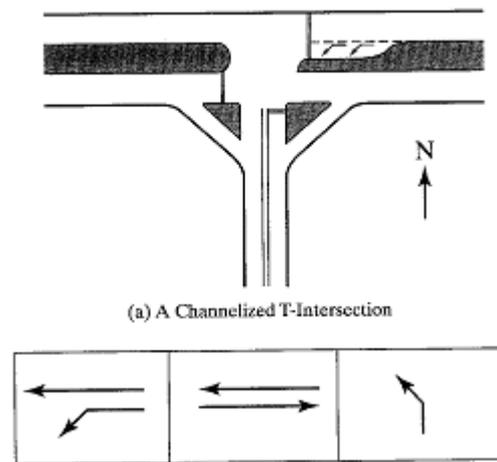


Figura 30: Ejemplo de intersección en forma "T"

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004)

3.3. Intersecciones desplazadas.

Las intersecciones desplazadas como la que vemos en la Figura 31 suelen presentar mayores problemas que las de 90° por las siguientes razones (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

- El conductor tienen un campo visual menor que en una intersección a 90°, la cual le impide ver a los vehículos que van perpendicular a su dirección.
- Los vehículos tienen que recorrer una mayor distancia, al entrar y salir de la intersección, comparado con una intersección a 90°.
- Las intersecciones desplazadas no han sido planeadas o diseñadas, sino, en la mayoría de casos, responden a planos arquitectónicos y urbanísticos antiguos.

3.3.1. Problemas de las intersecciones desplazadas a la derecha.

Existen dos grandes problemas típicos en las intersecciones desplazadas las cuales se explica a continuación (Roess, Prassas, & McShane, 2004):

- El punto en conflicto, entre el giro a la izquierda y los vehículos que van de frente de la vía opuesta, se presenta con antelación si se compara con una intersección a 90°. Esta situación obliga a los vehículos que giran a la

izquierda a realizar una maniobra atípica, la cual consiste en abrirse levemente a la derecha antes de ejecutar el giro a la izquierda.

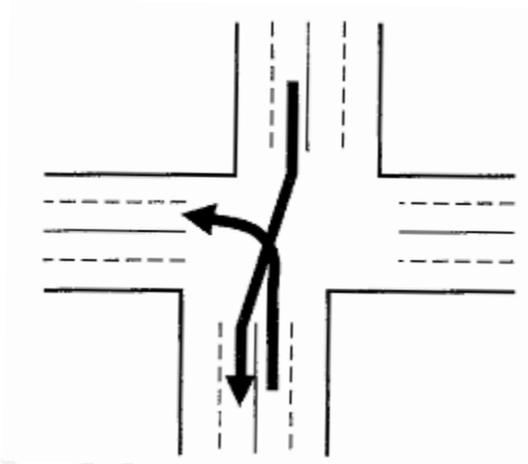


Figura 31: Problema de giros a la izquierda en intersecciones desplazadas a la izquierda.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Según Roger P. Roess, una forma de mitigar este problema es colocar una fase totalmente protegida para los vehículos que giran a la izquierda. De esta forma los giran a la izquierda no entran a la intersección al mismo tiempo de los que van de frente. Sin embargo, esto demanda carriles exclusivos, para realizar el giro, los cuales, no son fáciles de proveer. Otra forma es proveer una fase para cada uno de los accesos norte y sur, pero esto conlleva a una pérdida de eficiencia en la intersección. Finalmente, una opción recomendable es marcar la dirección de los carriles que atraviesan la intersección.

- El segundo problema está en los cruces peatonales, el cual es realizado de dos formas: Uno es el cruce perpendicular y el otro de forma diagonal. Este último presenta un problema debido a que el peatón debe de recorrer mayor distancia y los vehículos que giran se encuentran con las personas en una posición atípica.

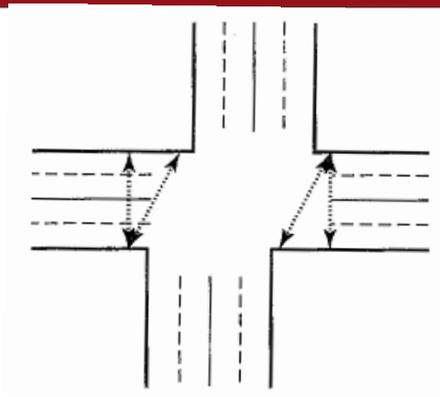


Figura 32: Trayectoria de los peatones al entrar y salir de una intersección desplazada a la izquierda.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Cabe resaltar, para la seguridad de los peatones, se debe marcar, claramente, la ruta que de los peatones deben de usar para atravesar la intersección. Dicha señalización influirá en el posicionamiento de las señales de *Pare*, *Ceda el Paso*, y semaforización vehicular o peatonal (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Un caso ligeramente diferente son las intersecciones desplazadas a la derecha. Entonces, se puede ver que los vehículos que giran a la izquierda aún entran en conflicto con los que van de frente y en dirección opuesta. Además, en el caso de que se opte por un cruce en diagonal de los peatones, los vehículos que giran a la derecha entrarán en conflicto con los peatones de forma atípica. En la siguiente figura se ilustra los contextos antes mencionados:

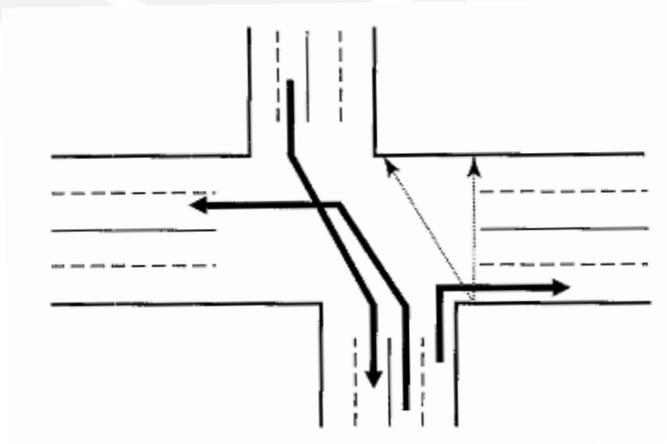


Figura 33: Conflictos en una intersección desplazada a la derecha.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

Como comentario final, Roger P. Roes, indica que las intersecciones desplazadas deben de evitarse. Adicionalmente, las medidas que el ingeniero de tráfico tendrá que considerar están orientadas a reducir la capacidad de la intersección, pero dicha situación es en post de mejorar la seguridad y reducir el impacto de los conflictos (2004).

3.4. Infraestructura para peatones en las rotondas (óvalos).

En la publicación de Schoon se señala que el objetivo de las rotondas, convencionales o mini rotondas, es minimizar el retraso vehicular, asegurar el intercambio vehicular y la seguridad en la intersección. Esto se logra cuando se relaciona el diseño geométrico con el volumen vehicular, la velocidad y el volumen, y necesidad peatonal. Por otro lado, las prioridades en los diseños de rotondas son básicamente para los vehículos y los peatones tienen una participación secundaria (Schoon, 2010)³⁴.

Los principales tipos de rotondas son las siguientes: Las mini-rotondas, compactas, normales, a desnivel y las rotondas dobles (Schoon, 2010). Las recomendaciones acerca del diseño geométrico, la velocidad de diseño, el flujo vehicular y la demanda de los agentes no motorizados se desarrollan en la literatura del Departamento de Transporte de Londres (Highways Agency , 2007) (Schoon, 2010).

3.4.1. Tipos de rotondas.

Los principales tipos de rotondas son las normales, mini rotondas y las rotondas dobles. Este tipo de rotondas sirven de base para otras variaciones como son las intersecciones anillo las rotondas a nivel y las rotondas controladas por semáforos (Schoon, 2010). A continuación detallaremos los tres tipos básicos de rotondas.

Nota importante: las ideas postuladas en la publicación *Pedestrian Facilities* de Schoon y los gráficos del *Highways Agency* fueron creados bajo el contexto de que el conductor maneja su vehículo, con el timón a la derecha, debido a que siguen las normas de transporte del Reino Unido.

- **Rotondas normales:** Se caracteriza por tener accesos de un solo carril y sentido, una parte central de un mínimo de 4.0m. de diámetro y líneas de guía múltiples tanto para la entrada y salida de la rotonda (Schoon, 2010).

³⁴ SCHOON, John G. (2010) "Pedestrians facilities: Engineering and geometric design" Thomas Telford, Pag. 217 - 218.

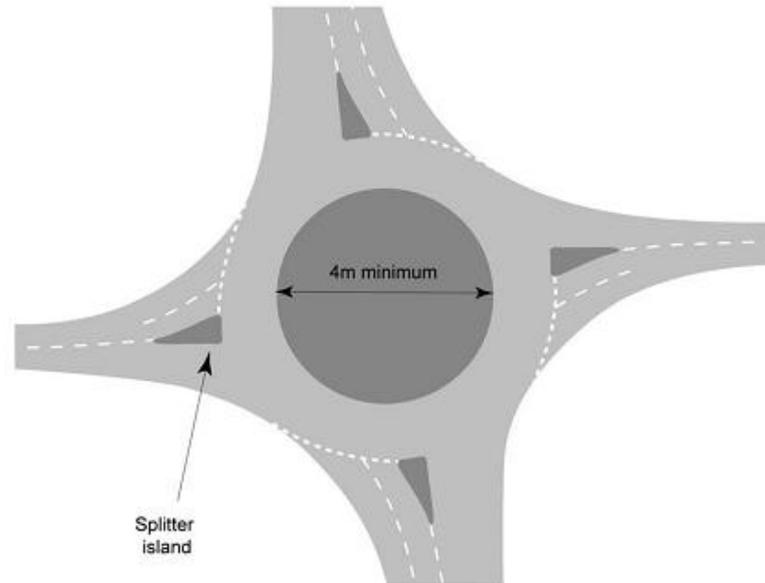


Figura 34: Rotondas normales.

Fuente: (Highways Agency, 2007)³⁵

En la Figura 34, se resalta el diámetro mínimo de 4.0m., en la parte central, y la colocación de las islas de divisorias de los flujos vehiculares.

- **Mini rotondas:** En lugar de una isla central, tal como la tiene las rotondas normales, este tipo posee una protuberancia circular, tipo bóveda, de un diámetro entre 1.0m. a 4.0m. Las mini rotondas serán desarrolladas en mayor detalle en el siguiente acápite. A continuación se presenta la figura que ilustra este tipo de rotondas.

³⁵ Highways Agency. (2007, August). *Geometric Design of Roundabouts TD16/07*. Retrieved March 12, 2011, from website Highways Agency - DMRB Vol 6, Secc 2, Part 3. Pag 3/1

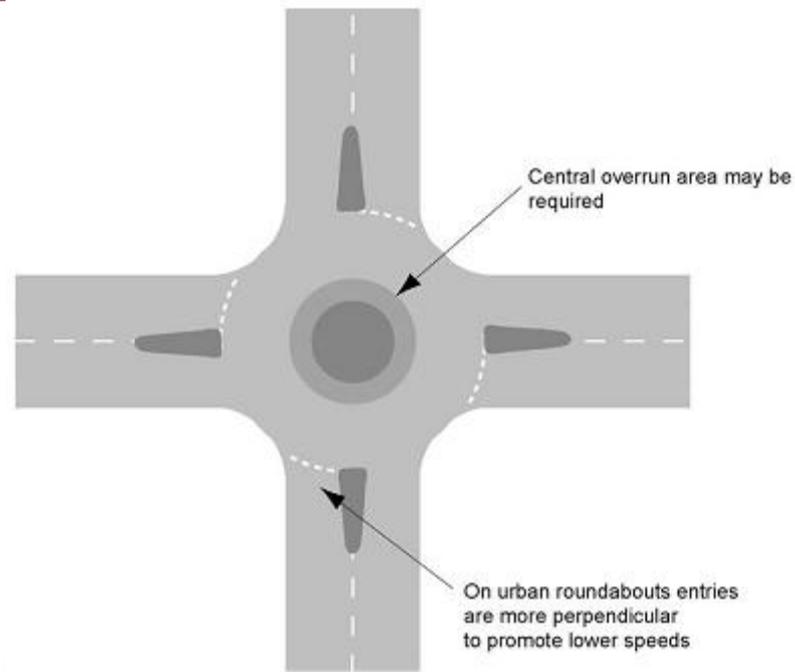


Figura 35: Mini rotonda.

Fuente: (Highways Agency, 2007)

En la Figura 35, se indica que en la parte central es necesaria una berma en forma de anillo. Además, se señala que en las rotondas urbanas las aproximaciones a la intersección son más perpendiculares que una rotonda normal con el fin de reducir la velocidad de los vehículos (Highways Agency, 2007). En la siguiente figura se muestra una fotografía de una mini rotonda ubicada en el Reino Unido:



Figura 36: Fotografía de una mini rotonda.

Fuente: (Wikipedia, 2011)

- **Rotondas dobles:** Se caracteriza por ser una intersección con dos rotondas y unidas solo por un corto tramo de calzada. Las rotondas que se puede combinar son mini rotondas, compactas o normales. En la siguiente figura se ilustrará este tipo de rotondas.

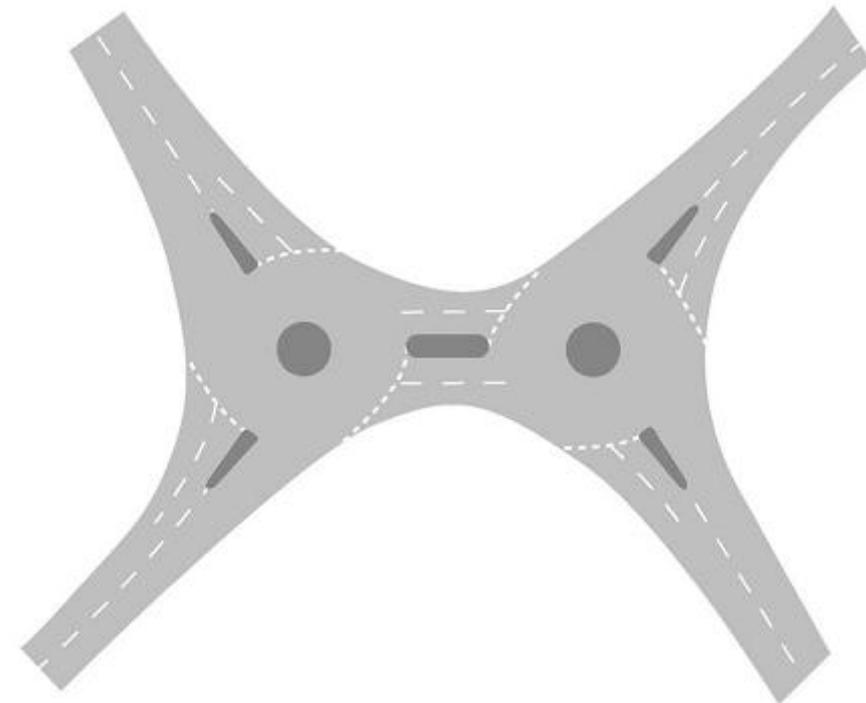


Figura 37: Rotonda doble.

Fuente: (Highways Agency, 2007)

De estos tres tipos básicos de rotondas se derivan otros diseños como son las rotondas compactas, las separadas a nivel y las controladas por semáforos (Schoon, 2010).

- **Rotondas compactas:** Se caracterizan por tener accesos de un solo carril destinados para la circulación de un solo vehículo. El diseño y planificación buscan priorizar los límites de velocidad de los vehículos. Entonces, para velocidades mayores a 40.0 mi/h (≈ 64 Km/h) el diseño de rotondas compactas es similar al de las rotondas normales, pero se debe de preservar el número de carriles a uno (Schoon, 2010). Una ilustración de esta rotonda se puede ver en la Figura 34.
- **Rotondas separadas a nivel:** Se caracterizan por tener, por lo menos, una de las vías de accesos a nivel. Son comúnmente utilizadas en las autopistas (Schoon, 2010).

- **Rotondas controladas por semáforos:** Una o más de las vías que se aproximan a dicha rotonda están controladas por semáforos (Schoon, 2010).

3.4.2. Ubicación de las rotondas.

Existe un gran número de factores importantes a considerar para la ubicación de rotondas. A continuación se enunciarán dichos agentes a tomar en cuenta (Schoon, 2010):

- Las rotondas facilitan el cambio de las vías. Es decir, por ejemplo, se permite la disminución de carriles de dos a uno o, para una vía a desnivel, se puede bajar a una vía a nivel mediante el uso de rotondas.
- Se usan para remarcar la entrada de una zona rural a una urbana. Además, se recomienda este uso cuando la pista rural continúa más no en caso contrario.
- Permite giros del tipo “U”.
- Facilita el alto flujo de giros a la derecha vehiculares.

Cabe señalar que, para vías de aproximación a la intersección de un solo carril, se puede usar las salidas de las rotondas como una oportunidad, para un vehículo, de adelantar a otro. Por otro lado, cuando se planifican varias rotondas en una misma ruta, éstas deben corresponder a un diseño similar (Schoon, 2010).

3.4.3. Requerimientos específicos para peatones en las rotondas.

En una rotonda, los peatones hacen uso de los siguientes medios o instalaciones para cruzar (Schoon, 2010):

- Cruce informal de peatones.
- Cruce por los pasos de cebra.
- Cruce en las zonas controladas por semáforos (semáforos tipo Pelican, Puffin o Toucan)
- Cruce mediante puentes peatonales u otro cruce peatonal a desnivel.

El pavimento táctil y las pendientes necesarias, para que las personas en sillas de ruedas puedan cruzar la calzada, deben ser considerados en el diseño de las rotondas (Department of Transport, 1995).

Las islas divisorias, como las que se muestran en la Figura 34, deben de ser usadas como refugio, para el cruce de peatones. Además, estas deben tener un

ancho mínimo de 1.20m. y un ancho recomendable de 2.5m. (Schoon, 2010), para mayor ampliación de este punto se sugiere ver el acápite sobre elementos de canalización: (Subtítulo 2.5.1.2).

En las rotondas, los crucesos peatonales (por ejemplo tipo cebra) no deben de estar cerca de la línea de ceda el paso (*give way line*) debido a que perjudica el funcionamiento de la rotonda y la seguridad en ella, para los peatones. Además, cuando se coloca una señal semafórica cerca de la línea de entrada a una rotonda, los conductores se pueden confundir con la línea de parada peatonal. Es por ello, que dicho caso se debe de complementar con marcas en el pavimento. El Reino Unido usa el Diagrama 1023, para complementar la línea de pare (Schoon, 2010). A continuación se ilustra lo indicado.

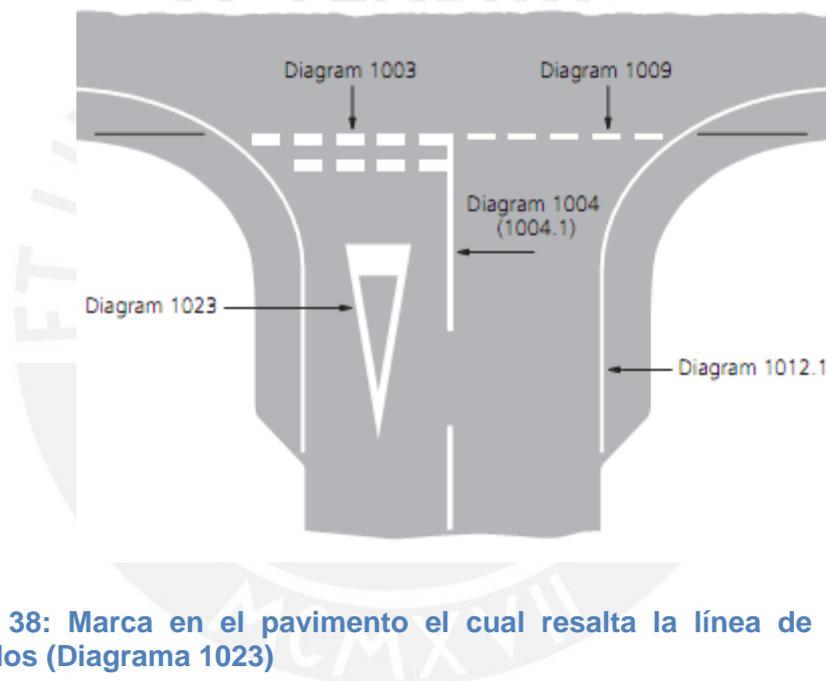


Figura 38: Marca en el pavimento el cual resalta la línea de parada para vehículos (Diagrama 1023)

Fuente: (Department for Transport, 2003)

Los crucesos peatonales, tipo cebra, deben, en lo posible, estar separados de la curva de entrada a la rotonda debido a que la consigna es que los peatones estén el menor tiempo posible en la calzada (Schoon, 2010). En la siguiente figura se ilustra la anterior idea.

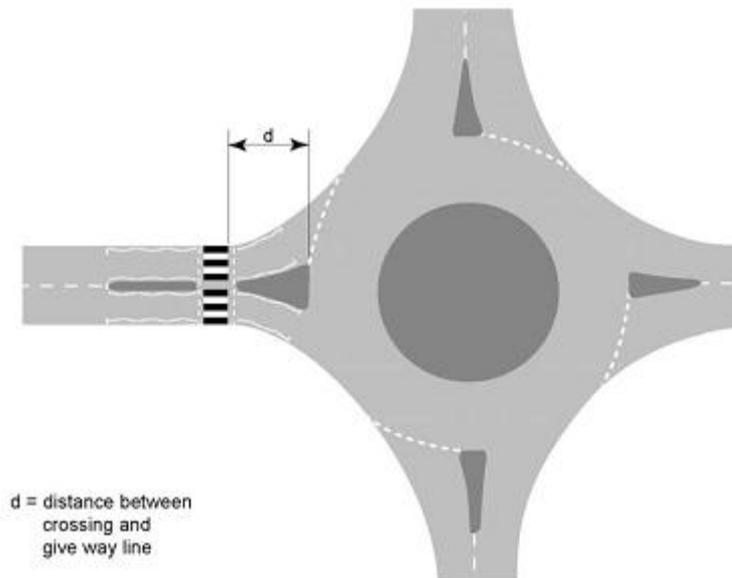


Figura 39: Ubicación del cruceo peatonal, tipo cebra, en el contexto de una rotonda.

Fuente: (Highways Agency, 2007)

En la Figura 39, se indica la distancia “d” como la distancia entre la línea de fin del cruceo peatonal y la línea de ceda el paso o entrada a la rotonda. A continuación se presenta la Tabla 11, en la cual se especifica parámetros generales, para ubicar crucesos de cebra a nivel y desnivel en los accesos a una rotonda.

Tabla 11: Predisposiciones para crucesos peatonales no controlados por semáforos en los accesos a las rotondas.

Tipo de cruceo	Distancia “d” (m)	Si la velocidad – Percentil 85 – es mayor a: (mi/h) [Km/h]	Observación
Cebra	De 5.0 a 20.0	35 [≈56]	El paso de cebra no es adecuado
A desnivel		50 [≈80]	Se debe de reducir la velocidad antes de colocar el cruceo a desnivel.

Fuente: (Schoon, 2010) Adaptado.

En la vías de aproximación, la distancia de 20.0 m., para crucesos controlados por semáforos, es adecuada no sólo, para que sea baja la probabilidad de que los vehículos se confundan con la línea de parada, sino que deja suficiente espacio para que se puedan alinear y entrar con seguridad a la rotonda. En la salida de la intersección, la distancia de 20.0 m. reduce la probabilidad de que los vehículos

bloqueen el flujo de los vehículos que están en la intersección saliendo de ella (Schoon, 2010).

3.4.4. Aspectos a considerar en el diseño geométrico de rotondas.

La mayoría de manuales y recomendaciones de diseño geométrico de rotondas están orientadas a las necesidades del orden de los vehículos motorizados. Entonces, a continuación enunciamos los elementos más importantes a considerar en el diseño las rotondas (Schoon, 2010).

- Diámetro del círculo central (isla central).
- Diámetro del círculo inscrito.
- Carriles de circulación.
- Islas de canalización.
- Radio de entrada a la rotonda.

3.4.5. Visibilidad de los cruceros peatonales.

En el caso de rotondas no controladas por semáforos, los conductores que ingresan o salen de la rotonda deben estar en la capacidad de poder visualizar el cruceo peatonal de cebra y, por ende, a los peatones. Los principios de este mismo caso se deben de cumplir para las intersecciones controladas por semáforos, con la diferencia de que la visualización, por parte de los conductores, debe ser hacia por lo menos una señal de semáforo (Schoon, 2010).

La visibilidad en las rotondas se rige básicamente por la distancia mínima de parada correlacionada con la velocidad de diseño (Schoon, 2010). En el Gráfico 2, se presentó dicha relación: visibilidad y velocidad de diseño. Además, según la publicación de *Pedestrian facilities* de Schoon, los conductores, los cuales esperan en la línea de ceda el paso, deben estar en la capacidad de ver el cruceo peatonal en el siguiente acceso contiguo. Entonces, cabe resaltar, que la distancia entre la línea de ceda el paso del cruceo peatonal no debe estar entre 20.0 m a 60.0 m. (Schoon, 2010). A continuación se presenta un gráfico que ilustra la idea anterior.

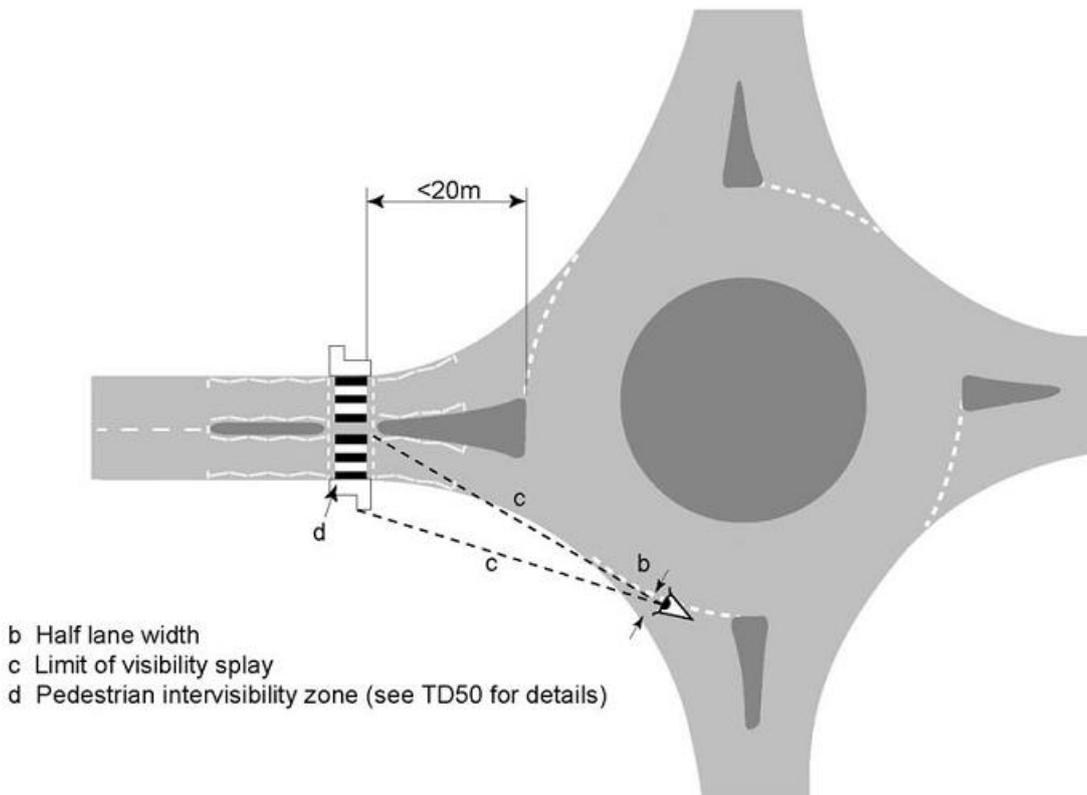


Figura 40: Visibilidad necesaria para los conductores que ingresan a una rotonda.

Fuente: (Highways Agency, 2007)

La Figura 40, se usa la siguiente simbología: El punto "b" es el conductor, el cual va a entrar a la rotonda, se encuentra en la mitad del ancho de la línea de *ceda el paso*; la distancia "c" es la distancia límite de visibilidad; el punto "d" es la zona en la cual se avizora al peatón (Highways Agency, 2007).

3.5. Infraestructura peatonal para mini-rotondas.

Las mini rotondas, como se enunció en el acápite 3.4.1, es considerablemente de menor dimensión que la rotondas normales. A continuación se presenta una tabla con un resumen de las dimensiones recomendadas para las mini rotondas.

Tabla 12: Especificaciones generales para el diseño de mini-rotondas.

Elemento	Especificación	Observación
Diámetro círculo central blanco.	De 1.0 m. a 4.0 m.	
Diámetro círculo inscrito.	Máximo 28.0 m.	
Altura de la prominencia central (domo central).	Máximo 12.5 cm.	Altura hasta el punto más alto.
Límite velocidad (percentil 85).	30.0 mi/h (\approx 48 Km/h)	
AADT.	Mayor a 500 veh.	AADT en vías de doble sentido.

Fuente: (Highways Agency , 2007)³⁶ (Schoon, 2010)

En cuanto a la señalización necesaria en las mini rotondas se recomienda ver la Figura 45, la cual se encuentra más adelante.

3.5.1. Ubicación y uso de las mini rotondas.

Uso de las mini rotondas (Highways Agency , 2007).

- Las mini rotondas son comunes en las zonas residenciales, en áreas comerciales y en las de negocios. Cabe señalar, que el *Highways Agency*, indica que se debe considerar el promedio anual de tráfico diario, AADT, el cual fue indicado en la Tabla 12 (Schoon, 2010).
- Las mini rotondas se pueden colocar en zonas urbanas en las cuales se asegure un límite de velocidad de 30 mi/h (\approx 48 Km/h). En el caso en el que la velocidad es mayor al antes indicada se recomienda la instalación de reductores de velocidad (Schoon, 2010).
- Se justifica el uso de las mini-rotondas de cuatro accesos, cuando uno de los accesos posee menos de 500 vehículos por día (AADT en dos sentidos).

En los siguientes párrafos se enuncian los casos en los que las mini rotondas no deben ser usadas.

³⁶ Highways Agency. (2007, August). *Design of Mini-Roundabouts TD 54/07*. Retrieved March 25, 2011, from Highways Agency: Design manual for road and bridges (DMRB) Pag

No se deben de usar las mini rotondas (Highways Agency , 2007).

- En la publicación *Pedestrian facilities*, se recomienda que las mini rotondas no están diseñadas para albergar a vehículos de gran dimensión o vehículos que desarrollen maniobras especiales (es el caso de buses y camiones), es por ello que no se sugiere colocar las mini rotondas en zonas industriales (Schoon, 2010).
- Las mini rotondas no deben ser aplicadas para vías de aproximación con dos carriles en cada dirección.
- En las aproximaciones cuyos flujos vehiculares son mayores a 500 vehículos por día.
- En intersecciones nuevas.
- Cuando la velocidad de aproximación de los vehículos difiere, de forma considerable en cada aproximación.
- Las mini rotondas, con cinco aproximaciones, no son recomendables debido a que conllevan a diseños más difíciles y mayores obstáculos tanto para los conductores y peatones (Highways Agency , 2007) y (Schoon, 2010).

Conflictos en las mini-rotondas.

Para las mini rotondas con tres aproximaciones, cada una con un solo carril, la intersección es fácil de manejar debido a que los conductores sólo tienen que preocuparse de los vehículos que vienen por su izquierda. Sin embargo, cuando se incrementa el número carriles y aproximaciones se crea un mayor número de conflictos, tanto para vehículos como peatones (Highways Agency , 2007).

Cabe resaltar que las mini rotondas pueden crear sensaciones de inseguridad, para los peatones, debido a que el radio de ingreso a una mini rotonda es mayor el radio de giro en una intersección típica y por lo tanto la velocidad de los vehículos que ingresan y salen de la mini rotonda es mayor (Schoon, 2010).

Requerimientos que demanda el área de una mini-rotonda

El alineamiento, entre las vías de aproximación, y área de una mini rotonda dependen de los movimientos laterales, los cuales el diseño espera que los vehículos realicen al entrar a la intersección, y la visibilidad que tienen los conductores hacia los vehículos que se aproximan por su izquierda (Highways Agency , 2007). Cabe señalar que los requerimientos antes mencionados también están supeditados a los requerimientos de visibilidad y transitabilidad por parte de

los agentes no motorizados (discapacitados, peatones, ciclistas, etc.) (Schoon, 2010). La siguiente figura resalta la diferencia entre una intersección típica en "T" y una intersección en la cual se instaló una mini rotonda.

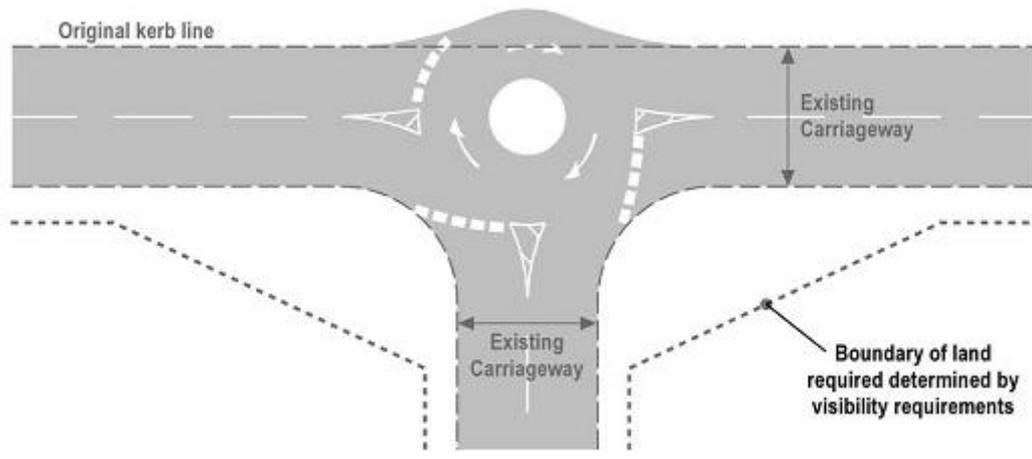


Figura 41: Diferencia entre una intersección típica en "T" y una con mini-rotonda.

Fuente: (Highways Agency , 2007)

En la Figura 41, se resaltan las líneas del trazo original de la intersección en T. y las líneas de visibilidad para cada una de las aproximaciones.

Mini-rotondas dobles

Este tipo de rotondas, las cuales por lo general están con constituidas por cuatro aproximaciones, son más efectivas que una sola rotonda con cuatro aproximaciones (Schoon, 2010).

Es importante señalar, que para este tipo de rotondas se proporcione el suficiente espacio para los vehículos que esperan detrás de las líneas de ceda el paso. Además, los conductores deben poder visualizar las líneas de ceda el paso en el tramo que enlaza a las dos mini rotondas (Schoon, 2010).

Sin embargo, cuando se tiene muchos giros a la izquierda éstos pueden crear bloqueo del flujo vehicular especialmente en situaciones congestionadas (Schoon, 2010).

La siguiente ilustración muestra una fotografía de una mini rotonda doble en el Reino Unido.

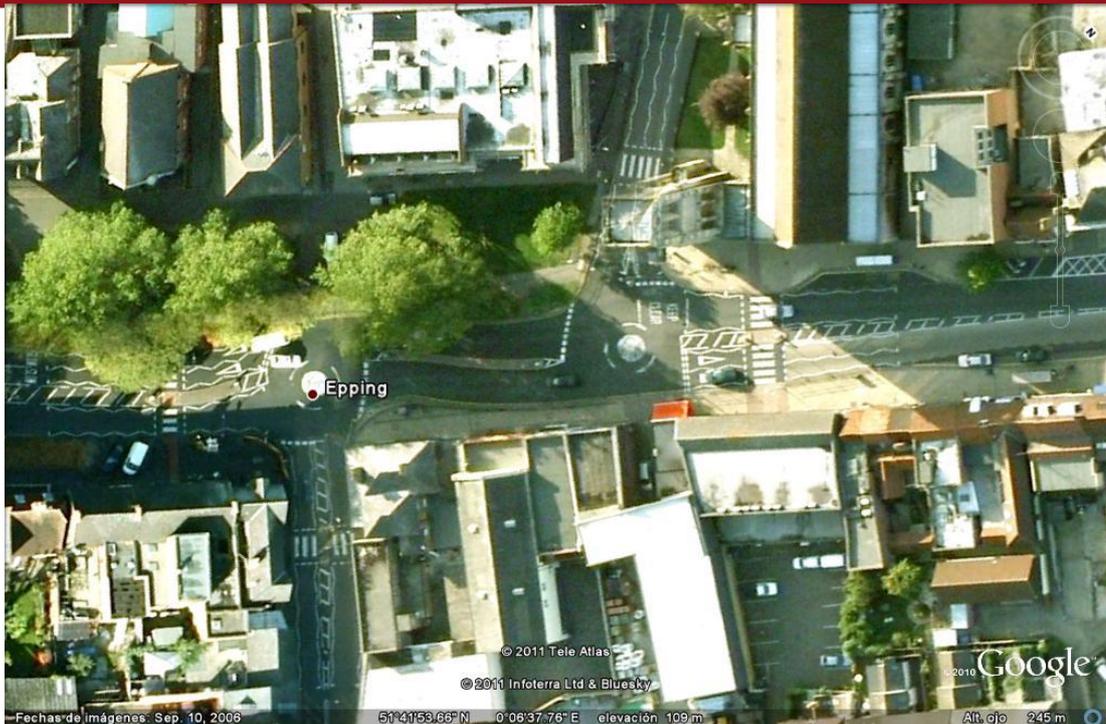


Figura 42: Ejemplo de mini rotonda doble en una zona residencial a las afueras del centro de Londres, Reino Unido.

Fuente: (Google Earth, 2011)

En la Figura 42, se presenta un ejemplo de mini rotonda la cual se encuentran en una zona residencial/comercial entre las calles St. John's road, Station road y la avenida B1393 a las afueras de Londres – Inglaterra.

3.5.2. Factibilidad de una mini rotonda.

La Highways Agency, postula un diagrama de flujo el cual ayuda a tomar la decisión al momento de diseñar una mini rotonda. Dicho diagrama se ilustra en la Figura 43. Además, Schoon, agrega que dicha decisión tiene tres puntos neurálgicos: El diámetro inscrito de la mini rotonda, el límite de velocidad y la instalación de infraestructura para agentes no motorizados (personas en silla de ruedas, peatones y ciclistas).

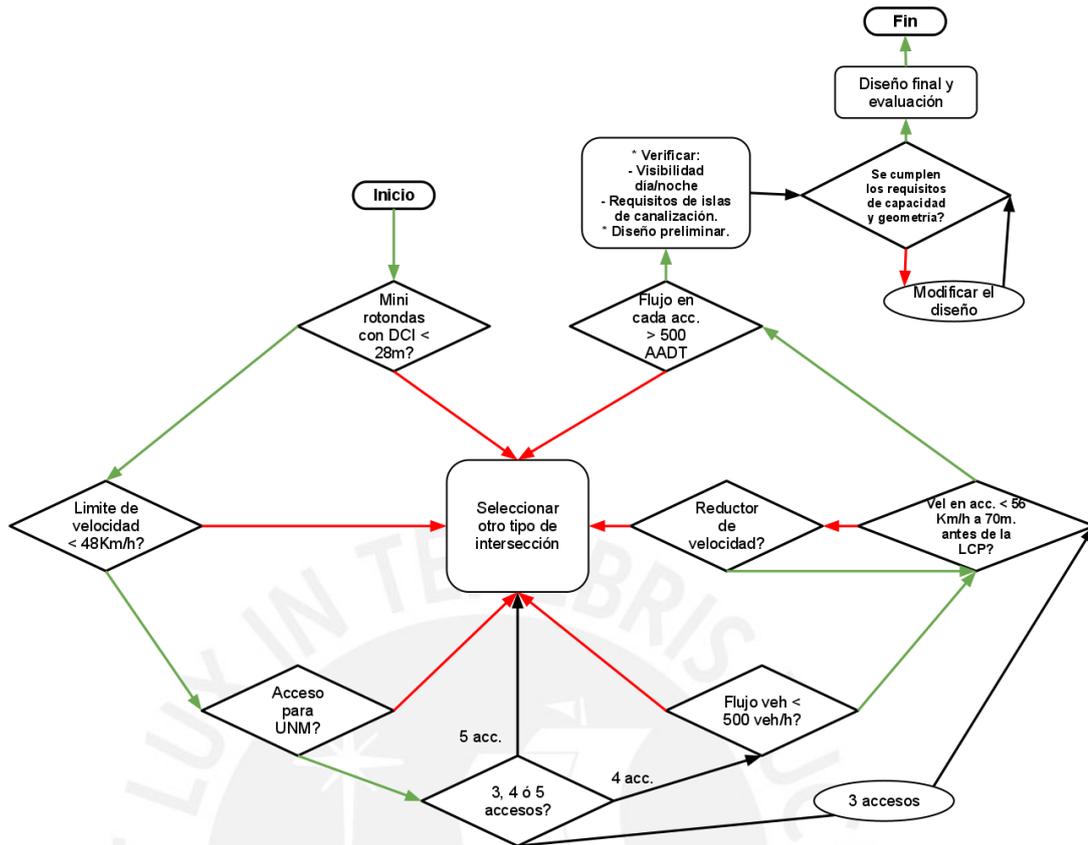


Figura 43: Diagrama de flujo para evaluar la factibilidad de una mini rotonda.

Fuente: (Highways Agency , 2007)³⁷ Adaptado.

A continuación se presenta la leyenda para la figura anterior.

Tabla 13: Leyenda para el diagrama de flujo de diseño de mini rotondas.

Símbolo	Especificación
	Decisiones afirmativas
	Decisiones negativas
	Especificaciones

Fuente: (Highways Agency , 2007) Adaptado.

En la Figura 43, se usó la siguiente abreviatura de símbolos para simplificar el diagrama.

- DCI: Es el Diámetro del Círculo Inscrito de la mini rotonda.

³⁷ Highways Agency . (2007, August). *Design of Mini-Roundabouts TD 54/07*. Retrieved March 12, 2011, from Web site Department For Transport. Pag 2/5.

- UNM: Son los Usuario No Motorizados (Personas discapacitadas, peatones y ciclistas).
- LCP: Línea de Ceda el Paso en el pavimento.

Además, se dará mayor detalle de los puntos más importantes, enunciados en el diagrama de flujo anterior, los cuales son indicados por la Highways Agency en Manual de Diseño de Mini Rotondas TD 54/07 (*Design of Mini-Roundabouts TD 54/07 from Department For Transport – Highways Agency*) (Schoon, 2010):

- Para “Acceso para UNM” se recomienda revisar el Capítulo 4: Requisitos Específicos para Usuarios, con el fin de responder lo que indica el cuadro de decisión.
- Para el “flujo vehicular ≤ 500 veh/h” se sugiere revisar el acápite 2.15.
- En “Velocidad en el acceso ≤ 56 Km/h a 70.0 m. antes de LCP” se recomienda revisar el acápite 2.1.
- Para “Flujo en cada acceso ≥ 500 AADT” se sugiere revisar el acápite 2.3.
- Para las indicaciones de “verificar la visibilidad” se recomienda el acápite 7.3 y para “Requisitos de las islas de canalización” se sugiere ver el Capítulo 6 del manual antes referido.
- Finalmente, para la pregunta de si se cumplen los criterios geométrico y los de capacidad de las mini rotondas se sugiere revisar los Capítulos 5: Evaluación (*Chapter 5: Assessment*) y capítulo 6: Características del diseño geométrico (*Chapter 6: Geometric design features*).

La publicación de Schoon adiciona las siguientes sugerencias, para “Acceso para UNM”: es importante considerar el flujo peatonal cerca de las mini rotondas ya que este tipo intersecciones afecta significativamente su acceso. Además, esta situación tiene mayor relevancia, cuando hay un alto número de peatones circulando cerca de una mini rotonda, como es el caso de centros educativos, hospitales, supermercados, zonas de alta densidad comercial y zonas de oferta / demanda de transporte público.

3.5.3. Consideraciones adicionales para el diseño geométrico de mini rotondas.

En ese acápite se desarrollarán aspectos generales para el diseño del diámetro del círculo inscrito, la visibilidad y las islas de refugio para peatones.

3.5.3.1. Diámetro del círculo inscrito.

Además, de considerar los 28.0 m. de diámetro máximo del círculo inscrito, se sugiere diseñar un área que permita a los vehículos girar con mayor comodidad y aumente la visibilidad, es por ello, que se considera un área de rodamiento circular de un diámetro máximo de 7.5 m y una pendiente 15° como máximo, como se muestra en la figura siguiente (Highways Agency , 2007):

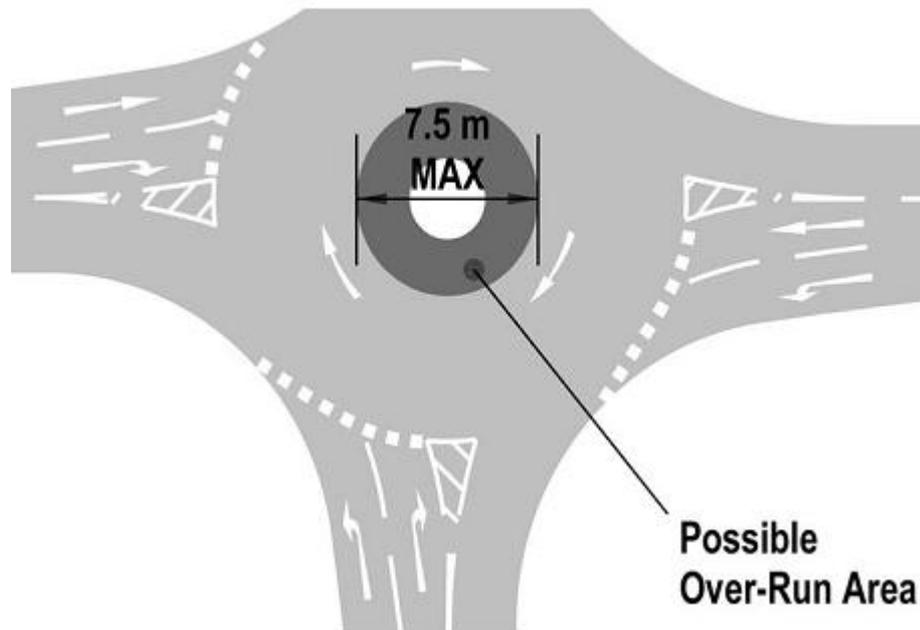


Figura 44: Área de rodamiento, la cual mejora el giro y visibilidad de los vehículos al tomar una mini rotonda.

Fuente: (Highways Agency , 2007)

Los vehículos ligeros están permitidos de hacer uso del área remarcada en la Figura 44 más no el área central pintado blanco. Finalmente, las marcas o señales de circulación deben de ser indicadas fuera del área de rodamiento antes indicada.

3.5.3.2. Visibilidad.

Uno de los puntos más importantes, para los usuarios vehiculares, es la seguridad de entrar y salir de la mini rotonda. Por otro lado en la Figura 45, se identifica un punto de conflicto típico en mini rotondas tipo "T".

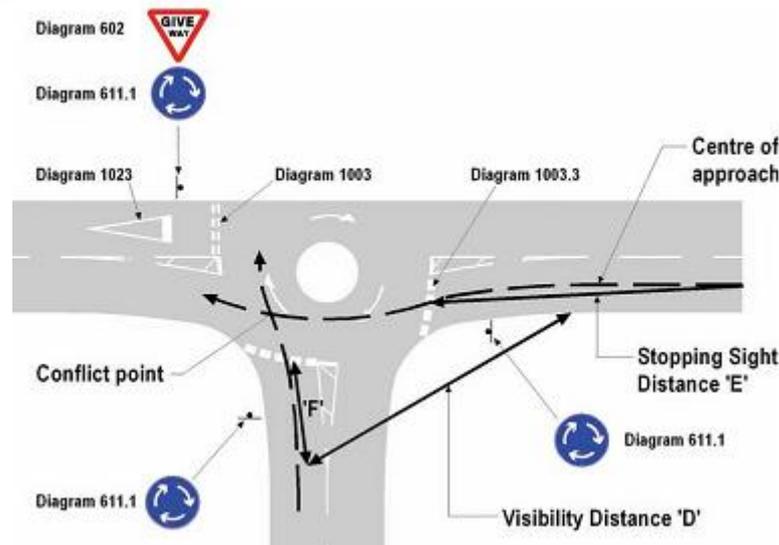


Figura 45: Distancia de visibilidad "D" y señalización para una mini rotonda tipo "T".

Fuente: (Highways Agency , 2007)

Entonces el tiempo que toma un vehículo de ir de un estado estacionario, desde la línea de ceda el paso, hasta el punto de conflicto, se define como "tiempo aceptable entre vehículos", la cual depende del tamaño de la mini rotonda. En la siguiente tabla se muestran características que relacionan el término antes definido, con los tiempos y distancias necesarias para que un vehículo pueda desarrollar una visibilidad adecuada.

Tabla 14: Tiempo aceptable entre vehículos para criterios de visibilidad.

Tiempo aceptable entre vehículos. (s)	Distancia desde el centro de la línea de ceda el paso hasta el centro del círculo central de la mini rotonda. (m)
2.0	≤7.0
3.0	>7.0

Fuente: (Highways Agency , 2007)

En la publicación de Schoon se indica que la Highways Agency, no adiciona comentarios, para el tiempo aceptable entre peatones o la señalización en la intersección, lo cual es importante para la ubicación de los cruces peatonales (Schoon, 2010).

La distancia de visibilidad "D" es la mínima distancia requerida para un vehículo que se acerca a la mini rotonda a una distancia "F" desde la línea de ceda el paso. (La distancia "D" se mide desde el centro el carril hasta el borde el borde del carril por el cual se aproxima el otro vehículo. Ver la Figura 45). La distancia de visibilidad varía

según la velocidad del vehículo y el (percentil 85), medida a una distancia de 70.0 m. desde la línea de ceda el paso. En la siguiente tabla se muestra la relación anterior.

Tabla 15: Distancia mínima de visibilidad “D” Figura 45.

Percentil 85 de la velocidad de los vehículos que se acerca por la derecha (mi/h) [Km/h]	Distancia “D” (m)	
	Tiempo aceptable entre vehículos: 2.0 s.	Tiempo aceptable entre vehículos: 3.0 s.
35 [≈56]	40	55
30 [≈48]	35	50
20 [≈32]	25	40

Fuente: (Highways Agency , 2007) adaptado.

Además, en la Figura 45 la distancia “F”, tiene una longitud mínima de 9.0 m. con el fin de que en la cola de vehículos haya por lo menos dos autos, los cuales deben de estar en la capacidad de visualizar al vehículo que se acerca a la intersección por la derecha (según la Figura 45).). En la siguiente tabla se sintetizarán los criterios para optar, para el diseño, una distancia “F” (Highways Agency , 2007).

Tabla 16: Condiciones de visibilidad para determinar la distancia "F".

Condición de visibilidad	Distancia “F”
<ul style="list-style-type: none"> Los dos primeros vehículos visualizan al vehículo que se acerca en dirección perpendicular. Se debe reducir la velocidad de los vehículos que se acercan a la intersección. 	Mínimo 9.0 m.
<ul style="list-style-type: none"> En horas pico y con un flujo menor a 300 veh/h, en por lo menos uno de los accesos. 	Entre 4.5 m. a 9.0 m.
<ul style="list-style-type: none"> Para casos excepcionales. Se considera que sólo un vehículo visualizará al otro, el cual se acerca de forma perpendicular. En horas pico y con un flujo menor a 300 veh/h, en por lo menos uno de los accesos. El acceso oeste es de un solo sentido para intersecciones tipo T. 	Mínimo absoluto 2.4 m.

Fuente: (Highways Agency , 2007)

Nota: Es importante recalcar que las fuentes usadas, para el diseño de mini rotondas, son en base a la normativa británica la cual los vehículos circulan por el lado izquierdo.

En la publicación de Schoon, se indica que el *manual de diseño de mini rotondas* propiciado por la *Highways Agency* no menciona criterios de visibilidad para los peatones, en el contexto de intersecciones tipo mini rotonda. Sin embargo, señala Schoon, que este aspecto es muy relevante, especialmente, para la seguridad de los peatones los cuales deben ser prioridad en las vías secundarias (Schoon, 2010).

3.5.3.3. Islas de refugio para peatones.

Además de uno de los usos más evidentes en las islas de refugio: dividirlos dos flujos vehiculares que van en direcciones opuestas. Se enuncian las siguientes ventajas (Highways Agency , 2007).

- Ayuda los vehículos a entrar de una forma más cómoda a la mini rotonda.
- Incrementa la visibilidad entre los conductores los cuales se aproximan a la mini rotonda.
- Brinda una mayor seguridad para los peatones los cuales cruzan la calzada.

La ubicación, de las islas de refugio, debe de estar dentro de los 20.0 m. medidos, desde la línea de ceda el paso, hasta el final de la isla. Para islas localizadas a más de 20.0 m., corren el peligro de no ser usadas por los peatones. Para islas localizadas a más de 60.0 m., desde la mini rotonda, trabajan como cruceros independientes al funcionamiento de una mini rotonda (Schoon, 2010).

Cabe resaltar, la forma de destacar las islas de refugio no es usando materiales sobresalientes del pavimento o protuberancias en el mismo. Se debe usar pintura para pavimento y con un diseño correspondiente al diagrama 1004. Del manual de diseño de señales de tráfico (Highways Agency , 2007).

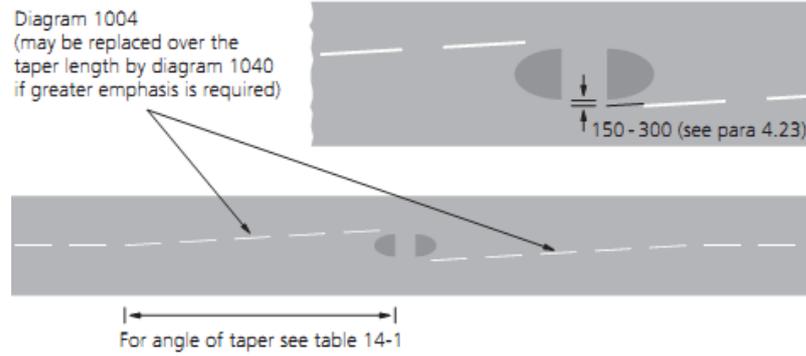


Figura 46: Requerimiento mínimo, el cual ayuda a señalar y proteger el cruceo peatonal, en las mini rotondas: Diagrama 1004.

Fuente: (Department for Transport, 2003)

En la figura anterior se señala que el diagrama 1004 puede ser remplazado por el 1040, cuyo uso es más frecuente en las rotondas. A continuación se presenta el diagrama antes indicado.

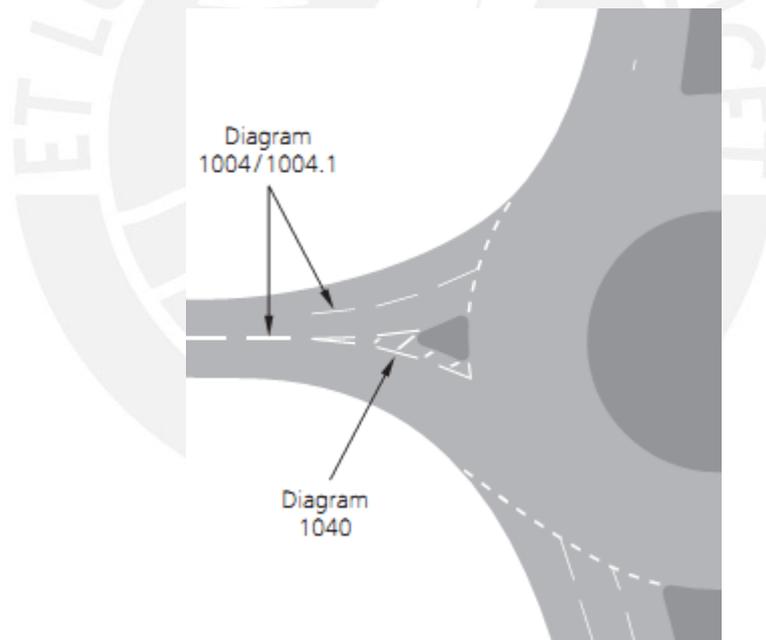


Figura 47: Diagrama 1040: Marcas sobre el pavimento para ingresar a una mini-rotonda.

Fuente: (Department for Transport, 2003)

CAPÍTULO 4. Seguridad vial en las intersecciones.

Según la “*Declaración de Moscú*”, hasta el 2004, los accidentes de tránsito causan 1.2 millones de muertes y 50 millones de heridos al año (ONU, 2009)³⁸. Así mismo, el Banco Mundial indica, en el 2002, que en los países en desarrollo, se originan 0.5 millones de muertes y más de 15 millones de heridos al año, debido a los accidentes de tránsito, en zonas urbanas. Además, el costo de dichos incidentes fluctúa aproximadamente en 1% a 2% del PBI (World Bank, 2002) y (ONU, 2009). Por ejemplo, en la ciudad de México DF., las externalidades estimadas, creadas por los accidentes de tránsito, representan el 2.32% del PBI y la congestión vehicular el 2.56% del PBI. También, se señala que el mayor número de accidentes ocurre en las intersecciones y son las personas más vulnerables y pobres las que sufren los accidentes. (World Bank, 2002)³⁹.

Uno de los panoramas con mayor número de conflictos, vehiculares y peatonales, se presenta en las intersecciones. Entonces, los esfuerzos por reducir el número de conflictos, para el profesional competente (Ingenieros civiles, de tráfico, de seguridad y/o arquitectos), es uno de los objetivos más críticos e importantes (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

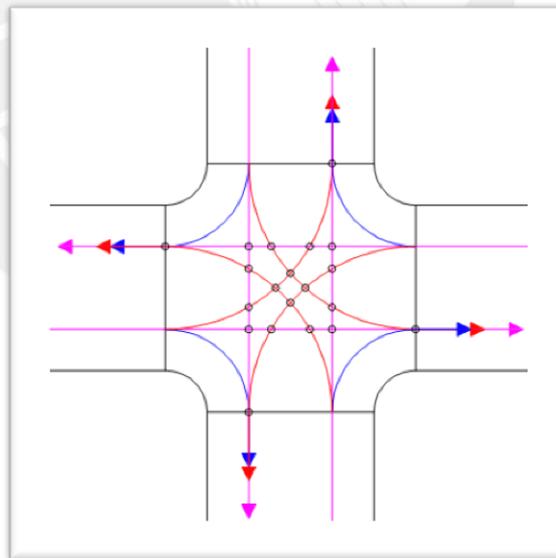


Figura 48: Conflictos en una intersección no controlada por semáforos.

Fuente: (Roess, Prassas, & McShane, 2004) Adaptado.

³⁸ ONU. (20 de Noviembre de 2009). *Declaración de Moscú, aprobada al término de la Primera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial*. Recuperado el 5 de Junio de 2011, de Las Naciones Unidas y La Seguridad Vial. Pag 1 – 2.

³⁹ World Bank. (2002). *Cities on the move: a World Bank urban transport strategy review*. Retrieved May 09, 2011, from World Bank. Pag xvii, 9.

Como podemos ver, en la figura anterior, se tiene una intersección no controlada por semáforos y de dos carriles en cada aproximación. El número de conflictos, sólo por vehículos, es de 20 y este número es mayor si se consideran el cruce de discapacitados/peatones y ciclistas. Entonces, una solución evidente es colocar un semáforo en la intersección para disminuir el número de conflictos y/o agregar carriles exclusivos de giros a la derecha.

Sin embargo, como expresa Dextre (2010) las soluciones que estén evocadas a mejorar sólo los problemas actuales y no las raíces de los problemas serán sólo paliativas del estado actual de una intersección, vía, red vial, etc. En ese sentido, las soluciones que se enfocan a solucionar los problemas desde su origen se les conocen como soluciones de **“inicio de tubería”** pero, en contra posición, están las soluciones de **“final de tubería”**. Esta última designación es usada, típicamente, para resolver los problemas de seguridad vial, es por ello que se presentará mayor detalle en los siguientes acápites.

4.1. Método de solución con el análisis de puntos negros.

La recurrencia de un número, alto e inusual, de accidentes de tránsito en una zona determinada se denomina **“punto negro”**, en los términos de la ingeniería de tránsito. Por lo tanto, si se enfoca el término “punto negro” al ámbito urbano este se presentara en las intersecciones. Por otro lado, el periodo de análisis de una zona es de 36 meses para un área de 100 m. a 200 m. de radio (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010).

Entonces, para determinar un punto negro se debe de analizar el número de accidentes de tránsito y la frecuencia de los mismos dentro del periodo de estudio. Entonces, los parámetros para calificar un punto negro como tal son los siguientes: El número de accidentes de tránsito es aproximadamente de tres a cinco y la frecuencia de los mismos debe ser alta dentro del periodo de análisis. Cabe resaltar que es la frecuencia el indicativo predominante, con el fin de saber si existe un factor predominante el cual produce el accidente de tránsito (Mayoral Grajeda, Cuevas Colunga, & Díaz, 2008). A manera de ejemplo, en la siguiente figura, se muestra la ubicación de *puntos negros* en la ciudad de Lima Metropolitana.



Figura 49: Ubicación de puntos negros en la ciudad de Lima Metropolitana.

Fuente: (Yachiyo Engineering CO., 2005)⁴⁰

Los profesionales especializados y destinados a elaborar el análisis de *puntos negros* y sus futuras soluciones hacen uso de las auditorías de seguridad vial y las inspecciones de seguridad vial, las cuales responde a soluciones de tipo *final de tubería* (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010). Dichas diferencias se presentarán a continuación.

4.2. Diferencias entre las Auditorías de Seguridad Vial, las Inspecciones de Seguridad Vial y los “*puntos negros*”.

Según la publicación del Ing. Dextre (2010), las Auditorías de Seguridad Vial (ASV) se definen como “un proceso formal de evaluación o influencia de un proyecto vial o de tránsito el cual se da en el presente o futuro. Además se cuenta con profesionales independientes los cuales informan acerca de los riesgos de accidentes desde el punto de vista de la seguridad vial”. Así mismo se tienen las Inspecciones de Seguridad Vial (ISV), que a diferencia de las ASV no requieren de un marco legal. Entonces también pueden ser medidas de *final de tubería*, cuyo objetivo es prevenir los accidentes de tránsito. Además, se usan para señalar y

⁴⁰ Yachiyo Engineering CO. (Agosto de 2005). *Plan maestro de transporte urbano para el área Metropolitana de Lima y Callao*. Recuperado el 28 de Abril de 2011, de Instituto metropolitano protransporte de Lima. Pag 285.

corregir los desperfectos de los proyectos viales, cuyo seguimiento se hace dentro de un periodo de tiempo determinado, antes de que los accidentes se presenten (Schoon, 2010)⁴¹ y (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010).

Por otro lado, las diferencias entre las ASV e ISV radican, fundamentalmente, en el contexto legal en que se realizan las primeras. Debido a que las ASV necesitan un marco legal el cual señale el procedimiento a seguir, por parte del grupo de profesionales competentes, y el producto final a entregar. En el caso contrario, en el que no se posee un marco legal para realizar las ASV, solo se podrá ejecutar las Inspecciones de Seguridad Vial (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010).

Las ASV y el tratamiento de *puntos negros* son medidas de final de tubería y las diferencias radican en lo siguiente:

Tabla 17: Diferencias entre las Auditorías de seguridad vial y el tratamiento de "Puntos negros".

Auditorías de seguridad vial	Tratamiento de "Puntos negros"
Es una herramienta preventiva para los accidentes de tránsito.	Para proceder con el análisis de puntos negros los accidentes de tránsito ya ocurrieron.
Identifica y corrige las deficiencias de los proyectos en materia de accidentes de tránsito.	Investiga, evalúa y propone medidas correctivas en los puntos negros.
Se realiza por un grupo de profesionales con especialización en diseño vial, seguridad vial y gestión del tránsito.	El tratamiento se realiza por un profesional: Ing. Civil, Ing. Transporte o arquitecto.
Necesitan un marco legal para su ejecución y es solicitado por la autoridad correspondiente.	No es necesario un marco legal y puede ser solicitado por cualquier persona, empresa privada o pública.
Se realizan en proyectos previamente seleccionados por la autoridad competente.	

Fuente: (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010) y (Mayoral Grajeda, Cuevas Colunga, & Díaz, 2008) Adaptado.

⁴¹ Schoon, J. G. (2010). *Pedestrian Facilities: Engineering and geometric design*. Southampton: Thomas telford. Pag 12.

Cabe resaltar que tanto para ASV, ISV y el análisis de *puntos negros* son necesarios la participación de profesionales calificados y especializados según las tareas que demanda el proyecto.

4.3. Evaluación del impacto de la seguridad vial.

La evaluación del impacto de la seguridad vial (EISV) es una instancia previa a las ASV o ISV. Entonces, EISV se define como un procedimiento formal, la cual es llevada por un equipo profesional diferente al de las ASV o ISV, con el fin de evaluar el desempeño de un proyecto vial o de tránsito, dentro de su área de acción, en función de la seguridad vial (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010) y (ETSC, 2006)⁴².

La diferencia entre la ASV y EISV están en que estas últimas no trabajan sólo sobre un proyecto específico previamente seleccionado. Sino que las EISV sirven para comparar las repercusiones de más de un diseño vial en toda la red a la cual afecta. Este es motivo por el cual las EISV se realizan antes que las ASV.

En resumen, las ventajas de las ASV o ISV y las EISV son las siguientes (ETSC, 2006)⁴²:

- Minimizar el riesgo de accidentes de tránsito en el futuro para el diseño de una nueva infraestructura vial.
- Reducir el riesgo de accidentes de tránsito en el futuro, los cuales están de forma inherente en los diseños viales.
- Aumento de la conciencia social, sobre los accidentes de tránsito, en los políticos y diseñadores de las vías de transporte.

Cabe resaltar que las EISV es el procedimiento más cercano a la solución de *inicio de tubería* ya que se compara más de un proyecto con el fin de llegar a una solución final idónea. Sin embargo, no necesariamente será una solución de *inicio de tubería* (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010).

⁴² ETSC. (2006). *Road to Respect: An European campaign to for better road safety engineering*. Retrieved April 29, 2011, from European transport safety council ETSC – Documents. Pag 8.

4.4. Seguridad activa y pasiva de los vehículos.

La seguridad activa son los aditamentos mecánicos o electrónicos destinados a mejorar la estabilidad y eficacia de un vehículo con el fin de evitar los accidentes de tránsito. Como ejemplos de estos elementos se tienen los siguientes: Los sistemas de frenado (ABS), dirección, suspensión, control de estabilidad, iluminación, etc. (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010) y (CEA, 2011).

Así mismo, el CEA y Dextre concuerdan en que la seguridad pasiva son los elementos destinados a aminorar el daño en las personas al momento de suscitarse el accidente de tránsito. Como por ejemplo están las bolsas de aire (*air bags*) y los cinturones de seguridad.

Los estudios de los sistemas activos, en caso específico los sistemas ABS, han demostrado que estos no contribuyen a la reducción de los accidentes de tránsito debido a que se incrementa la confianza del conductor y por ende la temeridad al momento de manejar su vehículo. Si bien los sistemas activos están enfocados a reducir los accidentes de tránsito enfatizan el uso del automóvil, lo cual, evidentemente, conlleva a externalidades ambientales, sociales, accidentes de tránsito, etc. Las cuales están muy bien documentadas hoy en día (Dextre, Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407, 2010).

4.5. Las Listas de Chequeo.

Las listas de chequeo o verificación son elementos de ayuda para realizar las auditorías de seguridad vial o inspección vial de forma ordenada y sistemática (Dextre & Cabrera, 2010). El fin de esta ayuda es cerciorarse de que se está considerando todos los posibles factores los cuales realizan impactos negativos en la seguridad vial, para así poder mitigarlos, y potenciar los positivos (CONASET, 2008).

4.5.1. Parámetros para las Listas de Chequeo.

Según el CONASET⁴³ las *listas de chequeo* de seguridad vial están regidas por 75 preguntas divididas en cuatro grandes grupos y sub grupos de estas. A continuación se muestra una tabla con lo antes indicado:

⁴³ CONASET. (Septiembre de 2008). *Manual de uso: Lista de chequeo de la seguridad de tránsito*. Recuperado el 03 de Mayo de 2011, de Ministerio de relaciones exteriores de Chile: Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito 2011 (CONASET). Pag 1 - 5.

Tabla 18: Aspectos a considerar en las listas de chequeo.

Generales	Específicos adicionales		
Todos los proyectos	Centros educativos	Zonas residenciales	Zonas comerciales
<ul style="list-style-type: none"> • Accesos • Circulación y Cruces Peatonales • Circulación Vehicular • Facilidades para el Transporte Público • Estacionamientos • Señalización de Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Accesos • Circulación y Cruces Peatonales • Estacionamientos • Señalización de Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Circulación y Cruces Peatonales • Circulación Vehicular • Señalización de Tránsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Accesos Peatonales y Vehiculares • Circulación y Cruces Peatonales • Señalización de Tránsito

Fuente: (CONASET, 2008)

En la siguiente tabla se muestra un ejemplo esquemático de una *lista de chequeo*, en la cual se enuncia sus partes.

Tabla 19: Esquema genérico de las partes de una lista de chequeo.

Ítems	Decisión			Comentarios
	Sí	No	NA	
Preguntas de estipuladas en los grupos y sub-grupos enunciados en la Tabla 18				

Fuente: (Dextre & Cabrera, 2010) y (CONASET, 2008).

La forma de responder a las preguntas de las *listas de chequeo* es de forma afirmativa (sí), negativa (no) o *no se aplica* (NA, en el caso de que la pregunta no pueda ser respondida). En la parte de “comentarios” la columna se puede dividir en otros criterios a tomar en cuenta. Como ejemplo, Dextre y Cabrera (2010) añaden la columna de “factores contribuyentes” y “posibles medidas” en la zona de comentarios.

Es muy importante resaltar que las *listas de chequeo* deben ser adecuadas al contexto rural o urbano y a las distintas fases de un proyecto (factibilidad, diseño preliminar, diseño de detalle construcción, preapertura y post-apertura) (Dextre &

Cabrera, Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas, 2010).

4.6. La simulación computarizada y la seguridad vial orientadas a mejorar las facilidades de los peatones: El software PTV VISSIM.

El diseño de intersecciones y su planeamiento requiere el conocimiento de una gran data, la cual describe el comportamiento actual o futuro de una intersección. Es por ello que procesar dichos datos demanda el uso de programas computarizados (Schoon, 2010). Además, es importante acentuar que el diseño de intersecciones es un proceso iterativo, ya que se pueden tener varias soluciones para diferentes escenarios (Roess, Prassas, & McShane, 2004).

En el mercado existe muchos y diversos software de diseño, los cuales están destinados a diferentes propósitos. Una forma de clasificar dichos paquetes informáticos, es según la el nivel de análisis que se desea hacer o se va a necesitar: Análisis macroscópico, mesoscópico y microscópico (Hardy & Wunderlich, 2007).

En este trabajo de tesis se describirá, brevemente, lo que se puede realizar con el análisis microscópico el cual se orientará a dar, al peatón, mayores prerrogativas. Entonces, según la publicación de Dextre y Cabrera (2010), en este nivel de análisis, la micro-simulación desarrolla la capacidad de estudiar, de forma individual, a cada agente participante en una intersección o vía: Peatones, discapacitados, bicicletas, transporte público, privado, paraderos públicos, zonas comerciales, residenciales, etc. Incluso, se puede ingresar comportamientos de manejo.

El esquema representativo de la micro-simulación es la siguiente:

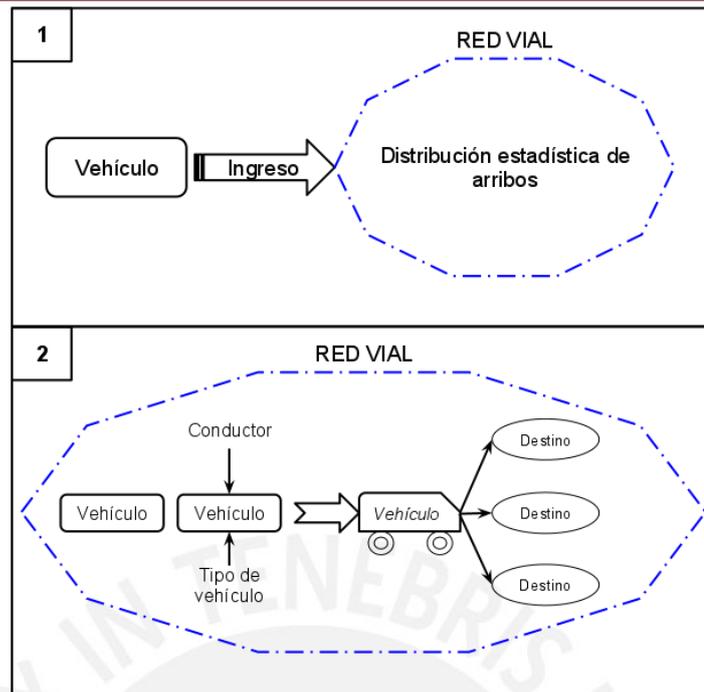


Figura 50: Esquema representativo de la micro-simulación computarizada para el ingreso de vehículos a la red vial.

Fuente: (Dextre & Cabrera, *Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas*, 2010) Adaptado.

En la figura anterior en el estado N°1 el vehículo ingresa a red vial mediante una distribución estadística. En el estado N°2, dentro de la red vial, a los vehículos se les provee un tipo de vehículo, conductor y destino. Finalmente, se obtienen resultados de posicionamiento, velocidad y aceleración.

Debido a las características particulares de cada red vial asociada al modo circular, tipo de vehículos y conflictos, entre los diferentes agentes participantes de una vía, se debe de calibrar el software de micro simulación. Por otro lado, muchos de los paquetes computarizados de micro simulación dan opciones de exhibir los resultados mediante animaciones en tres dimensiones, lo cual es muy atractivo para los clientes. Sin embargo, es peligroso presentar simulaciones y darlas como válidas sin haber calibrado el software y sin conocer el marco teórico previo para realizar las modelaciones. Por ejemplo, indican Dextre y Cabrera (2010), las diferencias en calibración del 20% pueden conducir a diferencias de hasta el 50% para los resultados en situaciones futuras.

Finalmente, cabe señalar, con el fin de obtener resultados válidos y acordes a la realidad actual o futura del proyecto en evaluación se debe de iterar el proceso de análisis con el software (Dextre & Cabrera, Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas, 2010).

En la siguiente tabla daremos a conocer cinco programas de computadora y nos evocaremos al programa *PTV - VISSIM* más adelante:



Tabla 20: Comparación de modelos computarizados orientados mayormente a los peatones.

Software	Objetivo principal	Basado en:	Aplicaciones en la geometría y diseño de infraestructura peatonal.
VISSIM	Modelo e interacción del tráfico multimodal	La simulación del comportamiento y las características del tráfico vehicular incluido los peatones.	Velocidad del peatón, espacio entre vehículos, retrasos y desempeño de las medidas de control para intersecciones no controladas por semáforos y controladas por semáforos.
PED ISI	Prioriza el efecto de los accidentes de tránsito en los peatones.	Ecuaciones de regresión con el fin de estimar las prioridades.	Se introducen datos (usados para PEDSAFE) los cuales indican los puntos en los que se produjeron accidentes.
PEDSAFE	Ayuda a seleccionar medidas contra los accidentes de tránsito.	Evidencia empírica sobre efectividad de las medidas a tomar contra los accidentes.	Medidas geométricas, las cuales están orientadas a reducir los accidentes de tránsito.
LEGION	Simulación de los movimientos peatonales.	Micro simulación de peatones, preferencias y objetivos calibrados mediante la experiencia.	Análisis de las características peatonales como los tiempos de viaje, densidad (nivel de servicio), velocidad, tiempo de evacuación para orientar el diseño geométrico.

Fuente: (Schoon, 2010).

4.6.1. VISSIM PTV.

Es un programa de micro-simulación de tráfico multimodal (análisis de varios medios de transporte no vehicular y vehicular: Peatones, discapacitados, ciclistas, transporte público, transporte privado, etc) (PTV Traffic Mobility Logistics, 2011). Entonces, con el software se puede simular diversos casos, bajo diferentes contextos urbanísticos. Es así como es posible hacer interactuar los diferentes modos de transporte y hacerlos funcionar según los criterios, los cuales opta el usuario, por ejemplo, intersecciones controladas por señales de *pare y ceda el paso*, velocidad vehicular, espacio entre vehículos (gap vehicular), etc. Además, VISSIM permite ingresar parámetros, los cuales describen el comportamiento del conductor o peatón: formas de conducir o la atracción creada por paraderos de bus, tiendas y otras actividades para los peatones. Como resultado, el programa puede mostrar análisis de redes vehiculares o análisis individuales en ubicaciones específicas. (Schoon, 2010), (PTV Traffic Mobility Logistics, 2009).

En general VISSIM posee tres componentes: Ingreso de datos, en el entorno Windows; simulación, procesamiento de datos; y resultados, los cuales puede ser exhibidos por medio de una simulación en tres dimensiones⁴⁴ y una lista de resultados (Schoon, 2010).

4.6.2. El Software VISSIM V5.1 y las *Listas de Chequeo* a favor de la seguridad vial para usuarios no motorizados.

Una forma de mejorar el uso de los Software de simulación es la integración de estos con las *Listas de Chequeo*. Así lo demuestran Dextre y Cabrera (2010) en su publicación sobre el “*Uso de las listas de chequeo y micro-simulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas*”. Entonces, emplearon las *listas de chequeo* para evaluar partes de una vía urbana e intersecciones, las cuales poseen un gran número de usuarios no motorizados vulnerables. Luego, realizaron el trabajo de campo requerido para la calibración y modelado, de la vía en análisis, con el software VISSIM V5.1. En consecuencia, analizaron dos escenarios: Actual y futuro, para finalmente, presentar los resultados.

A manera de ejemplo, se presenta un caso, de los muchos exhibidos, en el trabajo de Dextre y Cabrera (2010).

⁴⁴ Es muy importante revisar el acápite 4.6 (párrafo sobre los peligros de la modelación y presentación de resultados) con el uso de software de micro-simulación.

Intersección Av. Bolívar con la Av. Universitaria (Lima Metropolitana): Esta intersección, controlada por semáforos, posee dos fases con un ciclo de 68s. y accesos de dos carriles, con un carril exclusivo de giro a la izquierda en la Av. Universitaria. Entonces, de Las *Listas de Chequeo*, permitieron identificar, con facilidad, diferentes problemas en esta intersección la cual posee diferentes agentes involucrados: Alto flujo peatonal, usuarios discapacitados, ciclistas, transporte público y privado. Los problemas que encontraron son los siguientes:

- Ubicación de los semáforos: El lugar actual de los semáforos no permite detener a los vehículos, en el momento de luz roja, en un punto en el cual estos no entren en conflicto con los peatones que cruzan.
- Conflictos entre vehículos y ciclistas: En el separador central se encuentra una ciclo-vía, la cual cruza la calza, y esto crea un punto de conflicto, entre los vehículos que giran a la izquierda, con los ciclistas.
- Discontinuidad de rampas para usuarios en silla de ruedas: Las rampas de acceso no poseen continuidad, no están correctamente orientadas o no se han colocado (consideraciones mínimas para proveer de rampas ver el acápite 2.3.2: Personas discapacitadas).
- Falta de visibilidad: Se identifican dos problemas importantes. Uno de ellos es falta de visibilidad para los vehículos, los cuales no identifican el límite de acera, la invaden y la destruyen poco a poco. El otro problema es la ubicación de publicidad, la cual bloquea la visualización del semáforo para todos los usuarios de la intersección.

Bajo el contexto anterior Dextre y Cabrera (2010), propusieron las siguientes mejoras:

- Incrementar las fases del semáforo de dos a tres.
- Reubicación de un cruceo peatonal.
- Reubicación de la línea de parada de vehículos.
- Reubicación de los mástiles de semáforos.
- Implementación de semáforos peatonales con contadores de tiempo.
- Implementación de rampas para discapacitados.
- Mejoras en la iluminación.
- Mejoras en la señalización.
- Remoción de elementos que obstruyan la visualización de las señales de tránsito.

Una vez elaborado el modelo se calibró el programa y se iteró el programa 15 veces (con diferentes valores) con el fin de obtener resultados representativos. Los resultados del escenario actual de la intersección difirieron en 5% con los del programa. En las siguientes tablas se resumen los resultados para el tráfico vehicular y peatonal.

Tabla 21: Resultados del análisis actual y las mejoras propuestas para el tráfico motorizado.

Parámetro	Escenario		Diferencia (%)
	Actual	Mejora	
Demora promedio por vehículo	19.08	26.12	37
Número promedio de paradas por vehículo	0.995	1.04	5
Velocidad promedio (Km/h)	15.9	13.4	-16
Demora total (hr)	37.07	47.59	28
Longitud de cola (m): Av. Bolívar	57	63	11
Longitud de cola (m): Av. Universitaria.	105	109.5	4

Fuente: (Dextre & Cabrera, 2010) Adaptado.

Con respecto a los resultados para usuarios no motorizados se presentaron los resultados siguientes:

Tabla 22: Resultados del análisis actual y las mejoras propuestas para peatones y ciclistas.

Parámetro	Escenario		Diferencia (%)
	Actual	Mejora	
Demora de peatones (h)	18.9	10.646	-44
Demora promedio por peatón (s)	32.8	21.204	-35
Velocidad promedio peatones (Km/h)	1.93	2.604	35
Tiempo de viaje promedio en ciclo-vía (s)	35	22	-37

Fuente: (Dextre & Cabrera, 2010) Adaptado.

Como se aprecia en la Tabla 21, las mejoras propuestas aumentan la demora vehicular y las longitudes de cola. Sin embargo, como el propósito del estudio es proteger y mejorar las condiciones de los usuarios más vulnerables. Entonces, arriesgar las demoras, velocidades, longitud de cola vehicular, etc. es una opción viable. Es así que la Tabla 22 exhibe una reducción considerable, en la demora

promedio por peatón, de hasta 35%; un aumento de la velocidad promedio, para peatones, de 35%; y finalmente, una reducción de hasta 37% en el tiempo de viaje promedio en la ciclo vía.

4.7. Propuesta de proceso de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas.

Con base a las diferentes referencias bibliográficas encontradas, se ha desarrollado una propuesta de diagrama del proceso de diseño y planeación de intersecciones que se aprecia en la Figura 51, siguiente:



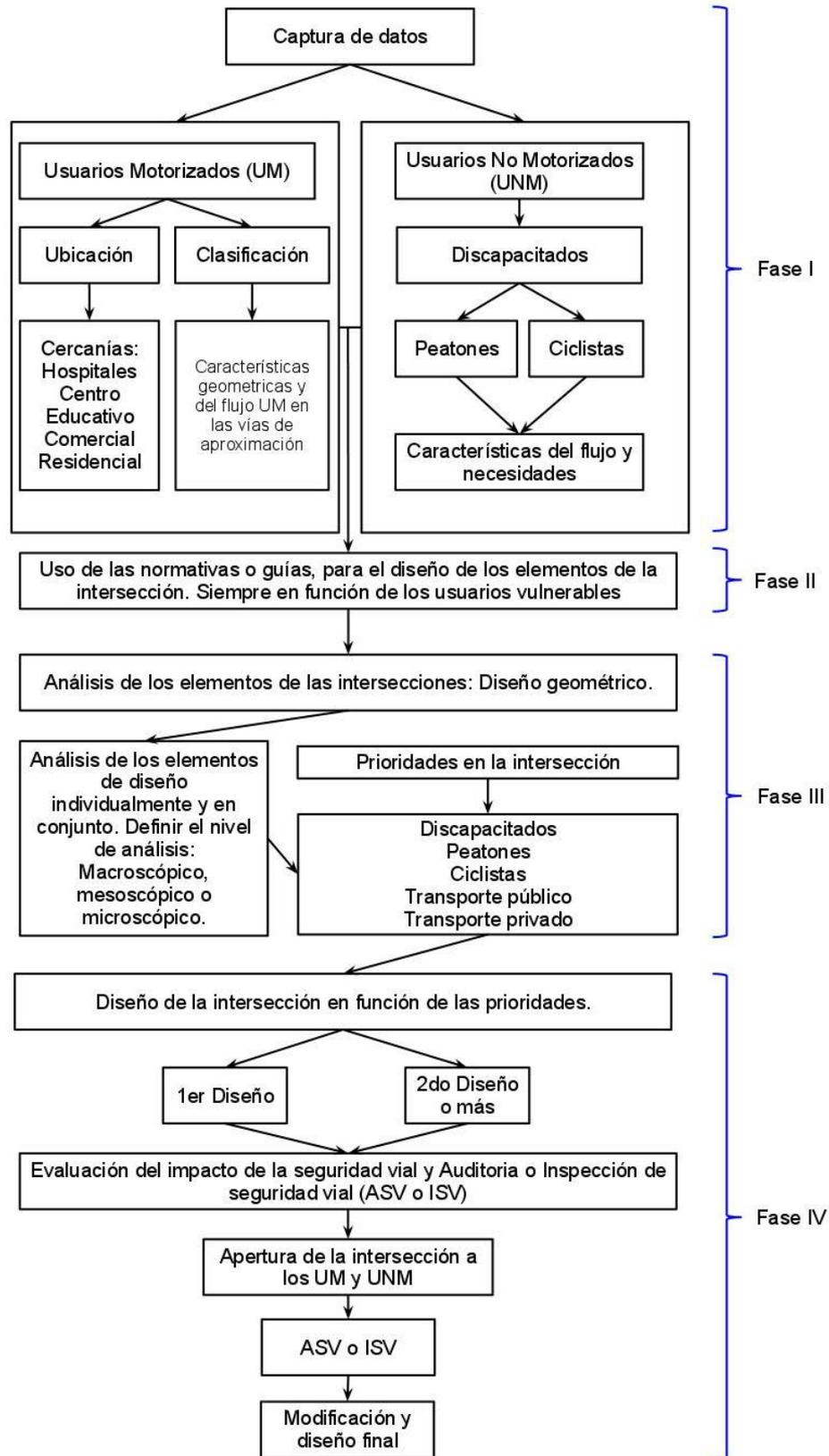


Figura 51: Diagrama de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas.

Conclusiones y recomendaciones.

Conclusiones:

Las conclusiones más importantes del estudio se describen a continuación:

- Los diseños, enfocados a la movilidad, representan políticas que protegen al peatón, discapacitados y ciclistas como es el caso de la implementación de las *Zonas 30*.
- Las intersecciones tipo rotonda y mini rotonda organizan el tráfico en una intersección siempre y cuando se justifique su uso, correcto dimensionamiento y señalización.
- La iluminación en las intersecciones es de vital importancia, para evitar los accidentes de tránsito e incluso la seguridad.
- La implementación de pavimento táctil en las veredas de aproximación a las intersecciones es muy favorable para todos los usuarios, en especial para los que tienen problemas visuales.
- Los puentes peatonales son infraestructuras que suprimen el conflicto peatón/vehículo, pero sancionan más a los peatones que a los vehículos, debido a que incrementan el tiempo de cruce. Además, en la mayoría de casos, son excluyentes para los peatones de la tercera edad, para los que transitan en silla de ruedas o discapacitados.
- Las islas de refugio, correctamente dimensionadas como mínimo para discapacitados, son cruciales para la seguridad en las intersecciones con achos de calzada mayores a 14.0m.
- En las intersecciones, la idea de “*sacrificar*” criterios de transporte por los de movilidad son medidas válidas y no se debe entender como una opción negativa para el problema del tráfico. Por ello, es importante convencer a los políticos acerca de los beneficios de la movilidad.
- Es una necesidad imperante proporcionar mayor o absoluta prioridad a los peatones cuyo origen y/o destino sean los centros educativos y hospitales. Por lo que es necesario la implementación de diversos medios de transporte público para estos lugares.
- Las soluciones, para el congestionamiento o accidentes de tránsito, en las intersecciones o vías en general, deben estar siempre enfocadas con el fin de “*atacar*” el origen del problema (soluciones de inicio de tubería).
- El empleo del software de simulación microscópica deben realizarse para situaciones caóticas y siempre y cuando se conozca la base teórica necesaria.

- El éxito de las rampas, para facilitar el cruce de usuarios en sillas de ruedas y de la tercera edad, no radica en el sólo hecho de colocarlas, sino que se deben de respetar las dimensiones, pendientes mínimas y continuidad de las mismas en toda el área de la intersección.
- Finalmente, el diseño y planeamiento de intersecciones no puede estar sometida a sólo las políticas de transporte, en la cual el vehículo tiene la prioridad, debido a que los usuarios más vulnerables (usuarios no motorizados), demandan una distribución más justa del espacio público, en beneficio de la seguridad vial, especialmente y con énfasis en las intersecciones. Por consiguiente, **se prueba la hipótesis del estudio** del acápite 1.3.
- Asimismo, a través del análisis de las diferentes referencias bibliográficas de los diferentes autores, se ha desarrollado una propuesta de diagrama del proceso de diseño y planeamiento de intersecciones urbanas.

Recomendaciones.

- Se recomienda evitar el uso del puente peatonal cerca de las intersecciones controladas por semáforos, debido a que son efectos contrapuestos: La luz roja, para vehículos, permite el cruce de peatones sin necesidad de usar el puente peatonal.
- Brindar una mayor o adicional iluminación en las intersecciones, con el fin de que los conductores identifiquen claramente cuando los peatones desean cruzar o están cruzando la calzada.
- Captura de datos relevantes con el fin de poder escoger y orientar la mejor política vial a seguir, debido a que los parámetros, para el dimensionamiento de intersecciones, veredas de aproximación, infraestructura y facilidades para discapacitados y peatones requieren del conocimiento de un gran número de datos.
- Implementar el marco legal, el cual permita realizar las auditorias de seguridad vial, con el fin de tener un procedimiento sistemático y ordenado cuyo propósito es prevenir y reducir los accidentes de tránsito.
- Así mismo, dentro del grupo de preguntas propuestas por CONASET, se debe de incluir los cuestionamientos correspondientes para las zonas cercanas a los centros de salud en las *listas de chequeo*.

Bibliografía

- CEA. (2011). *Seguridad activa y pasiva del vehículo*. Recuperado el 29 de abril de 2011, de Reportajes del Comisariado Europeo del Automóvil (CEA): Club de automovilistas: <http://www.cea-online.es/reportajes/seguridad.asp>
- CONASET. (Septiembre de 2008). *Manual de uso: Lista de chequeo de la seguridad de tránsito*. Recuperado el 03 de Mayo de 2011, de Ministerio de relaciones exteriores de Chile: Comisión Nacional de Seguridad de Tránsito 2011 (CONASET):
http://www.conaset.cl/cms_conaset/archivos/MANUAL%20DE%20USO.pdf
- Department for Transport. (2003). *Traffic Signs Manual - Chapter 5: Road Marking*. Recuperado el 17 de March de 2011, de Web site Department for Transport: <http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/tss/tsmanual/trafficsignsmanualchapter5.pdf>
- Department of Transport. (1995, April). *The Design of Pedestrian Crossings LTN 2/95*. Retrieved March 16, 2011, from Web site Department for transport : <http://www.dft.gov.uk/pgr/roads/tpm/ltnotes/esignofpedestriancrossin4034.pdf>
- Dextre, J. C. (2010). Hablemos de movilidad y no de tráfico o circulación. *En Vía*, Pag. 4-5.
- Dextre, J. C. (18 de Julio de 2010). *Nuevos paradigmas para la seguridad vial - H01407*. Recuperado el 27 de Abril de 2011, de XVI Pan-American Conference of Traffic and Transportation Engineering and Logistics (PANAM 2010), ISBN 978-989-96986-2-8:
http://www.panam2010.info/PANAM_CONFERENCE_PROCEEDINGS/documents/01407.pdf
- Dextre, J. C., & Cabrera, F. I. (2010). *Uso de las listas de chequeo y microsimulación para mejorar la seguridad de los usuarios vulnerables en zonas urbanas*. Buenos Aires.
- ETSC. (2006). *Road to Respect: An European campaign to for better road safety engineering*. Retrieved April 29, 2011, from European transport safety council ETSC - Documents.:
http://www.etsc.eu/documents/R2R%20lecture_final.pdf

- Google Earth. (25 de March de 2011). Mini-rotonda entre las vías: St. John's road, Station road y B1393 Av. Epping, Londres, Inglaterra.
- Hardy, M., & Wunderlich, K. (October de 2007). *Evacuation management operations (EMO): Transportation modeling inventory*. Recuperado el 30 de Abril de 2011, de Intelligent Transportation System - Publications. :
http://www.its.dot.gov/its_publicsafety/emo/emo.pdf
- HCM 2000. (2000). *Highway Capacity Manual 2000*. USA: Library of Congress Cataloging in Publication Data.
- Highways Agency . (2007, August). *Design of Mini-Roundabouts TD 54/07*. Retrieved March 12, 2011, from Web site Department For Transport:
<http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmrb/vol6/section2/td5407.pdf>
- Highways Agency. (1981, April). *Traffic signals on high speed roads TA 12/81*. Retrieved March 9, 2011, from Department for transport - Design manual for road and bridges:
<http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmrb/vol8/section1/ta1281.pdf>
- Highways Agency. (2001, July). *Specifications for road traffic signals TR 2206A*. Retrieved March 7, 2011, from Web site UK roads:
<http://www.ukroads.org/webfiles/TR2206A.pdf>
- Highways Agency. (2007, August). *Geometric Design of Roundabouts TD16/07*. Retrieved March 12, 2011, from website Highways Agency - DMRB Vol 6, Secc 2, Part 3.:
<http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmrb/vol6/section2/td1607.pdf>
- Highways Agency. (2010, June). *Pedestrian facilities at traffic signal installations*. Retrieved March 4, 2011, from Web site Highways Agency: Design Manual for Roads and Bridges DMRB Vol 8.:
<http://www.dft.gov.uk/ha/standards/dmrb/vol8/section1/ta1581.pdf>
- IHT, I. o. (1997). *Transport in the Urban Enviroment*. London: IHT.
- Instrucción de vía pública. (21 de Diciembre de 2000). *Intersecciones y pasos de peatones: Ficha 5.5*. Recuperado el 27 de Enero de 2011, de Instrucción de vía pública: Ayuntamiento de Madrid:
http://www.urbanismo.munimadrid.es/gmu/area_legislacion_urbanistica/plan_general/comision_seguimiento/dise_via_publica/fic5.5.pdf

- Leder, S. (2008). *Nomadic and settled peoples in steppe landscapes and within statehood*. Retrieved December 27, 2011, from Web site Diference + Integration: Universities of Leipzig and Halle-Wittenberg: <http://www.nomadsed.de/en/nomaden-sesshafte/introduction/>
- Mayoral Grajeda, E. F., Cuevas Colunga, A. C., & Díaz, A. M. (17 de Octubre de 2008). *El "punto negro" en la infraestructura vial y la manera de combatirlo*. Recuperado el 27 de Abril de 2011, de Parlamento Por la seguridad vial - Biblioteca.: http://132.247.253.89/apache2-default/mesa/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=91&Itemid=78
- ONU. (20 de Noviembre de 2009). *Declaración de Moscú, aprobada al término de la Primera Conferencia Ministerial Mundial sobre Seguridad Vial*. Recuperado el 5 de Junio de 2011, de Las Naciones Unidas y La Seguridad Vial: <http://www.un.org/es/comun/docs/?symbol=A/64/540>
- Oregon Department of Transportation. (2007, December). *Oregon Bicycle and Pedestrian Plan*. Retrieved Febrero 10, 2011, from Web site Oregon Bicycle and Pedestrian Program: <http://www.oregon.gov/ODOT/HWY/BIKEPED/planproc.shtml>
- PTV Traffic Mobility Logistics. (2009). *PTV VISION: VISSIM V5.20 User manual*. Recuperado el 11 de Abril de 2011, de Consejo de transporte de Lima y Callao: http://www.ctlc-st.gob.pe/VISSIM_520_e.pdf
- PTV Traffic Mobility Logistics. (2011). *VISSIM V5.0: PTV Traffic mobility logistics*. Retrieved April 11, 2011, from PTV America: <http://www.ptvamerica.com>
- RACC. (1 de Enero de 2004). *Criterios de movilidad en zonas urbanas*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2010, de Sitio web RACC: Publicaciones.: <http://www.racc.es/externos/fundacion/Public.pdf>
- RACC. (1 de Enero de 2004). *Fundación: Estudios y publicaciones RACC*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2010, de Sitio web RACC: www.recc.es
- Roess, R. P., Prassas, E. S., & McShane, W. R. (2004). Traffic Engineering. In R. P. Roess, E. S. Prassas, & W. R. McShane, *Traffic Engineering* (Third Edition ed., pp. 550-564). New Jersey, USA: Pearson.

- Salamanca Garnica, L. (2008). Hacia una movilidad más sostenible. *Noveno Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA): Cumbre de desarrollo sostenible*, (pág. 20). Ponferrada.
- Sanz, A., Mateo, M., & Caparrós, C. (Febrero de 2004). *Pequeña guía de A PIE para pensar la movilidad: A PIE*. Recuperado el 15 de Diciembre de 2010, de Sitio web A PIE: <http://www.asociacionapie.org/>
- Schoon, J. G. (2010). *Pedestrian Facilities: Engineering and geometric design*. Southampton: Thomas telford.
- SEDUVI. (1 de Febrero de 2007). *Transparencia: X Información Relevante - SEDUVI*. Recuperado el 20 de Diciembre de 2011, de Sitio Web: SEDUVI: www.seduvi.df.gob.mx
- Thomson, L., & Bull, A. (Junio de 2001). *La congestión del tránsito urbano: causas y consecuencias económicas y sociales*. Recuperado el 21 de Marzo de 2011, de División de Recursos Naturales e Infraestructura: CEPAL - ONU: <http://www.eclac.org/publicaciones/xml/2/7322/lcl1560e.pdf>
- Transport Research Laboratory. (1996). *The use of traffic signals in developing cities*. Retrieved Marzo 2, 2011, from Transport Links: http://www.transport-links.org/transport_links/filearea/publications/1_710_ORN%2013.pdf
- Wikipedia. (11 de March de 2011). *Roundabouts*. Recuperado el 12 de March de 2011, de web site Wikipedia: <http://en.wikipedia.org/wiki/Roundabout>
- World Bank. (2002). *Cities on the move: a World Bank urban transport strategy review*. Retrieved May 09, 2011, from World Bank: http://siteresources.worldbank.org/INTURBANTRANSPORT/Resources/cities_on_the_move.pdf
- Yachiyo Engineering CO. (Agosto de 2005). *Plan maestro de transporte urbano para el área Metropolitana de Lima y Callao*. Recuperado el 28 de Abril de 2011, de Instituto metropolitano protransporte de Lima.: <http://www.protransporte.gob.pe/pdf/info/publi2/Resumen%20Plan%20Maestro.pdf>