

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LAS INTERSECCIONES DE LA
AVENIDA UNIVERSITARIA ENTRE LAS AVENIDAS VENEZUELA Y
ARGENTINA**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniero Civil

AUTOR:

Luis Fernando Saavedra Vasquez

ASESOR:

Juan Carlos Dextre Quijandría

Lima, Diciembre, 2021

Resumen

Uno de los principales problemas de la ciudad de Lima es la congestión vehicular. Dicho problema es tratado, normalmente, desde el enfoque tradicional de la ingeniería de tránsito, el cual, no toma como prioridad las necesidades de movilidad de los peatones y ciclistas. Por esta razón, en la presente tesis, se evalúa el diseño actual de las intersecciones de la avenida Universitaria con las avenidas Venezuela, Benavides y Argentina desde un enfoque más amplio que considere todos los tipos de movilidad, con la finalidad de proponer soluciones que mejoren los niveles de servicio vehiculares, la movilidad y la accesibilidad de los usuarios vulnerables, la seguridad vial, y el uso del espacio público. Para la evaluación de la capacidad y de los niveles de servicio de las intersecciones, se emplea la metodología propuesta por el Manual de Capacidad del Transportation Research Board (TRB) de los Estados Unidos. Posteriormente, se utilizan listas de chequeo para identificar los problemas de seguridad y la falta de facilidades para los usuarios vulnerables. Tomando como referencia el análisis realizado, se proponen nuevos ciclos semafóricos para las intersecciones que reduzcan las demoras para todos los usuarios; además, se recomiendan medidas que mejoren la seguridad y movilidad de peatones y ciclistas tomando como referencia los lineamientos de manuales de diseño urbano, principalmente, los de la National Association of City Transportation Officials (NACTO). Finalmente, en las conclusiones, se resalta que las tres intersecciones presentan diversos problemas que dificultan el desplazamiento de los usuarios vulnerables, y que, la construcción de infraestructura para autos no solucionó el problema de la congestión vehicular, pues las intersecciones presentan niveles de servicio desfavorables.

ÍNDICE

Capítulo 1: Introducción	1
1.1. Planteamiento del problema y justificación	1
1.2. Objetivos	2
1.2.1. Objetivo general	2
1.2.2. Objetivos específicos	2
1.3. Hipótesis de trabajo.....	3
1.4. Alcances y limitaciones	3
Capítulo 2: Revisión de la literatura	4
2.1 Movilidad sostenible.....	4
2.1.1 Evolución hacia la Movilidad Sostenible.....	4
2.1.2 Objetivos y Prioridades de la Movilidad Sostenible	5
2.2. Gestión de tránsito en intersecciones semaforizadas	6
2.2.1 Capacidad y nivel de servicio	6
2.2.2. Modelo de capacidad para intersecciones semaforizadas	7
2.2.3. Diseño de la regulación semafórica	8
2.3. Diseño vial urbano	9
2.3.1 Canalización.....	10
2.3.2 Radios en las esquinas.....	11
2.3.3 Distancias de visibilidad	12
2.4. Seguridad vial	13
2.4.1 Enfoque sistémico de los accidentes	13
2.4.2 Auditorías e Inspecciones de seguridad vial	14
2.5. Facilidades para usuarios vulnerables.....	15
2.5.1 Facilidades para peatones.....	15
2.5.2 Diseño orientado a personas con discapacidad	22
2.5.3 Facilidades para ciclistas.....	23
2.6 Espacio público.....	26
2.6.1 Intervención de espacios públicos: Ejemplos de recuperación de espacios para peatones ..	27
Capítulo 3: Metodología	29
3.1. Gestión del tránsito	29
3.1.1. Recolección de datos.....	30
3.1.2. Niveles de servicio actuales	30
3.1.3. Optimización de los tiempos del semáforo	38
3.2. Facilidades para usuarios vulnerables.....	40
Capítulo 4: Análisis del problema de la movilidad.....	45

4.1 Intersección 1: Av. Universitaria con Av. Venezuela.....	45
4.1.1 Acceso Sur	46
4.1.2 Acceso Este.....	48
4.1.3 Acceso Norte.....	49
4.1.4 Acceso Oeste.....	51
4.1.5 Para todos los cruces	52
4.2 Intersección 2: Av. Universitaria con Av. Benavides	54
4.3 Intersección 3: Av. Universitaria con Av. Argentina.....	58
4.3.1 Acceso Sur	59
4.3.2 Acceso Este.....	60
4.3.3 Acceso Norte.....	60
4.3.4 Acceso Oeste.....	61
4.3.5 Para todos los accesos.....	62
Capítulo 5: Análisis y propuesta de la gestión del tránsito	64
5.1 Intersección 1: Av. Universitaria con Av. Venezuela.....	64
5.1.1 Datos de entrada.....	64
5.1.2 Determinación del nivel de servicio.....	67
5.1.3 Comentarios de los niveles de servicio	71
5.1.4 Optimización del ciclo del semáforo.....	72
5.2 Intersección 2: Av. Universitaria con Av. Benavides	73
5.2.1 Datos de entrada.....	73
5.2.2 Determinación del nivel de servicio.....	77
5.2.3 Comentarios de los niveles de servicio	80
5.2.4 Optimización del ciclo del semáforo.....	82
5.3 Intersección 3: Av. Universitaria con Av. Argentina.....	84
5.3.1 Datos de entrada.....	84
5.3.2 Determinación del nivel de servicio.....	88
5.3.3 Comentarios de los niveles de servicio	91
5.3.4 Optimización del ciclo del semáforo.....	92
Capítulo 6: Propuesta de rediseño.....	96
6.1 Intersección 1: Av. Universitaria – Av. Venezuela.....	96
6.2 Intersección 2: Av. Universitaria – Av. Benavides.....	101
6.3 Intersección 3: Av. Universitaria – Av. Venezuela.....	102
Capítulo 7: Conclusiones	106
Capítulo 8: Recomendaciones.....	109
Capítulo 9: Bibliografía	109

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Mapa de ubicación de las intersecciones en estudio comprendidas en el eje vial de la avenida Universitaria	4
Figura 2.1: Orden de prioridades bajo el enfoque de la Movilidad Sostenible	6
Figura 2.2: Diagrama de descarga de un periodo de verde saturado	8
Figura 2.3: Canalización de giro con semáforo	11
Figura 2.4: Influencia del radio de esquina en la velocidad del vehículo y en la distancia de cruce del peatón.....	11
Figura 2.5: Triángulos visuales en intersecciones semaforizadas.....	13
Figura 2.6: Influencia del radio de giro en la distancia de cruce del peatón.....	15
Figura 2.7: Línea de parada reubicada y restricción de parqueo.....	16
Figura 2.8: Martillos en esquinas.....	17
Figura 2.9: Extensión de acera para recuperar espacio público	17
Figura 2.10: Extensión de acera para ubicar paraderos.....	17
Figura 2.11: Isla de refugio accesible	17
Figura 2.12: Propuesta de la fundación RAAC para redefinir los pasos de peatones.....	18
Figura 2.13: Ancho de vereda que permite la circulación de 2 sillas de ruedas.	19
Figura 2.14: Espacio deseado para que 2 personas pasen cómodamente. Áreas de baja a moderada actividad peatonal	19
Figura 2.15: Espacio mínimo para que pequeños grupos pasen cómodamente. Áreas de moderada a alta actividad peatonal.....	19
Figura 2.16: Espacio mínimo para que grupos más grandes pasen cómodamente. Áreas de elevada actividad peatonal	19
Figura 2.17: Anchos referenciales para el mobiliario urbano: Postes de luz, paradero de buses, kiosco	20
Figura 2.18: Intervalo peatonal adelantado.....	20
Figura 2.19: Split Phasing.....	21
Figura 2.20: Usos de los pavimentos táctiles	22
Figura 2.21: Pendientes máximas de la rampa.....	23
Figura 2.22: Dimensiones en rebaje de vereda angosta	23
Figura 2.23: Parada adelantada para ciclistas	24
Figura 2.24: Parada adelantada para girar a la izquierda	25
Figura 2.25: Marcas que delimitan la trayectoria de los ciclistas	26
Figura 2.26: Diseño de una plaza de calzada	27
Figura 2.27: Recuperación del espacio público en intersecciones complejas.....	28
Figura 2.28: Formas de aumentar el espacio caminable en las esquinas	28
Figura 2.29: Mejoramiento de una mediana con mobiliario urbano en Nueva York.....	28

Figura 2.30: Plaza provisional en curva.....	28
Figura 2.31: Radio de giro grande que resulta en altas velocidades vehiculares y poca visibilidad.....	28
Figura 2.32: Menor radio de giro que disminuye la velocidad de vehículos y mejora la visibilidad ...	28
Figura 2.33: Se elimina el giro canalizado aumentando el espacio peatonal, donde se puede incluir mobiliario urbano.....	28
Figura 2.34: Eliminación de giro canalizado para crear una plaza de calzada.....	29
Figura 3.1: Intervalo de cambio de fase	39
Figura 4.1: Zonificación de la intersección 1 en 4 accesos.....	45
Figura 4.2: Señal de tránsito mal ubicada	46
Figura 4.3: Peatones cruzando por una zona peligrosa	46
Figura 4.4: Los vehículos que giran a la derecha no siempre reducen la velocidad	46
Figura 4.5: Imagen aérea de la intersección que muestra la línea de deseo peatonal y el cruceo peatonal existente.....	47
Figura 4.6: Esquinas inaccesibles para acceder al cruceo N°2	47
Figura 4.7: Efecto barrera para llegar al cruceo peatonal N°2.....	47
Figura 4.8: Combi recogiendo pasajeros sobre el cruceo peatonal.....	48
Figura 4.9: Combi recogiendo pasajeros antes del cruceo peatonal	48
Figuras 4.10, 4.11 y 4.12: Bloques de concreto armado bloqueando la vereda.....	48
Figura 4.13: Bloqueo de la visibilidad antes del cruce	49
Figura 4.14: Muro de concreto bloquea la visibilidad	49
Figura 4.15: Vista en planta del problema de visibilidad.....	49
Figura 4.16: Pequeños negocios ocupando la vereda.....	49
Figura 4.17: La mitad del ancho de vereda es ocupado por los comerciantes	50
Figuras 4.18 y 4.19: Superficie inadecuada para el tránsito de peatones.....	50
Figura 4.20: Peatón caminando muy cerca de la calzada.....	50
Figura 4.21: Cruceo N°6 sin rampas de acceso y esquina siendo ocupada por comerciantes	51
Figura 4.22: Cruceo inseguro sin rampas de acceso.....	51
Figura 4.23: Rampa mal ubicada	51
Figuras 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27: Semáforos peatonales inoperativos	52
Figura 4.28: Áreas verdes sin mantenimiento en la isla canalizadora izquierda.....	52
Figura 4.29: Áreas verdes sin mantenimiento en la isla canalizadora derecha	52
Figura 4.30: Mototaxi en la avenida	53
Figuras 4.31 y 4.32: Espacio debajo de la calzada elevada luce abandonado y desatendido.....	53
Figura 4.33: Foto panorámica donde se aprecia los miles de metros cuadrados debajo de la calzada elevada	53
Figura 4.34: Tramo existente de ciclovía bidireccional en la Av. Universitaria.....	54

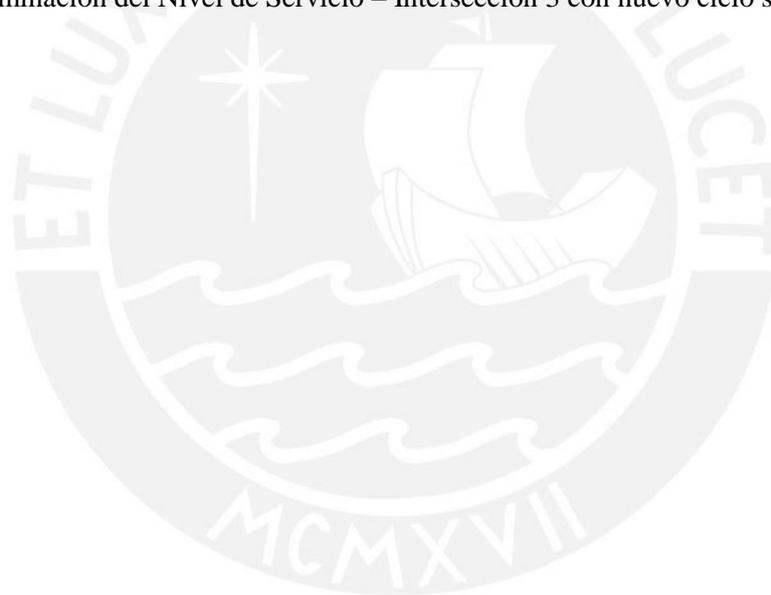
Figura 4.35: Cruceos peatonales en la intersección 2.....	54
Figuras 4.36 y 4.37: Vehículos estacionados frente al mercado Colonial	55
Figura 4.38: Congestión vehicular por la reducción de la capacidad de la vía de giro.....	55
Figura 4.39: Bloqueo de la visibilidad en el cruce.....	55
Figuras 4.40 y 4.41: Semáforos peatonales inoperativos	56
Figura 4.42: Semáforo ubicado antes del cruceo peatonal, siendo sus luces indetectables por los peatones esperando a cruzar.....	56
Figura 4.43: Desorden en los dos tipos de flujos por no existir una delimitación clara.....	57
Figura 4.44: Bloqueo de la vía para ciclistas	57
Figura 4.45: Fotografía aérea de la intersección 2 del año 2005	58
Figura 4.46: Zonificación de la intersección 3 por accesos	59
Figura 4.47: Vereda discontinua.....	59
Figura 4.48: Desaprovechamiento del espacio público en la vereda	60
Figura 4.49: Obstrucción de la vereda izquierda	60
Figura 4.50: Obstrucción de la vereda derecha.....	60
Figura 4.51: Cruceo peatonal N°3 despintado	61
Figura 4.52: Cruceo peatonal N°5 despintado	61
Figura 4.53: Cruceo peatonal N°4 despintado	61
Figura 4.54: Isla de refugio angosta con obstáculos	62
Figuras 4.55, 4.56, 4.57 y 4.58: Falta de rampas en los accesos a los cruceos.....	62
Figura 4.59: Camino peatonal al mismo nivel de la calzada por la presencia de estacionamientos y entradas de vehículos	63
Figura 4.60: La vereda pierde continuidad en la entrada de vehículos.....	63
Figura 5.1: Movimientos en la intersección N°1 con la nomenclatura a usarse.....	64
Figura 5.2: Cantidad de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 1	66
Figura 5.3: Fases de la intersección 1	67
Figura 5.4: Movimientos en la intersección N°2 con la nomenclatura a usarse.....	74
Figura 5.5: Volumen de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 2.....	76
Figura 5.6: Fases de la intersección 2	77
Figura 5.7: Diagrama de fases propuesto – Intersección 2	84
Figura 5.8: Movimientos en la intersección N°3 con la nomenclatura a usarse.....	85
Figura 5.9: Volumen de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 3.....	87
Figura 5.10: Fases de la intersección 3	88
Figura 5.11: Diagrama de fases propuesto – Intersección 3	95

Figura 6.1: Señal de cruce peatonal	96
Figura 6.2: Señal proximidad de cruce peatonal.....	97
Figura 6.3: Señal R-42B	103

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1. Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas	7
Tabla 2.2: Valores de diseño para distancia de visibilidad de parada.....	12
Tabla 2.3: Valores de diseño para distancia de visibilidad de decisión	12
Tabla 2.4: Pendiente de las rampas en función de la limitación de velocidad.....	18
Tabla 3.1: Equivalencias para vehículos pesados	33
Tabla 3.2: Factores de utilización de carril predeterminados por el HCM	35
Tabla 3.3: Niveles de servicio en base a la demora por control.....	38
Tabla 3.4: Lista de chequeo - Las calles	42
Tabla 3.5: Lista de chequeo - Las intersecciones.....	43
Tabla 5.1: Movimientos en la intersección N°1	64
Tabla 5.2: Volumen vehicular en la HMD – Intersección 1	65
Tabla 5.3: Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la Hora de Máxima Demanda – Intersección 1	66
Tabla 5.4: Parámetros de entrada – Intersección 1	67
Tabla 5.5: Ajuste de volúmenes – Intersección 1	68
Tabla 5.6: Flujo de saturación ajustado – Intersección 1	69
Tabla 5.7: Capacidad y grado de saturación – Intersección 1.....	70
Tabla 5.8: Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 1	70
Tabla 5.9: Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 1	71
Tabla 5.10: Determinación de parámetros “y” – Intersección 1	73
Tabla 5.11: Nomenclatura de los movimientos – Intersección 2	73
Tabla 5.12: Volumen vehicular en la HMD – Intersección 2	75
Tabla 5.13: Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la HMD – Intersección 2 ..	75
Tabla 5.14: Parámetros de entrada – Intersección 2	76
Tabla 5.15: Ajuste de volúmenes – Intersección 2	78
Tabla 5.16: Flujo de saturación ajustado – Intersección 2	79
Tabla 5.17: Capacidad y grado de saturación – Intersección 2.....	79
Tabla 5.18: Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 2	80
Tabla 5.19: Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 2	80
Tabla 5.20: Longitud de intervalos de cambio de fase – Intersección 2	82

Tabla 5.21: Determinación de las relaciones “y” – Intersección 2	83
Tabla 5.22: Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 2 con nuevo ciclo semafórico	84
Tabla 5.23: Volumen vehicular en la HMD – Intersección 3	86
Tabla 5.24: Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la HMD – Intersección 3 ..	86
Tabla 5.25: Parámetros de entrada – Intersección 3	87
Tabla 5.26: Ajuste de volúmenes – Intersección 3	89
Tabla 5.27: Flujo de saturación ajustado – Intersección 3	89
Tabla 5.28: Capacidad y grado de saturación – Intersección 3	90
Tabla 5.29: Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 3	90
Tabla 5.30: Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 3	90
Tabla 5.31: Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 3 con cambios	93
Tabla 5.32: Longitud de intervalos de cambio de fase – Intersección 3	93
Tabla 5.33: Determinación de las relaciones “y” – Intersección 2	94
Tabla 5.34: Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 3 con nuevo ciclo semafórico	95



Capítulo 1: Introducción

1.1. Planteamiento del problema y justificación

En los últimos años, el parque vehicular peruano ha experimentado un incremento significativo. Según el documento estadístico *Parque Vehicular en la Comunidad Andina*, este ha aumentado 250% entre los años 2008 y 2017 (Comunidad Andina [CAN], 2018, p. 3). La ciudad de Lima no ha sido ajena a este incremento, el cual ha generado diversos problemas urbanos como la congestión vehicular y la contaminación, los cuales, afectan a la salud y ocasionan pérdidas económicas. Según el informe *2018 World Air Quality Report*, Lima es una de las ciudades con el aire más contaminado de América Latina (IQAir AirVisual, 2019, p. 8). En cuanto a la contaminación sonora, el 90% de zonas de la capital exceden los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido (OEFA, 2016, p. 45).

La congestión vehicular es un problema presente en la avenida Universitaria, cuya causa no está íntegramente relacionada a la capacidad de la vía, pues esta tiene carriles suficientes para soportar un gran flujo en ambos sentidos. Con respecto a este punto, según el libro publicado por el Banco Mundial *Ciudades Eco2. Ciudades ecológicas como ciudades económicas*, “la mayor parte de la congestión en las vías arteriales de las áreas densas viene causada por una fluidez limitada en las intersecciones más que por las dimensiones de las secciones de las calzadas intermedias” (Suzuki et al., 2010, p. 302). En ese sentido, los cruces de la avenida Universitaria con las avenidas Venezuela, Benavides y Argentina presentan diversos problemas. Uno de los principales está relacionado a la semaforización, cuyo sistema no cubre la demanda actual. Para solucionar el problema de la congestión, se han construido calzadas elevadas en las intersecciones con las avenidas Venezuela y Benavides. Estas obras, junto con los puentes peatonales, han tomado el espacio público y dificultan la movilidad de peatones y ciclistas.

Continuando con el punto anterior, la construcción de viaductos, puentes peatonales y, en general, infraestructura para autos crea un efecto barrera, que es la segregación del territorio producto de la construcción de infraestructura para la circulación de vehículos (Dextre y Avellaneda, 2014, p. 19). Este efecto es muy perjudicial, en especial para los usuarios vulnerables: peatones, ciclistas y personas con discapacidad. Esto, debido a que, para movilizarse, deben seguir rutas más largas o inaccesibles para ellos. Otro problema relacionado a la construcción de este tipo de infraestructura es la pérdida del espacio público.

La avenida Universitaria es una vía arterial de suma importancia por el flujo vehicular que soporta. Mejorar la fluidez vehicular y la movilidad de los usuarios vulnerables en las intersecciones en estudio beneficiaría a todos los usuarios que transiten por la vía, en especial a los estudiantes de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) y de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos (UNMSM).

El problema, particularmente, se puede dividir en dos: el de la congestión vehicular y el de la movilidad de los usuarios vulnerables. El primero se podría mejorar con una nueva configuración semafórica que se adapte mejor a las demandas actuales. Sin embargo, probablemente eso, por sí solo, no sea suficiente. Esto porque, normalmente, cuando una vía mejora sus niveles de servicio por alguna medida que aumente su capacidad ocurre el fenómeno de la oferta-demanda: al aumentar la capacidad de una vía se está aumentando la oferta. Al ocurrir ello, la demanda tiende a aumentar porque trata de igualarla, es decir, en el mediano o largo plazo, más autos circularán por esa vía y la congestión va a seguir. Con respecto a este punto, Lerner (2005) indica que el colesterol humano es la acumulación en nuestras venas y arterias del uso excesivo del automóvil y la solución es, simplemente, usar menos el coche. Por ello, es importante enfocar el problema considerando a los usuarios vulnerables y el espacio público porque, si estos mejoran, no solo se genera mayor confort y seguridad para los peatones y ciclistas, también, se incentiva la caminata y el uso de la bicicleta y, por consiguiente, se usa menos el automóvil.

La inacción frente a este problema traería muchas consecuencias. Primero, la congestión vehicular seguiría igual, junto con todas las externalidades negativas del transporte: contaminación atmosférica, contaminación acústica y pérdidas económicas. Segundo, la falta de facilidades a los usuarios vulnerables afecta, particularmente, al grupo de los muy vulnerables, quienes serían los niños, ancianos y personas con discapacidad. Según Dextre y Avellaneda (2014), con la motorización de las ciudades, este grupo es muy afectado, pues pierden autonomía para desplazarse por ellos mismos, siempre tienen que ir acompañados en sus desplazamientos (p. 59). Tercero, la falta de espacio público que ha tomado el automóvil ocasiona que se pierda el carácter socializador que este posee, lo cual tiene graves consecuencias sociales para la comunidad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general

El objetivo general del proyecto es realizar un rediseño de las intersecciones de la avenida Universitaria con las avenidas Venezuela, Argentina y Benavides desde el enfoque multidisciplinario de la gestión de la movilidad.

1.2.2. Objetivos específicos

- Realizar el aforo y clasificación vehicular en las intersecciones de la avenida Universitaria comprendidas entre las avenidas Venezuela y Argentina.
- Determinar los actuales niveles de servicio de las intersecciones en estudio por medio del procedimiento descrito en el Manual de Capacidad para intersecciones semaforizadas.
- Evaluar la seguridad vial y las dificultades de movilidad de los usuarios vulnerables en las intersecciones en estudio por medio de listas de chequeo.

- Proponer alternativas de solución para disminuir la congestión vehicular y para contribuir con la movilidad y la seguridad de los usuarios vulnerables.

1.3. Hipótesis de trabajo

La investigación considera las siguientes hipótesis de trabajo:

- El diseño de las intersecciones en estudio no toma en cuenta las necesidades de los usuarios vulnerables, por lo que, se presentan problemas de movilidad para estos.
- El intento de mejorar el tránsito construyendo más infraestructura para autos, como el viaducto en la intersección de las avenidas Universitaria-Venezuela, no ha funcionado.
- La informalidad, presente en las intersecciones en estudio, genera entropía, que dificulta la medición real del estado del tránsito y, además, está directamente relacionada a las dificultades de movilidad de los usuarios vulnerables.
- Los accesos en las intersecciones presentan demoras elevadas, lo que resulta en niveles de servicio vehiculares desfavorables.

1.4. Alcances y limitaciones

El presente proyecto solo abarca el estudio y la mejora de 3 intersecciones, así como de sus accesos (norte, sur, este y oeste) en una distancia de 75m a la línea de parada. El análisis de las mismas va a realizarse de manera independiente y considerando, para el análisis del tráfico vehicular, que son aisladas, ya que, no se cuenta con datos de tráfico de las intersecciones cercanas.

La metodología a utilizar para determinar los niveles de servicio en cada intersección es la descrita en el Manual de Capacidad (HCM) para intersecciones semaforizadas. Dicho manual es producto de décadas de estudios realizados en las vías de los Estados Unidos de América y utiliza parámetros que no se han verificado para condiciones locales, principalmente en lo que se refiere al comportamiento de conductores y características de parque automotor. Es por ello que algunos parámetros de las ecuaciones van a adaptarse a la realidad local utilizando como referencia investigaciones en Perú y Latinoamérica. El detalle de los cambios a la metodología oficial del HCM es explicado en el Capítulo 3 de la presente tesis. Por lo descrito líneas arriba, el modelo utilizado para determinar los niveles de servicio de las intersecciones en estudio es estimado y no es parte del presente proyecto la verificación del mismo.

En relación con la metodología descrita en el HCM, se precisa que la versión a utilizar es la edición N°4. Esto debido a que las versiones posteriores demandan más recursos, tanto para la obtención del manual como para la medición de todos los datos de entrada. Para la presente tesis, no se cuentan con dichos recursos adicionales.

Para evaluar la movilidad de los usuarios vulnerables, se adaptan listas de chequeo del *US Department of Transportation* y se utilizan manuales de diseño urbano, en especial, los de la *National Association of City Transportation Officials* (NACTO). A partir del diagnóstico realizado, se proponen soluciones que faciliten la movilidad de los usuarios vulnerables, las cuales, se van a plasmar en planos en planta para cada intersección en estudio.

A continuación, se muestra en la figura N°1.1 un mapa con las intersecciones.

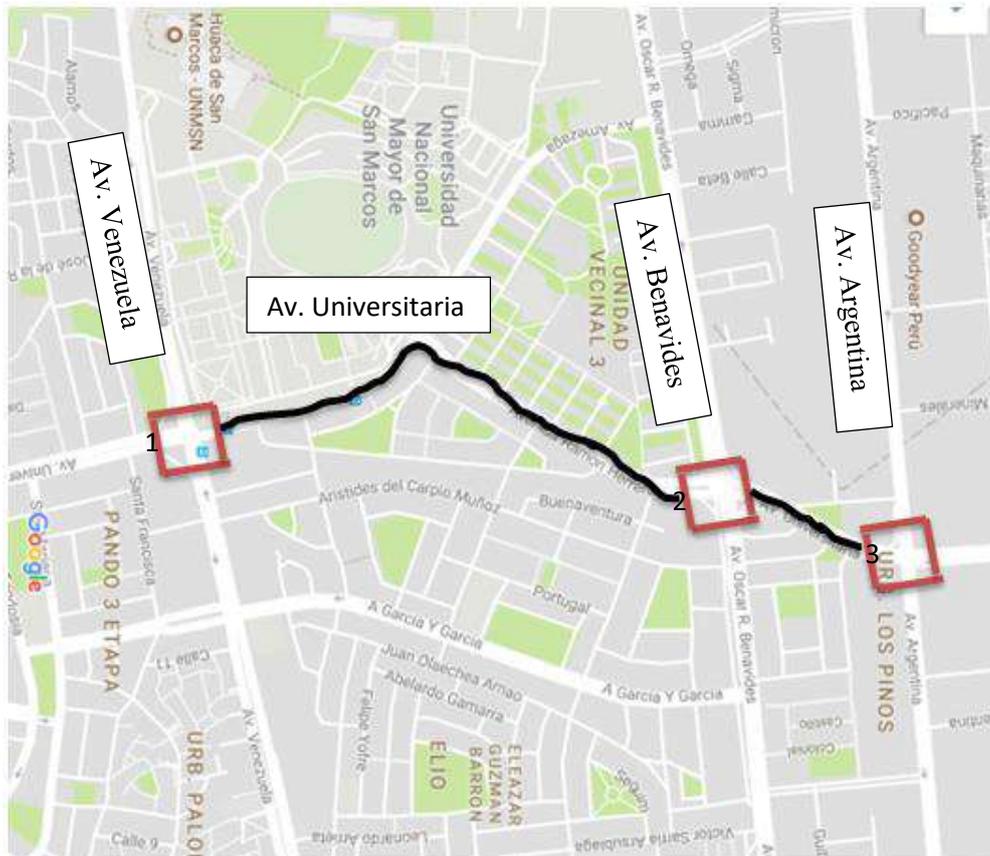


Figura 1.1: Mapa de ubicación de las intersecciones en estudio comprendidas en el eje vial de la avenida Universitaria
Tomado de Google Maps (Adaptado)

Capítulo 2: Revisión de la literatura

2.1 Movilidad sostenible

2.1.1 Evolución hacia la Movilidad Sostenible

Dextre y Avellaneda (2014), en su libro *Movilidad en Zonas Urbanas*, explican las diferencias entre los distintos enfoques para combatir la congestión vehicular. A continuación, se resumen dichos enfoques desde el más antiguo al más reciente:

- El diseño en función de la circulación o el tráfico propone soluciones relacionadas con construir infraestructura para autos: ampliando carriles de circulación y construyendo pasos a desnivel, intercambios viales, etc. Este enfoque no ha resuelto los problemas que se quería solucionar, sino que ha creado otros: dificultades de desplazamiento para peatones, falta de espacios seguros para bicicletas, segregación territorial, efecto barrera, etc.
- El diseño en función del transporte público apuesta por la promoción del transporte colectivo, que se ha manifestado en un mayor aprovechamiento del espacio público, menor contaminación y menor índice de accidentes de tránsito.
- El diseño en función de la movilidad invita a preocuparse por las necesidades de movimiento de las personas y las mercancías sin que sea imprescindible el vehículo a motor. En este enfoque, se toma en cuenta las necesidades de movilidad de todas las personas: los peatones, los ciclistas, los usuarios de transporte público, los motoristas, los usuarios de autos, las personas con discapacidad, etc.
- El diseño en función de la movilidad sostenible considera los impactos ambientales de los desplazamientos. En ese sentido, en este enfoque se le da prioridad al transporte público que mueve más personas por vehículo. También, se le da prioridad a los desplazamientos andando y en bicicleta, garantizando la seguridad y accesibilidad de los usuarios vulnerables. (p. 31).

2.1.2 Objetivos y Prioridades de la Movilidad Sostenible

Sobre la movilidad sostenible, esta “se enfoca en el fomento de las dimensiones sociales, la accesibilidad, la integración de las personas y el tráfico, la preservación del ambiente y el desarrollo económico en torno a los sistemas de transporte” (Quintero Gonzales, 2017, p 70). Sanz (2010) sostiene que una planificación urbanística basada en este enfoque tiene que buscar los siguientes objetivos:

- Crear proximidad: Establecer las condiciones urbanísticas que permitan la satisfacción de las necesidades básicas sin tener que recurrir al transporte motorizado. Los equipamientos, la actividad económica, las viviendas etc., en el radio de acción de la marcha a pie y la bicicleta.
- Hacer atractivos los medios de transporte más sostenibles: Configurar las redes y el espacio público desde la perspectiva de las personas que caminan, pedalean o emplean el transporte colectivo. Comodidad, atractivo ambiental y social y seguridad para toda la población en sus recorridos no motorizados y en el acceso al transporte colectivo.
- Evitar la dependencia del automóvil: Eludir estructuras urbanísticas dependientes del automóvil, es decir, espacios cuya movilidad sólo queda satisfecha adecuadamente mediante el uso del coche.

- Crear espacio público vivo: El espacio público no es sólo para circular sino también para habitar, para conversar, para jugar, para estar. La riqueza social y ambiental estimula la movilidad peatonal y ciclista.
- Adecuar las velocidades al tejido urbano: Las velocidades de circulación repercuten en la calidad y seguridad del espacio público y en la generación de condiciones apropiadas o no apropiadas para los diferentes modos de movilidad.
- Evitar la sobreprotección del automóvil: Eludir estructuras urbanas que primen la motorización y hagan menos atractivos y útiles los modos de transporte más sostenibles.
- Garantizar la accesibilidad universal en el viario y los medios de transporte: Aplicar criterios de diseño accesible para todos en el espacio público y en los medios de transporte. (p. 3)

En ese sentido, el objetivo prioritario de las actuaciones en materia de movilidad urbana no es la fluidez del tráfico, sino la seguridad de todos los usuarios del espacio público de acuerdo con esta jerarquía de autoridades (DGT, 2007):

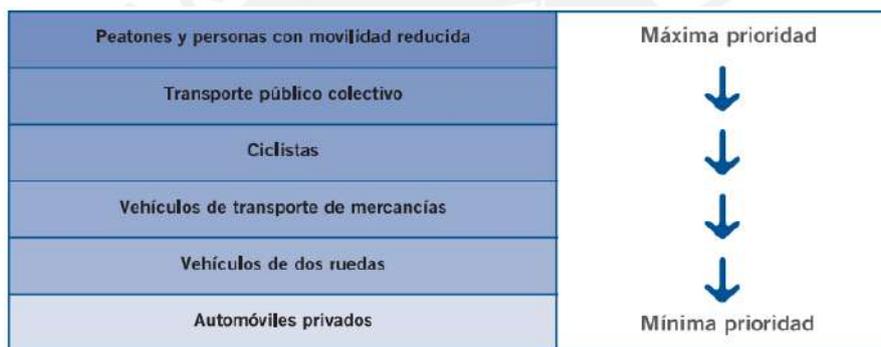


Figura 2.1: Orden de prioridades bajo el enfoque de la Movilidad Sostenible Tomado de *Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008*, por DGT (2007)

Como se ha mostrado líneas arriba, la gestión de la movilidad sostenible es un enfoque multidisciplinario, que considera, aparte del tráfico, la movilidad, seguridad y accesibilidad de todos los usuarios, en especial, de los vulnerables. A continuación, se tratarán por separado los subtemas principales de la gestión de la movilidad sostenible para intersecciones semaforizadas: la gestión del tránsito, el diseño vial urbano, la seguridad vial, las facilidades para peatones y ciclistas, y el espacio público.

2.2. Gestión de tránsito en intersecciones semaforizadas

2.2.1 Capacidad y nivel de servicio

La referencia técnica más utilizada internacionalmente en los análisis de tráfico es el Manual de Capacidad (Transportation Research Board [TRB], 2000), cuya primera edición fue publicada en 1950 por el *Highway Research Board* de los Estados Unidos de América. En dicha edición, se

establecieron por primera vez procedimientos para estimar la capacidad en vías e intersecciones, pero no fue hasta 1985, cuando se desarrolla el concepto de nivel de servicio.

Cal y Mayor (2018) define estos conceptos de la siguiente manera:

- Capacidad de una infraestructura vial: “Representa la tasa máxima de flujo a la cual se espera que los vehículos o personas razonablemente puedan pasar por un punto o sección uniforme de un carril o calzada, durante un intervalo de tiempo dado, bajo las condiciones prevalecientes de la infraestructura vial, del medio ambiente, del tránsito y de los dispositivos de control” (p. 397).
- Nivel de servicio: Medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular, y de su percepción por los motoristas y / o pasajeros. El Highway Capacity Manual (HCM) establece seis niveles de servicio, los cuales son descritos usando letras desde la A hasta la F, siendo el primero el que representa las mejores condiciones operativas y el último, las peores (p. 398).

Para el caso de intersecciones semaforizadas, el nivel de servicio es definido por la demora de control (TBR, 2000). En la siguiente tabla, se muestra la correspondencia entre estos dos parámetros según el HCM.

Tabla 2.1. Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

Nivel de Servicio	Condiciones de operación	Demora de control (s/veh)
A	Operación con demoras muy bajas. La mayoría de vehículos llegan durante la fase verde y no se detienen del todo. Longitudes de ciclo corto puede contribuir a demoras mínimas.	≤10
B	Operación con demoras bajas. Algunos vehículos comienzan a detenerse.	>10-20
C	A pesar de que la progresión es aún favorable, algunos ciclos empiezan a malograrse, donde sus longitudes son relativamente moderadas.	>20-35
D	Las demoras pueden deberse a la mala progresión del tránsito o llegadas en la fase roja, longitudes de ciclo amplias, relaciones v/c (volumen a capacidad) muy altas. Muchos vehículos se detienen.	>35-55
E	Las demoras son elevadas, causadas por progresiones pobres, ciclos muy largos y relaciones v/c muy altas.	>55-80
F	El tiempo de demora es inaceptable para la mayoría de los conductores. Los flujos de llegada exceden la capacidad de la intersección, lo que ocasiona congestión y operación saturada.	>80

Nota. Adaptado de “Ingeniería de tráfico: Fundamentos y Aplicaciones”, por Cal y Mayor, y Cárdenas (2018)

2.2.2. Modelo de capacidad para intersecciones semaforizadas

En su libro *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*, Fernández y Dextre (2011) explican el modelo de capacidad para intersecciones semaforizadas, el cual consiste en dar prioridad absoluta a

cada acceso durante lapsos que se repiten cíclicamente con periodo C . En otras palabras, para cada acceso, durante el rojo, la capacidad será cero y, durante el verde, será el flujo de saturación. Este flujo “es la máxima cantidad de vehículos que pueden ser descargados desde una cola durante el tiempo de verde de ese acceso” (Fernández y Dextre, 2011, p. 59). Sin embargo, el flujo de saturación no se alcanza inmediatamente, ya que, cuando el semáforo da el verde, los vehículos demoran en ponerse en movimiento. También, se considera que el flujo no se detiene al acabar la fase de verde pues algunos vehículos alcanzan a pasar en la fase ámbar. Al final, se tiene que el flujo no es constante y es complicado trabajarlo así. Por eso, se define la curva de descarga efectiva, la cual tiene la misma altura S (flujo de saturación) y encierra la misma área de la curva de descarga real, pero con un ancho igual al verde efectivo. Este modelo se presenta en la figura 2.2.

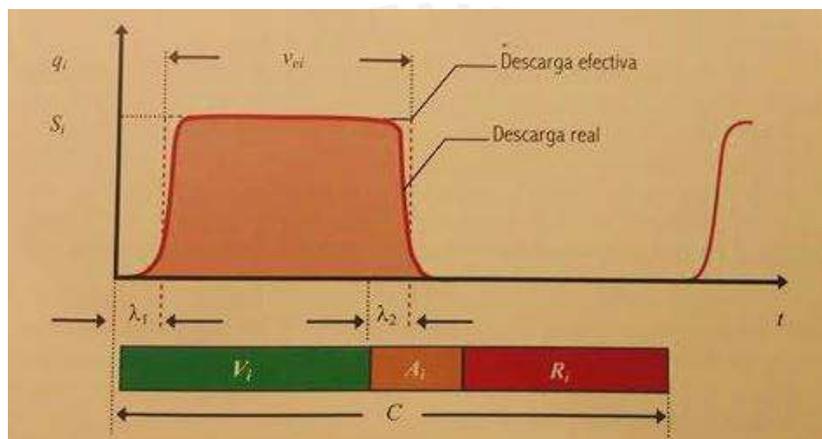


Figura 2.2: Diagrama de descarga de un periodo de verde saturado Tomado de “Elementos de la teoría del tráfico vehicular”, por Fernández y Dextre (2011)

A partir del modelo definido, los autores llegan a 2 conclusiones. La primera es que la capacidad de un acceso semaforizado es bastante menor que su flujo de saturación. La segunda, que, para la misma intersección, mismos flujos y mismos conductores, pero con otra programación del semáforo, se obtienen grados de saturación diferentes.

2.2.3. Diseño de la regulación semafórica

En su libro *Apuntes de tráfico y seguridad viaria*, Pardillo y Jurado (2015) definen los principales parámetros de regulación semafórica.

- Fase: Cada uno de los estados o combinaciones de luces rojas y verdes que pueden estar simultáneamente encendidas en el conjunto de semáforos que regulan una intersección.
- Ciclo: Tiempo necesario para que se dé una sucesión completa de indicaciones en los semáforos conectados a un mismo regulador.

- Despeje: Tiempo necesario para que los vehículos que han accedido a la intersección por uno de los ramales o calle, salgan de la zona de intersección y la dejen totalmente libre
- Reparto del ciclo: Distribución de este entre los distintos ramales que confluyen en la intersección.

Para los autores, el número de fases debe ser el menor posible, ya que, con ello, se reducen los tiempos perdidos en cada ciclo. Además, se debe procurar que el número de movimientos simultáneos sin conflicto entre sí debe ser máximo. También, recomiendan que el recorrido dentro de la intersección debe ser lo más corto posible para reducir los tiempos de despeje. Cuando un ciclo se divide en más de dos fases, es necesario considerar el orden en que se producen, ya que, ello influye en la seguridad y rendimiento de la intersección. Por último, hacen resaltar la importancia de actualizar el plan de fases periódicamente pues la demanda de tráfico cambia a lo largo del tiempo (Pardillo y Jurado, 2015).

El manual *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* de la *Federal Highway Administration* (FHWA) de los Estados Unidos presenta varias combinaciones para la determinación de fases de semáforo. Algunos ejemplos se muestran a continuación (FHWA, 2009):

- Fase con giro a la izquierda permitido: el giro a la izquierda está permitido, pero debe dar prioridad a los vehículos en flujo recto y a los peatones.
- Fase con giro a la izquierda protegido: Existe una fase separada, indicada en el semáforo con una flecha verde, que permite el giro a la izquierda sin entrar en conflicto con tráfico vehicular o peatonal.
- Fase con giro a la izquierda permitido-protegido: Combina los dos primeros tipos de configuración de fase.
- Prohibición de los giros a la izquierda
- Fase de giro a la derecha

2.3. Diseño vial urbano

La referencia técnica más utilizada en el diseño de calles y carreteras es el manual *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets* de la Asociación Americana de Oficiales de Carreteras Estatales y Transportes (AASHTO). En dicho manual, se señalan todos los criterios que se tienen en cuenta al momento de diseñar todo tipo de vías, incluyendo intersecciones. Como esta investigación se centra en las intersecciones, específicamente, intersecciones semaforizadas, se usará como principal referencia el manual *Signalized intersections: Informational Guide* de la FHWA que recoge los principales lineamientos del manual de la AASHTO para intersecciones semaforizadas.

2.3.1 Canalización

La canalización consiste en direccionar los movimientos en la intersección mediante isletas físicas o marcas en el pavimento. El manual “Signalized intersections: Informational Guide” menciona los siguientes principios de la canalización (FHWA, 2013):

- Desalienta movimientos indeseables.
- Define rutas deseables para los vehículos.
- Asegura velocidades seguras a través del diseño.
- Separa puntos de conflicto donde sea posible.
- Facilita el movimiento de tráfico de alta prioridad por medio de carriles exclusivos para girar a la derecha o izquierda.
- Proporciona refugio seguro para ciclistas y peatones. (cap. 04)

En cuanto al diseño, el libro *Design Guidance for Channelized Right-Turn Lanes* publicado por la *National Cooperative Highway Research Program* (NCHRP) presenta 4 diseños típicos que consideran los siguientes parámetros: ubicación del cruceo peatonal, tipo de isla canalizadora, radio de giro, ángulo de la intersección, presencia de carriles de aceleración y desaceleración, y forma de control del tráfico (Potts et al., 2014):

- Carril de giro a la derecha canalizado con cruceo peatonal central y señal de ceda el paso.
- Carril de giro a la derecha canalizado con cruceo peatonal central, carril de aceleración y sin señalización.
- Carril de giro a la derecha canalizado con paso de peatones central y señal de pare.
- Carril de giro a la derecha canalizado con cruceo peatonal central y tráfico regulado por un semáforo. (p. 136)

Según los autores de la publicación (2014), los tres primeros diseños son muy ventajosos para el tránsito fluido de los vehículos porque se reducen las demoras. Sin embargo, puede no ser muy amigable para los peatones, particularmente para aquellos con algún tipo de discapacidad, pues deben encontrar el momento adecuado para cruzar. Si a esto se le añade el hecho de que no se suelen respetar las señales de “pare” y “ceda el paso”, la canalización se vuelve muy insegura para los usuarios vulnerables. Por eso, cuando existe un flujo peatonal importante, la canalización de giro con semáforo es la opción más adecuada y segura. Este diseño se presenta en la figura N°2.3.

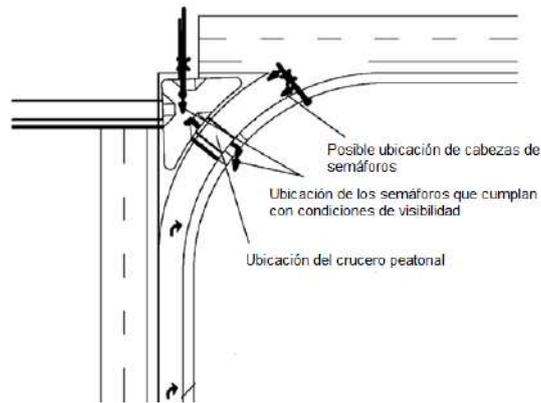


Figura 2.3: Canalización de giro con semáforo
 Tomado de “Design Guidance for Channelized Right-Turn Lanes”, por NCHRP (2014)

2.3.2 Radios en las esquinas

El radio de giro está relacionado con la velocidad con la que el vehículo entra a la curva para girar. Este parámetro depende del vehículo de diseño, el ángulo de la intersección y la cantidad de peatones y ciclistas (DTTAS, 2013). El manual *Design Manual for Urban Roads and Streets* (DMURS) del Departamento de Transporte de Irlanda (DTTAS) recomienda un radio de giro de 6 m como máximo entre vías arteriales. De este modo, se contribuye a la seguridad de los peatones y ciclistas (DTTAS, 2013, p. 93). En la figura número 2.4, se muestra la influencia del radio de esquinas en la velocidad de vehículos: a mayor radio de giro, mayor es la velocidad de los vehículos cuando ejecutan esa maniobra y menor la visibilidad de los peatones que desean cruzar.

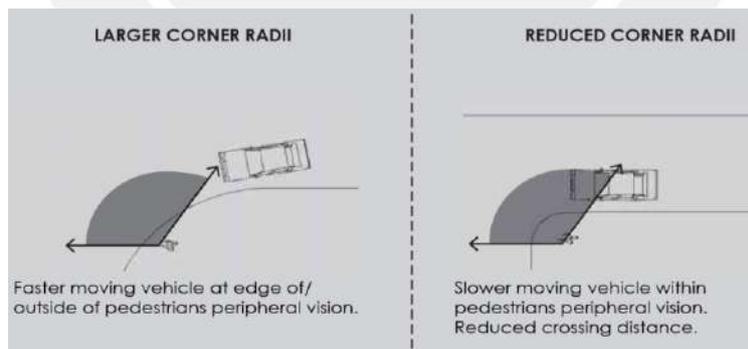


Figura 2.4: Influencia del radio de esquina en la velocidad del vehículo y en la distancia de cruce del peatón
 Tomado de DMURS, por DTTAS (2013)

El Libro Verde de Diseño Geométrico de Caminos y Calles recomienda dar radios de esquina de 4.5 a 7.5m para vías arteriales, donde los vehículos ligeros sean predominantes. En caso de presencia de camiones y buses, se puede considerar radios de 9 a 15m (AASHTO, 2011, p.9-70). Sobre el radio en las esquinas, se profundiza más en el punto 2.4.1 Facilidades para peatones.

2.3.3 Distancias de visibilidad

La habilidad del conductor de poder ver la vía y los otros usuarios de la intersección es importante para la seguridad y eficiencia de la intersección. En ese sentido, existen tres tipos de distancias de visibilidad: de parada, de decisión y de intersección (FHWA, 2013). Los requerimientos para estos tres parámetros están explicados en el manual de la FHWA y normalizados mediante tablas.

La distancia de visibilidad de parada es la distancia requerida por el conductor para percibir y reaccionar ante un objeto en la vía y poder frenar antes de alcanzarlo (FHWA, 2013, cap. 4). En la tabla número 2.2, se muestran los valores de este parámetro en función de la velocidad del vehículo.

Tabla 2.2: *Valores de diseño para distancia de visibilidad de parada*

Velocidad (km/h)	Distancia calculada (m)	Distancia de diseño (m)
20	18.5	20
30	31.2	35
40	46.2	50
50	63.5	65
60	83.0	85
70	104.9	105
80	129.0	130
90	155.5	160
100	184.2	185
110	215.3	220
120	248.6	250

Nota. Se asume 2.5 s de tiempo de reacción y una tasa de desaceleración de 3.4 m/s². Adaptado de “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, por AASHTO (2011)

La distancia de visibilidad de decisión es la distancia requerida por el conductor para detectar una información o condición inesperada en la vía, reconocerla, pensar en una maniobra y ejecutarla. Esto se da, particularmente, en situaciones donde los conductores deben maniobrar en un carril particular antes de la intersección (FHWA, 2013, cap. 4). La siguiente tabla de la AASHTO presenta los valores recomendados para este parámetro.

Tabla 2.3: *Valores de diseño para distancia de visibilidad de decisión*

Velocidad (km/h)	Distancia visual de decisión (m) por tipo de maniobra				
	A	B	C	D	E
50	70	155	145	170	195
60	95	195	170	205	235
70	115	325	200	235	275
80	140	280	230	270	315
90	170	325	270	315	360
100	200	370	315	355	400

110	235	420	330	380	430
120	265	470	360	415	470

Maniobra de evitación A: Parada en camino rural - $t = 3$ s

Maniobra de evitación B: Parada en camino urbano - $t = 9.1$ s

Maniobra de evitación C: Cambio en camino rural velocidad/ruta/sentido - t de 10.2 a 11.2 s

Maniobra de evitación D: Cambio en camino suburbano velocidad/ruta/sentido - t de 12.1 a 12.9 s

Maniobra de evitación E: Cambio en camino urbano velocidad/ruta/sentido - t de 14 a 14.5 s

Nota. Tomado de “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets”, por AASHTO (2011)

La distancia de visibilidad necesaria en una intersección controlada por una señal Pare debe ser mantenida para intersecciones semaforizadas en caso, en algún momento, el semáforo pueda estar inoperativo (FHWA, 2013, cap. 4). Así, dicha distancia de visibilidad es calculada mediante triángulos visuales como se muestra en la figura 2.5. Según el manual de la FHWA (2013), para que la intersección sea segura, no debe haber objetos mayores a 1 metro de altura en el área de dicho triángulo (cap. 4).

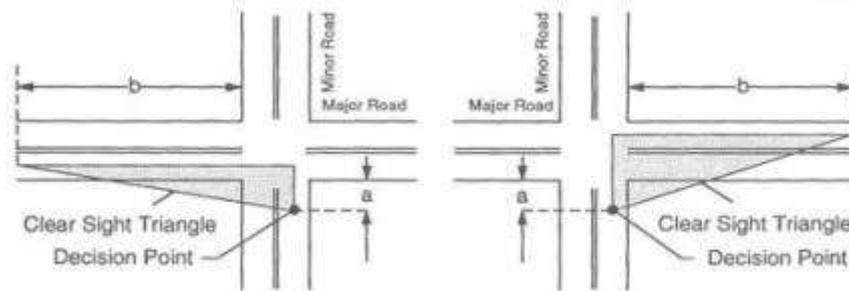


Figura 2.5: Triángulos visuales en intersecciones semaforizadas
Tomado de “Signalized Intersections: Informational Guide”, por FHWA (2013)

2.4. Seguridad vial

2.4.1 Enfoque sistémico de los accidentes

“Desde el punto de vista accidentológico, existen tres elementos principales que contribuyen, individual o conjuntamente, a la ocurrencia de cada accidente de tránsito: el factor humano, el vehículo, y la vía y el entorno. Estos factores, a menudo, se combinan en una cadena de acontecimientos que resultan en un accidente” (Dourthé y Salamanca, 2003, p. 1). Por ello, cuando se analiza un evento de esa naturaleza, es necesario utilizar un enfoque sistémico que “analice el accidente como un hecho complejo que tiene muchas interrelaciones entre sus factores básicos (humano, vehículo y entorno) y los organismos y actores del sistema de prevención” (Dextre, 2010, p. 96). Sin embargo, analizar los accidentes luego de su ocurrencia para proponer acciones correctivas es una medida reactiva. Bajo el enfoque de la movilidad sostenible, se priorizan las herramientas

preventivas como las Auditorías de Seguridad Vial y las Inspecciones de Seguridad Vial, las cuales se explican a continuación.

2.4.2 Auditorías e Inspecciones de seguridad vial

AUTROADS (2019) define una Auditoría de Seguridad Vial (ASV) como: “una evaluación técnica, formal y sólida de los riesgos de seguridad vial asociados con proyectos de transporte” (p. 3). Las ASV se diferencian de las Inspecciones de Seguridad Vial (ISV) debido a que es necesaria que sean solicitadas por la autoridad competente. Si el proceso no es solicitado por la autoridad competente, o la autoridad competente quiere hacer una evaluación sin que exista una norma que rija su ejecución, entonces se le denomina Inspección de Seguridad Vial (Dextre, 2008, p. 16).

2.4.2.1 Principales características de las ASV

En el libro “Vías Humanas: Un enfoque humano y multidisciplinario de la seguridad vial”, el ingeniero Juan Dextre explica las principales características de las Auditorías de Seguridad Vial (Dextre, 2008):

- Se denomina formal debido que es solicitado por la autoridad competente.
- La auditoría de seguridad vial debe ser realizada por un equipo de profesionales independientes que no deben estar involucrados en el diseño y planificación del proyecto; en caso contrario, podrían estar influidos por intereses particulares. El equipo auditor está conformado por profesionales con formación y experiencia en el diseño de vías urbanas y rurales, en seguridad vial, en investigación y prevención de accidentes y en ingeniería de tránsito. Es importante, además, que uno de los profesionales esté familiarizado con el diseño de facilidades para usuarios vulnerables.
- La auditoría de seguridad vial no pretende verificar que los diseñadores hayan cumplido con las normas de diseño; sin embargo, se espera que estos hayan realizado este proceso de manera independiente. (p. 16)

Para explicar este último punto, hay que considerar que existen varios tipos de seguridad y cumplir con la normativa de diseño no garantiza que una vía sea segura. En el libro “Movilidad en Zonas Urbanas”, Dextre y Avellaneda (2014) explican los tres tipos de seguridad vial existentes: La seguridad nominal es aquella que tiene relación con la normativa de cada ciudad o país. Todos los países tienen una normativa, pero eso no significa que siempre se cumpla, con lo cual, la seguridad nominal no significa que haya seguridad real necesariamente. La seguridad sustantiva señala la cantidad y la severidad de los accidentes. Este tipo de seguridad está relacionada con los datos estadísticos y se acerca mucho más a la seguridad real. Por último, la seguridad subjetiva indica la percepción de seguridad que los usuarios tienen en un punto determinado de la vía. (p. 114). Bajo esta visión de la seguridad vial, las medidas a aplicar deben aumentar la seguridad sustantiva y subjetiva.

2.4.2.2 Listas de chequeo

Las listas de chequeo o verificación son una herramienta, cuyo “propósito es ayudar al auditor a identificar cualquier deficiencia de seguridad de una forma ordenada y sistemática” (Dourthé y Salamanca, 2003, p. 37). Por lo general, hay dos tipos de listas de chequeo según el detalle de las mismas: listas de chequeo maestras o generales y listas de chequeo detalladas. Mientras que las primeras sirven para tener una visión general de los temas que se deben tener en cuenta en la ASV, las segundas detallan cada uno de los ítems considerados en la lista maestra (Dextre, 2008, p. 32).

2.5. Facilidades para usuarios vulnerables

2.5.1 Facilidades para peatones

Una forma común de mejorar la seguridad de los peatones es reducir su distancia de cruce. Esto disminuye la exposición de un peatón al tráfico, lo que beneficia, particularmente, a peatones discapacitados o ancianos (NACTO, 2013). A continuación, se explican 3 métodos comunes para reducir la distancia de cruce de los peatones:

2.5.1.1 Reducción del radio de giro:

El radio de giro en las esquinas es un parámetro que se relaciona, directamente, con la velocidad de giro de los vehículos y la distancia de cruce de los peatones (AASHTO, 2011). Un radio de giro pequeño ocasiona que los vehículos tomen la curva con una velocidad reducida. Además de esto, disminuye la distancia de cruce de los peatones, lo cual, reduce su exposición al tráfico vehicular (FDWA, 2013, cap. 4). Esto se muestra en la figura 2.6.

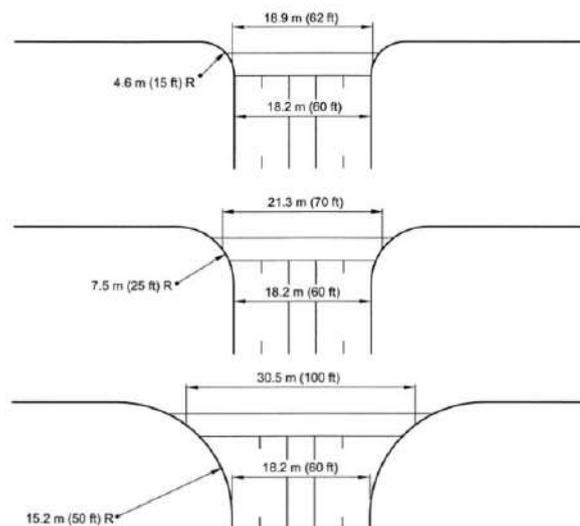


Figura 2.6: Influencia del radio de giro en la distancia de cruce del peatón
Tomado de “Signalized Intersections: Informational Guide”, por FHWA (2013)

Según el manual *Urban Street Design Guide* de la National Association of City Transportation Officials (NACTO) “la distinción entre el radio de esquina y el radio de giro efectivo es crucial y a menudo se pasa por alto” (NACTO, 2013, p. 118). El libro resalta que un diseño que no toma en cuenta esta distinción no va a propiciar velocidades bajas de vehículos en los giros; por el contrario, los conductores van a intentar girar lo más ancho posible para mantener las velocidades de viaje.

Con respecto a la relación entre el tipo de vehículo y el diseño del radio de esquina, la NACTO (2013) considera que un radio de giro grande no debe ser usado para facilitar que un vehículo pesado gire desde el carril derecho hasta el carril derecho de la otra vía (p. 118). Algunos métodos para acomodar este tipo de vehículos son reubicar la línea de parada unos metros más atrás y restringir los estacionamientos cerca de las esquinas como se muestra en la figura 2.7 (NACTO, 2013, p. 119).

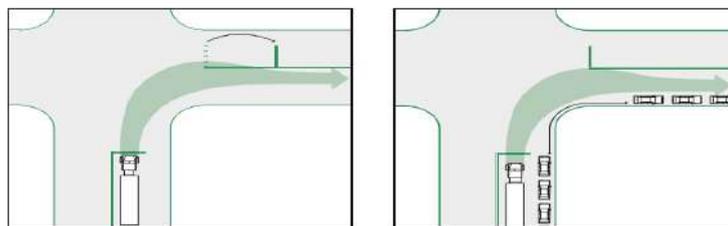


Figura 2.7: Línea de parada reubicada y restricción de parqueo
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

2.5.1.2 Extensiones de acera

Estas extensiones estrechan visual y físicamente la calzada. De este modo, se crean cruces más seguros y cortos para los peatones mientras se aumenta el espacio disponible para el mobiliario urbano (NACTO, 2013). Según la NACTO (2013), se pueden aplicar de las siguientes 3 maneras:

- Si las extensiones de la acera se producen en la esquina, entonces, estas se conocen como martillos y son usadas al entrar a una zona residencial para incentivar a los conductores a bajar la velocidad. Este caso se ilustra en la figura 2.8.
- Las extensiones de acera que son aplicadas en una zona intermedia de la vía son efectivas para reducir las velocidades vehiculares y añadir espacio público peatonal. Este caso se ilustra en la figura 2.9.
- En las extensiones de acera se pueden ubicar paraderos. Esto permite a los buses no dejar el carril de circulación. Este caso se ilustra en la figura 2.10. (p. 46).

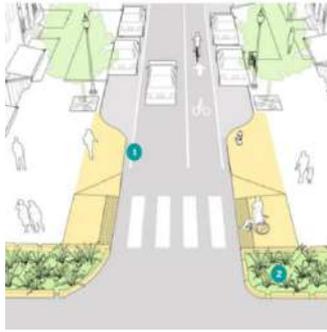


Figura 2.8: Martillos en esquinas

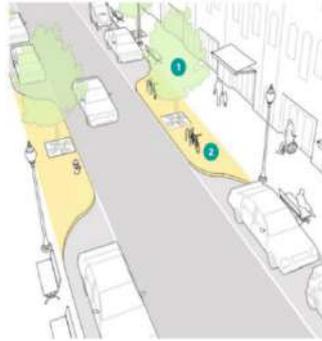


Figura 2.9: Extensión de acera para recuperar espacio público



Figura 2.10: Extensión de acera para ubicar paraderos

Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

2.5.1.3 Islas de refugio

Las islas de refugio reducen la exposición de los peatones en la intersección e incrementan la sensación de seguridad. Su aplicación es recomendada cuando los peatones deben cruzar tres o más carriles de tráfico en una dirección (DTTAS, 2013).

Respecto al diseño, el ancho que el manual de la NACTO (2013) establece es 2 metros como mínimo y de 2.5 a 3 metros como valor recomendado. Para la accesibilidad de personas con discapacidad, se recomienda que la textura del pavimento cambie al inicio y al final de la isla de refugio como se aprecia en la figura 2.11 (NACTO, 2013, p. 116). En caso de ser elevada con respecto a la calzada, la rampa debe tener una pendiente máxima del 8% (SEDUVI, 2007, p. 43).



Figura 2.11: Isla de refugio accesible
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

2.5.1.4 Cruceos peatonales

Según la NACTO (2013), las consideraciones a tener en cuenta son las siguientes:

- Los peatones, incluyendo los ancianos y discapacitados, deben ser capaces de cruzar la intersección en un ciclo.
- Los cruceos peatonales deben estar alineados con la trayectoria del peatón en la vereda.
- Se recomienda que la línea de parada para los vehículos esté situada 2.5 m antes del cruceo peatonal.

- Los cruces peatonales que no están ubicados en las esquinas obedecen a las líneas de deseo de los peatones que se dirigen a lugares como museos, colegios, universidades, parques, etc. (p. 111-115).

La Fundación RAAC (2004) propone un diseño en el que se eliminan las típicas bandas transversales por dos líneas discontinuas separadas a una distancia de 3 a 5 metros como se muestra en la figura 2.12. Además, recomienda que los cruces estén bien iluminados durante la noche (p. 18).



Figura 2.12: Propuesta de la fundación RAAC para redefinir los pasos de peatones Tomado de “Criterios de movilidad en zonas urbanas”, por Fundación RAAC (2004)

Un cruce peatonal sobre-elevado es una opción efectiva para reducir la velocidad de los vehículos e incrementar la visibilidad de los peatones. La pendiente de las rampas depende del tipo de vía y de la velocidad máxima a la que se desea que pasen los vehículos. En la siguiente tabla, se muestra la correlación entre estos.

Tabla 2.4: Pendiente de las rampas en función de la limitación de velocidad

Limitación de velocidad	40-50 km/h	30 km/h	25 km/h
Pendiente de las rampas (p)	4% ± 0,4%	8% ± 0,4%	11% ± 0,4%

Fuente: Tomado de “Informe N°11 – Proyecto MODETRA”, por UPV (2011)

2.5.1.4 Aceras

Las aceras juegan un papel vital en la vida de la ciudad. Como conductos para el movimiento peatonal y el acceso, mejoran la conectividad y promueven la caminata. Como espacios públicos, las aceras sirven como pasos frontales a la ciudad y activan las calles social y económicamente (NACTO, 2013, p. 37). Respecto al diseño, su ancho depende del flujo peatonal, siendo el mínimo 2 metros, a los cuales se debe añadir otros 0.5 metros en caso de colocar mobiliario urbano (RAAC, 2004, p. 17). La dimensión de 200 centímetros permite la circulación de dos sillas de ruedas o coches de niños a la vez, existiendo el espacio suficiente para realizar giros como se muestra en la figura número 2.13 (Corporación Ciudad Accesible [CCA], 2010, p. 38).

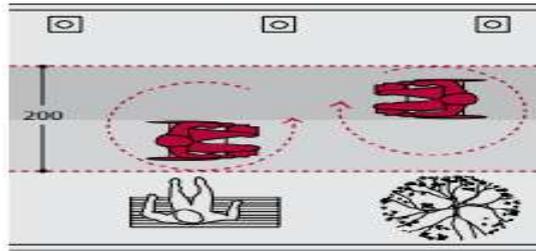


Figura 2.13: Ancho de vereda que permite la circulación de 2 sillas de ruedas.

Tomado de “Manual de accesibilidad universal”, por CCA (2010)

La dimensión mínima solo es aplicable para áreas de poco flujo peatonal. Para flujos peatonales moderados y elevados, se presentan distintas dimensiones en base al espacio que ocupan los grupos de peatones:

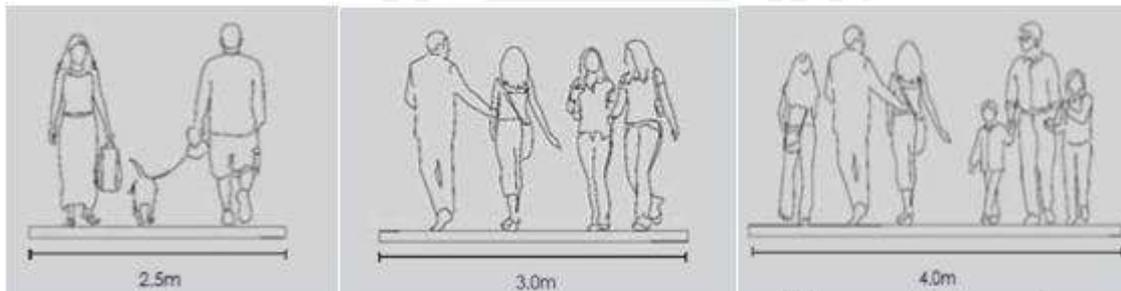


Figura 2.14: Espacio deseado para que 2 personas pasen cómodamente. Áreas de baja a moderada actividad peatonal

Figura 2.15: Espacio mínimo para que pequeños grupos pasen cómodamente. Áreas de moderada a alta actividad peatonal

Figura 2.16: Espacio mínimo para que grupos más grandes pasen cómodamente. Áreas de elevada actividad peatonal

Tomado de “Design manual for urban roads and streets”, por DTTAS (2013)

En caso existan paraderos, estos deben estar ubicados en el borde izquierdo o derecho de la vía, pero nunca en la zona de tránsito de los peatones. Si existe insuficiente espacio, se puede considerar un ensanchamiento de la vereda en ese tramo (NACTO, 2013, p. 41). Respecto al mobiliario urbano en general, el “Cuaderno de Intervención Peatonal A Pie” brinda recomendaciones referenciales respecto al ancho que ocupan los mismos (Sanz, et al., 2004). En la figura 2.17, se presentan dichas recomendaciones.

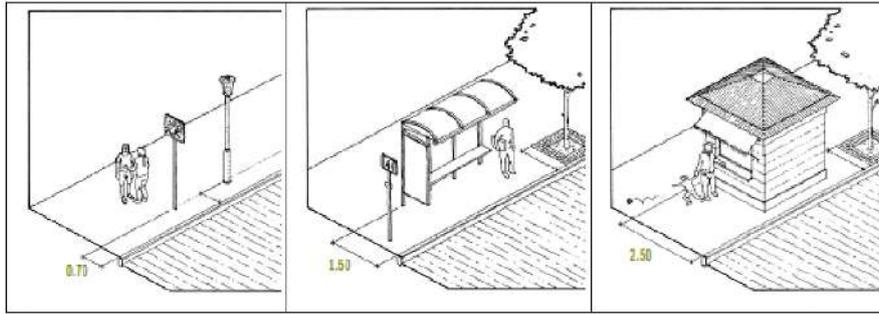


Figura 2.17: Anchos referenciales para el mobiliario urbano: Postes de luz, paradero de buses, kiosco
Tomado de Cuaderno de Intervención Peatonal A Pie, por Sanz et al. (2004)

Todas las facilidades mencionadas anteriormente están referidas al aspecto geométrico de la vía y a la distribución del espacio para los distintos usuarios que la emplean. También, es posible realizar un diseño amigable con el peatón por medio de cambios en la configuración de las fases de los semáforos. A continuación, se explican dos formas que se mencionan en el manual de la NACTO.

2.5.1.5 Intervalo peatonal adelantado

Esta configuración tiene una fase inicial de 3 a 7 segundos que da derecho de paso a los peatones que cruzan la intersección. En la siguiente fase, los vehículos obtienen el derecho de paso como se muestra en la figura 2.18 (NACTO, 2013, p. 128). Según el manual, esto es beneficioso porque mejora la visibilidad hacia los peatones en la intersección y refuerza su derecho de paso frente a los vehículos que giran.

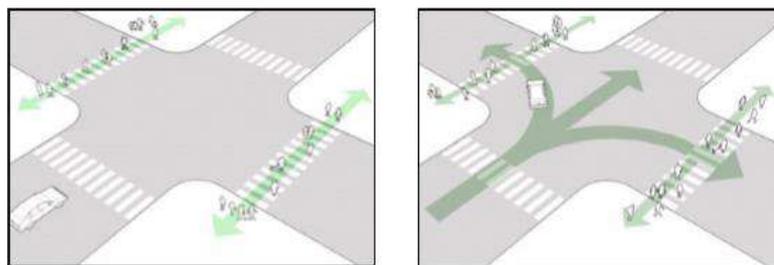


Figura 2.18: Intervalo peatonal adelantado
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

2.5.1.6 Split-Phasing (División de fases)

Esta no es una configuración específica, ya que tiene muchas variaciones y aplicaciones, pero, generalmente, se caracteriza por la separación de todos los movimientos de direcciones opuestas, o de movimientos específicos, como los giros a la izquierda (NACTO, 2013, p. 129). En un contexto urbano, la división de fases se usa, normalmente, para mitigar los peligros de los giros a la izquierda. Un ejemplo de cómo se logra eso se muestra en la figura 2.19 tomada del manual *Urban Street Design Guide*.

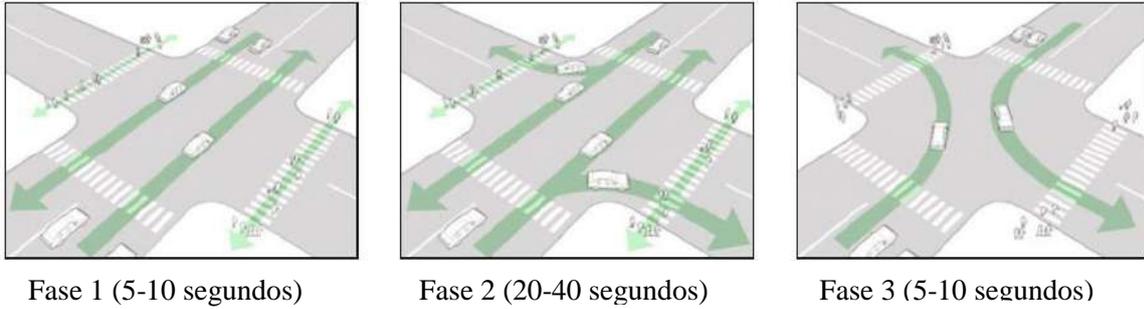


Figura 2.19: Split Phasing

Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

- En la fase 1, los peatones y el tráfico vehicular en la dirección paralela a estos tienen la fase verde. Los giros de los vehículos están restringidos.
- En la fase 2, los vehículos que giran a la derecha tienen la fase verde. Los peatones cruzando tienen prioridad sobre los vehículos que giran.
- En la fase 3, los vehículos que giran a la izquierda tienen la fase verde. Todos los demás movimientos (incluyendo a los peatones) están restringidos por seguridad.

En los casos expuestos líneas arriba, podría haber la necesidad de instalar semáforos peatonales en los cruces para evitar confusión entre los peatones. A continuación, se detalla ese tema.

2.5.1.7 Semáforos peatonales

Según la guía *Signalized Intersections: Informational Guide*, los semáforos peatonales deben ser usados en las siguientes situaciones (FHWA, 2013):

- Si se proporciona una fase de señal exclusiva para los movimientos de peatones en una o más direcciones, deteniéndose todos los movimientos vehiculares conflictivos.
- En cruces cerca a escuelas.
- Cuando el juicio de ingeniería determina que las indicaciones de la señal multifásica tenderían a confundir o causar conflictos con los peatones que usan un cruce peatonal guiado solo por indicaciones de señal vehicular. (cap. 5).

En cuanto a las personas con discapacidad visual, se debe considerar el uso de semáforos peatonales que emitan señales audibles cuando estén presentes los siguientes factores (FHWA, 2013):

- Vehículos muy silenciosos
- Elevada proporción de movimientos de giros vehiculares
- Distribución de fases compleja
- Calles anchas

2.5.2 Diseño orientado a personas con discapacidad

2.5.2.1 Guía o banda táctil

“La guía o banda táctil es un itinerario accesible señalizado en el pavimento a través de cambios de texturas y color, cuyo fin es entregar información útil para el desplazamiento y la seguridad a las personas con discapacidad visual” (CCA, 2010, p. 50). Según el Manual de Accesibilidad Universal de la Corporación Ciudad Accesible (CCA), se distinguen dos tipos de pavimento táctil: de avance o circulación y de alerta o detención (CCA, 2010).

- El pavimento táctil de avance es colocado en circuitos lógicos como ayuda para una circulación segura en itinerarios peatonales que pueden ser turísticos, en sectores de transporte público o que lleven a servicios importantes (p. 54).
- El pavimento táctil de alerta significa, en primera instancia, detención, luego exploración indagatoria del entorno y, en algunos casos, el avance con precaución (p. 53).

La siguiente figura muestra de forma gráfica los principales usos de este tipo de pavimentos:

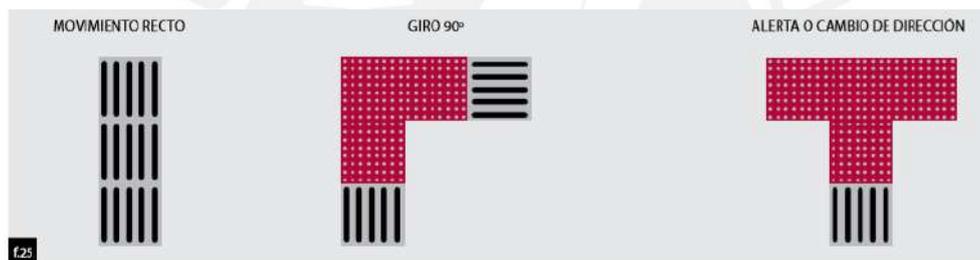


Figura 2.20: Usos de los pavimentos táctiles

Tomado de “Manual de accesibilidad universal”, por CCA (2010)

Cabe resaltar que un “exceso de información táctil podría confundir a una persona con baja visión. La implementación debe ser clara y acotada a lugares muy definidos” (CCA, 2010, p. 54).

2.5.2.2 Rampas en los cruces:

Las rampas dan accesibilidad a las personas en silla de ruedas. También, ayudan a las personas con coches de bebé, con mochila de ruedas, en bicicletas, etc (U.S Acces Board, 2002). Respecto a su diseño, la Corporación Ciudad Accesible recomienda una pendiente de máximo 12% tanto para la rampa como para las alas (CCA, 2010, p. 45). También, propone que la rampa cuente con superficie podotáctil como se muestra en la siguiente figura:

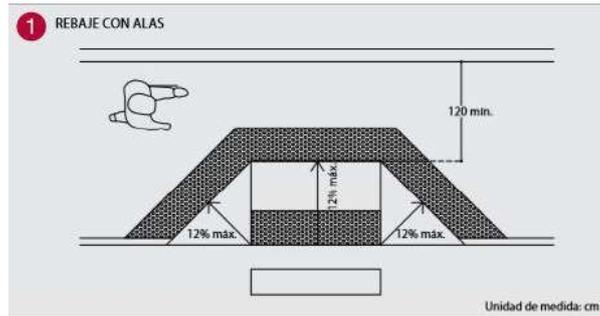


Figura 2.21: Pendientes máximas de la rampa
Tomado de “Manual de accesibilidad universal”, por CCA (2010)

En tanto, la Guía de Accesibilidad Estadounidense (ADAAG) propone que la pendiente sea entre 8% y 10% cuando el sardinel tenga una altura máxima de 15 cm, y, entre 10% y 12% cuando la altura del sardinel sea máximo 7.5 cm. Respecto al ancho, el mínimo es de 1 metro (U.S. Access Board, 2002).

Para el caso de las veredas angostas, en las que el ancho de las mismas es inferior a la suma del largo de la pendiente necesaria para alcanzar el nivel de la calzada más 120 cm, la Corporación Ciudad Accesible (2010) propone que este tipo de veredas bajen en todo su ancho hasta alcanzar el mismo nivel de la calzada, siendo el ancho de cruce mínimo 120 cm (p. 43). Este tipo de diseño exige franjas de textura de alerta en todo su ancho para advertir a personas con discapacidad visual que comienza el cruce. En la figura N°2.22, se muestra las principales dimensiones para el diseño de estas rampas.

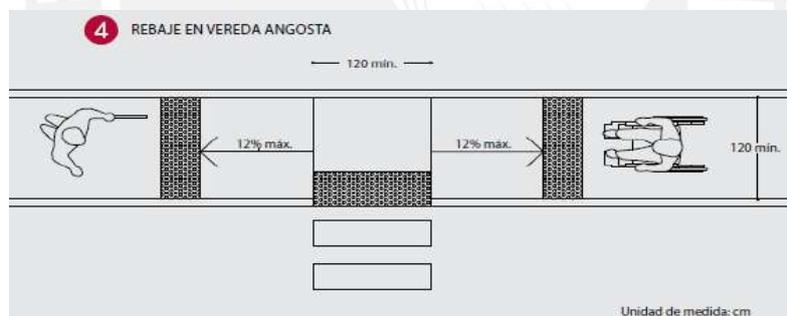


Figura 2.22: Dimensiones en rebaje de vereda angosta
Tomado de “Manual de accesibilidad universal”, por CCA (2010)

2.5.3 Facilidades para ciclistas

Los ciclistas requieren espacios continuos, seguros y confortables para usar con eficiencia este medio de transporte. Estos espacios son las vías para ciclistas, las cuales pueden ser carriles de bici, veredas de bici o pistas de bici. Estas últimas son adecuadas para las vías arteriales en donde las velocidades de los coches obligan a que los ciclistas circulen en espacios independientes del de los automóviles (DTTAS, 2013, p. 99).

Según la NACTO (2014), el ancho mínimo recomendado para las ciclovías unidireccionales es de 1.5m, siendo ideal que sea de 2m para permitir maniobras de adelantamiento. Además, si la ciclovía

se encuentra a nivel de la calzada en una vía rápida, es necesario contar con una separación adicional de al menos 90 cm para asegurar la segregación con los flujos vehiculares. Esto puede reforzarse por medio de bolardos, macetas móviles o sardineles (NACTO, 2014, p. 33).

Las ciclovías también pueden ser bidireccionales. En ese caso, el ancho mínimo recomendable es 3.6m. Sin embargo, en condiciones restrictivas, esta dimensión podría ser 2.5m (NACTO, 2014, p. 45). Cabe resaltar que estas dimensiones no consideran la separación mínima de 90 cm que debe existir entre los flujos de ciclistas y los vehiculares cuando estos últimos alcancen velocidades elevadas.

Diseñar las intersecciones con facilidades para los ciclistas reduce los puntos de conflicto con los vehículos, denota prioridades de paso y facilita la visibilidad entre los diferentes usuarios de la vía. El manual *NACTO: Urban Bikeway Design Guide* explica los principales lineamientos para diseñar ciclovías en intersecciones. Las opciones que describe se detallan a continuación (NACTO, 2014).

2.5.3.1 Parada adelantada para ciclistas

Una parada adelantada es un área designada en la cabecera de un carril de vehículos en una intersección semaforizada que proporciona a los ciclistas una forma segura y visible de adelantarse al tráfico de cola durante la fase roja del semáforo (p. 49).

Aplicabilidad

- En intersecciones señalizadas con grandes volúmenes de bicicletas y/o vehículos motorizados, especialmente aquellos con giros a la izquierda frecuentes de ciclistas y/o giros a la derecha del automovilista.
- Donde pudieran existir conflictos de giros a la izquierda o derecha entre ciclistas y conductores.
- Cuando existe el deseo de acomodar el movimiento de giro a la izquierda de los ciclistas. (p. 51).

Orientación de diseño

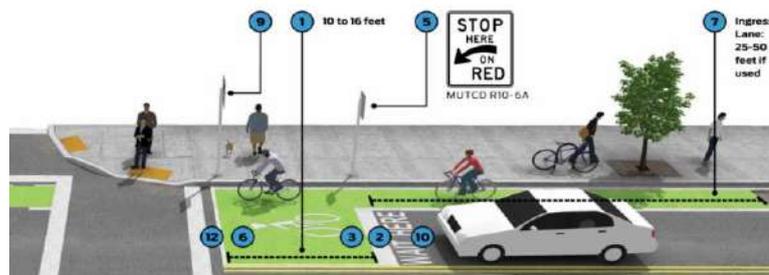


Figura 2.23: Parada adelantada para ciclistas
Tomado de “Urban Bikeway Design Guide”, por NACTO (2014)

- Longitud de 10 a 16 pies.
- Línea de pare para los vehículos.
- Figura de bicicleta que designa el espacio para estas.
- Señal de pare para los vehículos que refuerza la señalización horizontal.
- Pavimento pintado que delimita mejor la zona para ciclistas.
- Carril de ingreso coloreado de longitud 25 a 50 pies.
- Ligera separación entre la parada adelantada y el cruceo peatonal para evitar que los ciclistas invadan este último. (p. 52-53).

Las paradas adelantadas también pueden usarse para agrupar a los ciclistas que van a girar a la izquierda. En ese caso, van ubicadas casi terminando la intersección como se muestra en la siguiente figura (p. 61).

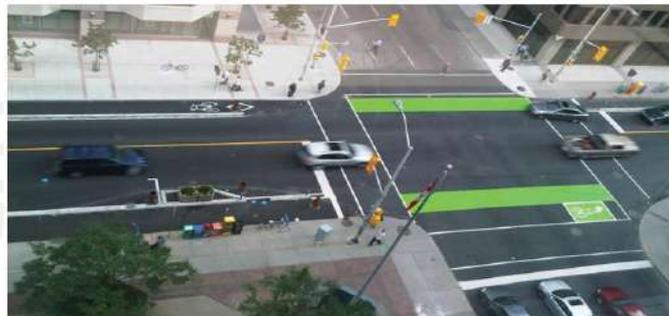


Figura 2.24: Parada adelantada para girar a la izquierda
Tomado de “Urban Bikeway Design Guide”, por NACTO (2014)

Estas ofrecen a los ciclistas una manera segura de girar a la izquierda desde el lado derecho de la vía, aunque las demoras podrían incrementarse debido que necesitan hacerlo en 2 fases verde separadas.

Aplicabilidad

- En intersecciones semaforizadas que tienen muchos carriles.
- A través de vías con tráfico de alta velocidad o alto volumen.
- Cuando existe un número significativo de ciclistas que giran a la izquierda desde el lado derecho de la vía. (p. 63).

Orientación de diseño

La parada puede estar colocada de diferentes maneras, pero siempre debe estar en un área protegida que no entre en conflicto con los movimientos de giro de los vehículos. Este espacio debe estar pintado y con un símbolo de bicicleta para su mayor visualización. También, debe haber una flecha que indique la dirección que debe seguir el ciclista cuando deje el espacio. (p. 64).

2.5.3.2 Marcas de cruce de intersección

Las marcas de cruce de intersección indican el camino previsto de los ciclistas. Estas guían a los ciclistas en un camino seguro y directo a través de las intersecciones, incluyendo entradas y rampas. Asimismo, proporcionan un límite claro entre la ruta de los ciclistas y la de los vehículos motorizados. (p. 55).

Aplicabilidad

En intersecciones semaforizadas con configuraciones complejas donde la ruta de los ciclistas pueda ser poco clara (p. 57).

Orientaciones de diseño

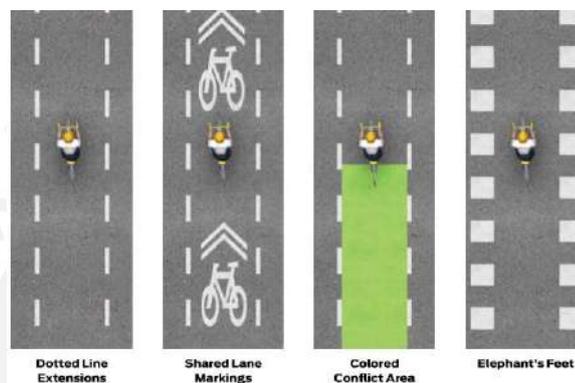


Figura 2.25: Marcas que delimitan la trayectoria de los ciclistas

Tomado de “Urban Bikeway Design Guide”, por NACTO (2014)

- Las líneas blancas en el pavimento delimitan el espacio de cruce para los ciclistas a través de la intersección. Estas líneas tienen un ancho de 6 pulgadas, una longitud de 2 pies y una separación de 2 a 6 pies.
- El pavimento pintado puede ser usado para incrementar la visibilidad en los puntos de conflicto, así como símbolos de bicicleta en el pavimento.
- Las marcas de pisadas de elefante pueden ser una alternativa a las líneas punteadas para ofrecer mayor visibilidad. (p. 58).

2.6 Espacio público

“Los espacios públicos son lugares de propiedad pública o de uso público, accesibles y agradables por todos de forma gratuita y sin afán de lucro. Esto incluye calles, espacios abiertos e instalaciones públicas” (ONU, 2015, p. 1). Según Borja (1998), “el espacio público también tiene una dimensión socio-cultural. Es un lugar de relación y de identificación, de contacto entre las gentes, de animación urbana, a veces de expresión comunitaria” (p. 15).

En la Nueva Agenda Urbana ONU Hábitat III se mencionan los principales beneficios de los espacios públicos efectivos (ONU, 2015):

- Multiplican la actividad comercial y generan valor económico considerable.
- Ayudan a reducir las tasas de delincuencia.
- Ofrecen importantes beneficios a todas las formas de negocio, tanto formales como informales.
- Reducen las desigualdades y la segregación del territorio.
- Reducen el impacto ambiental, sobre todo cuando incorporan áreas verdes.

2.6.1 Intervención de espacios públicos: Ejemplos de recuperación de espacios para peatones

“Las plazas en calzada, también denominadas plazas peatonales o parques de bolsillo, son pequeñas zonas de las vías o de la ciudad que, al haber sido abandonadas o ser residuales, se convierten en espacios públicos” (Welle et al., 2016, cap. 5). Según la NACTO (2013), estas plazas públicas reconfiguran y revitalizan las intersecciones que de otro modo podrían ser inseguras o subutilizadas. Las recomendaciones de diseño que da el manual se ilustran en la figura 2.26 y se describen posteriormente (NACTO, 2013):



Figura 2.26: Diseño de una plaza de calzada
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

1. El estacionamiento no se permitirá en la plaza
2. Debe ser accesible para todos los usuarios, en especial, para personas con discapacidad.
3. El borde de la plaza debe estar protegido para incrementar la seguridad de los usuarios. Esto se puede hacer mediante bolardos, macetas o rocas de granito.
4. Dependiendo del espacio disponible, se puede incluir mobiliario urbano como bancas. (p. 86-87)

A continuación, se muestran algunos ejemplos gráficos:



Figura 2.27: Recuperación del espacio público en intersecciones complejas
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

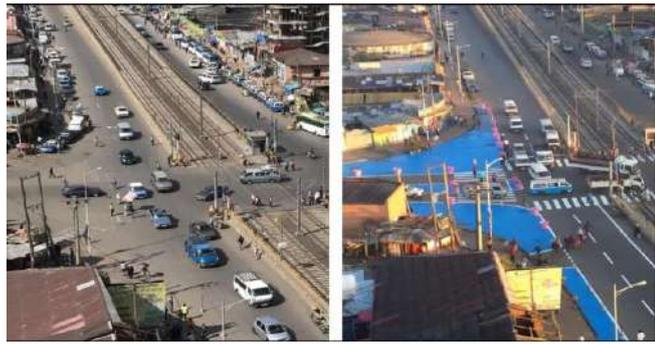


Figura 2.28: Formas de aumentar el espacio caminable en las esquinas
Tomado de “Goodbye cars, hello colour: the great reinvention of city intersections”, The Guardian (2018)



Figura 2.29: Mejoramiento de una mediana con mobiliario urbano en Nueva York
Tomado de World Landscape Architect, por Holmes, D. (2014)



Figura 2.30: Plaza provisional en curva
Tomado de “Urban Street Design Guide”, por NACTO (2013)

Las islas de refugio de las medianas y canalizaciones de giro también pueden ser aprovechables de forma similar dependiendo del área disponible en el espacio a intervenir. En algunos casos, incluso, se puede eliminar los carriles de giro canalizado para convertir ese espacio en un área peatonal como se muestra en las siguientes figuras.

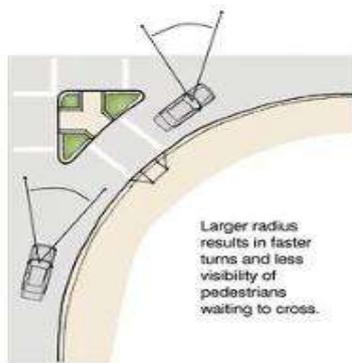


Figura 2.31: Radio de giro grande que resulta en altas velocidades vehiculares y poca visibilidad

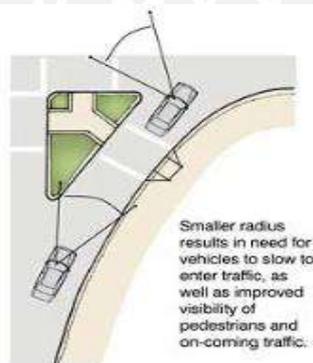


Figura 2.32: Menor radio de giro que disminuye la velocidad de vehículos y mejora la visibilidad

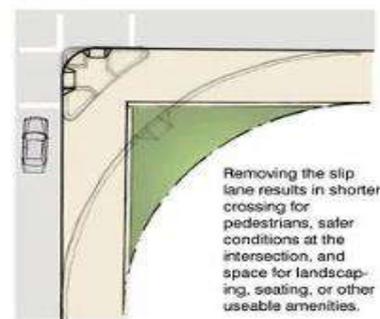


Figura 2.33: Se elimina el giro canalizado aumentando el espacio peatonal, donde se puede incluir mobiliario urbano

Tomado de SF Better Streets, por City and country of San Francisco (s.f.)



Figura 2.34: Eliminación de giro canalizado para crear una plaza de calzada

Tomado de Streets Blog, por Schmitt, A. (2018)

Capítulo 3: Metodología

Como se ha plasmado en los objetivos de este trabajo, el propósito del proyecto es evaluar y mejorar la gestión de la movilidad de las intersecciones en estudio del eje vial de la avenida Universitaria. En ese sentido, se desarrollan 2 procedimientos: uno para analizar y optimizar gestión de tránsito y otro para evaluar la seguridad y movilidad de los usuarios vulnerables. Por último, considerando ambos análisis realizados, se van a proponer medidas de solución que mejoren la movilidad y seguridad de todos los usuarios, priorizando a los vulnerables.

3.1. Gestión del tránsito

El primer procedimiento que se explica a continuación consiste en determinar los niveles de servicio de las intersecciones utilizando la metodología descrita en el Manual de Capacidad. Posteriormente, a partir del análisis realizado, si se considera pertinente, se va a proponer un nuevo ciclo semafórico calculado con la fórmula de Webster.

Con respecto a la determinación de los niveles de servicio con el HCM, se va a utilizar edición número 4 de dicho manual como se indicó en el punto 1.4 Alcances y limitaciones. Además de la disponibilidad de recursos, que impiden la utilización de la versión más vigente, se resalta que el objetivo principal de la presente tesis es realizar un análisis integral de las intersecciones en estudio. Esto último incluye también el diagnóstico de la movilidad de los usuarios vulnerables.

Con respecto a la determinación de los niveles de servicio con el HCM, la metodología descrita en la versión del año 2000 es muy similar a la del 2010. Sin embargo, se ha optado por utilizar la primera por la simplicidad en la definición de los grupos de carriles. Mientras que en la versión del año 2000 se permite unificar en un solo grupo a carriles compartidos (varios movimientos permitidos), en la versión del 2010, en la mayoría de los casos, cada carril debe ser tratado por separado; solamente

permite considerar más de un carril en un grupo de carriles cuando presentan los mismos movimientos (Albrieu y Galarraga, 2013, p. 4).

3.1.1. Recolección de datos

El primer paso es la recolección de datos. Estos son de 3 tipos: geométricos, de tránsito y relacionados a los semáforos. El libro “Ingeniería de Tránsito” los describe de esta forma (Cal y Mayor, 2018):

- ❖ Los datos geométricos se refieren a la configuración física de la intersección en términos del número de carriles, ancho de los carriles, movimientos por carril, ubicación de estacionamientos y pendientes de los accesos.
- ❖ Los datos de tránsito son los volúmenes de tránsito para cada movimiento en cada acceso y su composición en términos generales de automóviles, autobuses y camiones. En cuanto a los autobuses, se debe considerar cuántos realizan paradas antes y después de la intersección.
- ❖ En las condiciones de los semáforos, deberán especificarse el diagrama de fases, que ilustre el plan de fases, longitud del ciclo, tiempos de verde e intervalos de cambio y despeje, para cada uno de los movimientos dados.

El tipo de dato que se necesita está relacionado a la forma de recolección. En ese sentido, los datos geométricos como el número de carriles y el ancho de los mismos se determinan por medio de simple observación y medición en el campo. Los datos de tránsito están relacionados con los aforos de vehículos. Existen, principalmente, 2 maneras de realizar esto: de manera manual o automática. Por la dificultad de aplicación y el costo, se opta por realizar aforos manuales. Para ello, se colocan observadores en los distintos accesos a la intersección que cuentan el número de vehículos que pasan por cada acceso, clasificándolos según el movimiento que realizan. Estos conteos de vehículos se realizan en un día laboral de 7 a 9 de la mañana para incluir la hora punta de la mañana. Por último, los datos de las condiciones de semáforos, que son los tiempos de cada fase y el ciclo total, se determinan mediante observación en campo.

3.1.2. Niveles de servicio actuales

El manual de capacidad (HCM), en el capítulo 16, describe el procedimiento para determinar los niveles de servicio de intersecciones semaforizadas. Como se adelantó en el capítulo 1.4 Alcances y Limitaciones, algunos parámetros del HCM van a adaptarse a las condiciones locales, tomando como referencia investigaciones en Perú y Latinoamérica. Cabe resaltar que todas las tablas y ecuaciones que se presentan a continuación son del HCM, a menos que se indique lo contrario. La secuencia es la siguiente:

3.1.2.1 Determinación de los grupos de carriles

Primero, se debe identificar los grupos de carriles de cada intersección, ya que, el análisis de la oferta y demanda, así como el cálculo de las demoras, se realiza por cada grupo de carriles de forma independiente. Los criterios que toma el Manual de capacidad para su determinación son los siguientes (TBR, 2000):

- Un carril exclusivo con vuelta a la izquierda debe ser designado como un grupo de carril separado. Lo mismo puede decirse de un carril exclusivo a la derecha.
- Todos los demás carriles compartidos pueden ser incluidos en un solo grupo de carriles.

3.1.2.2 Ajuste de volúmenes – Tasa de flujo

- Primero, se determina la hora punta a partir del aforo realizado. Para esto, se suman todos los vehículos en periodos de 15 minutos y se eligen los 4 cuartos de hora de mayor valor. Este parámetro se determina para cada intersección.
- En base a la hora punta, se determina el volumen de vehículos en ese periodo de tiempo para cada acceso de la intersección. El valor que se obtiene es el Volumen horario de máxima demanda (VHMD) para cada acceso.
- Posteriormente, se calcula el factor horario de máxima demanda (FHMD) mediante la siguiente ecuación.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{15max})}$$

Ecuación 1: Factor Horario de Máxima Demanda

Donde:

FHMD: Factor horario de máxima demanda

VHMD: Volumen horario de máxima demanda

q_{15max} : Volumen de vehículos durante los 15 minutos de mayor flujo de la hora punta

- ✓ Con los valores hallados en los puntos anteriores, se determina la tasa de flujo en los 15 minutos de mayor demanda para cada grupo de carriles.

$$V_p = \frac{VHMD}{(FHMD)}$$

Ecuación 2: Tasa de flujo en los 15 minutos de mayor demanda

3.1.2.3 Flujo de saturación ajustado

- ✓ Se obtiene el valor de flujo de saturación ajustado con la siguiente ecuación:

$$S = S_b * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT} * f_{Lpb} * f_{Rpb}$$

Ecuación 3: Flujo de Saturación Ajustado

En dicha fórmula, se aprecia que existe un valor determinado de flujo de saturación base, el cual, debe multiplicarse por diversos factores asociados a las características de cada acceso y, en general, de la intersección en análisis. Cabe resaltar que en el presente procedimiento no se va a considerar la influencia de peatones ni ciclistas en los giros de los vehículos. Por lo tanto, la fórmula a utilizarse quedaría como se muestra a continuación sin los dos últimos factores de la fórmula anterior.

$$S = S_b * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT}$$

Ecuación 4: Flujo de Saturación Ajustado a utilizarse

Los datos involucrados se describen a continuación:

- S_b : Flujo de saturación base. Este parámetro está expresado en unidades ADE/h/carril. “Un ADE es un automóvil directo equivalente; es decir, un auto que sigue directo al descargarse desde una cola” (Fernández y Dextre, 2011, p. 63). El TRB (2000) recomienda considerar un valor por defecto del S_b de 1900 ADE/h/carril. Sin embargo, en ciudades de países en vías de desarrollo, donde la conducción es más agresiva en comparación con los Estados Unidos, se han hallado valores de flujo de saturación básico más elevados que 1900 ADE/h/carril. Los estudios se muestran a continuación:
 - En Chile, en el periodo punta de la mañana, se han determinado valores de S_b de 2055, 2121 y 2292 ADE/h/carril para las pistas derecha, izquierda y central respectivamente. (Gibson et al., 1997).
 - En Doha, Qatar, el valor de S_b hallado fue de 2323 ADE/h/carril. (Hamad y Abuhamda, 2015).

Por lo expuesto líneas arriba y debido a que el valor del S_b puede ser muy variable, en el presente proyecto, se va a adoptar el valor más bajo de la investigación realizada en Chile, 2050 ADE/veh/h, para no sobreestimar la capacidad.

- Factor por ajuste de ancho de carril (f_w)
Este factor, que depende del ancho de carril, está definido por la siguiente fórmula. Cabe resaltar que el ancho mínimo es 2.4m y, si esta medida es mayor a 4.8m, se puede considerar 2 carriles para el análisis.

$$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9}$$

Ecuación 5: Factor de ancho del carril

Donde W es ancho del carril en metros.

- Factor de ajuste por vehículos pesados (f_{HV}). Este factor está definido por la siguiente formula:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + \%HV * (E_T - 1)}$$

Ecuación 6: Factor de ajuste por vehículos pesados

Donde %HV es el porcentaje de vehículos pesados. El HCM define a los vehículos pesados como cualquiera que cuente con más de cuatro ruedas tocando el pavimento. (TRB, 2000). El equivalente en vehículos livianos de pasajeros (ET) por cada vehículo pesado es 2.

En el presente proyecto, se van a considerar más tipos de vehículos. Por eso, la formula a usarse será la siguiente:

$$f_{HV} = \frac{100}{100 + P_T * (E_T - 1) + P_B * (E_B - 1) + P_R * (E_R - 1)}$$

Ecuación 7: Factor de ajuste por vehículos pesados a usarse

Donde, P_T , P_B y P_R son los porcentajes que circulan del tipo de vehículo considerado, mientras que E_T , E_B y E_R son las equivalencias tomando como base que, para un automóvil, este factor es 1.

En el ámbito local, los factores de equivalencia se utilizan en diversos estudios de tráfico realizados por empresas consultoras de transporte, las cuales manejan sus propios valores, ya que, no existe un estándar único en el país. En la siguiente tabla, se muestran los factores de equivalencia a usarse tomados de la empresa Neourbe.

Tabla 3.1: *Equivalencias para vehículos pesados*

TIPO DE VEHICULO	FACTOR UCP
Auto	1
Bus interprovincial	3.5
T. Personal	3.5
Bus	3
Microbús	2
C. Rural	1.25
Camión	2.5
Camión > 2E	3.5
Mototaxis	0.5
Motos	0.33

Nota. Tomado de Neourbe

- Factor de ajuste por pendiente (f_g)

Factor dado por la siguiente ecuación:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200}$$

Ecuación 8: Factor de ajuste por pendiente

Donde P_g es la pendiente aproximada en valor porcentual asociado al acceso correspondiente.

- Factor de ajuste por parqueo (f_p)

Factor dado por la siguiente ecuación:

$$f_p = \frac{N - 0.1 - \frac{18N_m}{3600}}{N} \geq 0.050$$

Ecuación 9: Factor de ajuste por parqueo

Donde N es el número de carriles y N_m , el número de maniobras de parqueo por hora. En caso no exista valor de N_m , el factor de ajuste se considera el valor de 1.

- Factor de ajuste por bloqueo de buses (f_{bb})

Factor que toma en cuenta el impacto de los buses de circulación que se da por cargar y descargar pasajeros en la zona anterior o posterior de la intersección, en una distancia de 76m a la línea de parada. Se determina mediante la siguiente ecuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{14.4N_b}{3600}}{N} \geq 0.050$$

Ecuación 10: Factor de ajuste por bloqueo de buses

Donde N es el número de carriles y N_b el número de parada de buses por hora.

El valor de 14.4 s es el tiempo medio de bloqueo durante la fase verde. En Perú, se han realizado investigaciones que demuestran que ese valor es muy elevado. A continuación, se citan 3 estudios:

- Osorio (2016) determinó que el tiempo promedio de bloqueo de buses en Huancayo es de 8.7 segundos.
- Agreda y Parra (2017) tomaron una muestra de vehículos en el distrito de Santiago de Surco, determinando que el tiempo promedio de bloqueo es 6.4 segundos.
- Villaverde (2019), a partir de una muestra de 380 vehículos, determinó que el tiempo promedio de bloqueo es de 7.64 segundos en el distrito de Huancayo.

Como se aprecia, en esos casos el tiempo es, aproximadamente, la mitad de lo que propone el Manual de Capacidad. Para el presente proyecto, se va a considerar un tiempo de bloqueo de 8 segundos, por lo que la fórmula quedaría como se muestra a continuación:

$$f_{bb} = \frac{N - \frac{8N_b}{3600}}{N} \geq 0.050$$

Ecuación 11: Factor de ajuste por bloqueo de buses a utilizarse

- Factor de ajuste por área (f_a)

Este valor es 1 para áreas alejadas del centro de ciudad y 0.9 en caso el análisis sea de un punto en el centro de la ciudad. El manual de capacidad toma el valor de 0.9 para las áreas tipo CBD (Central Business District), que son lugares con mucho comercio. En este caso, las intersecciones en estudio no se encuentran en este tipo de lugares. Por eso, se asumirá el valor de 1 para este factor.

- Factor de ajuste por utilización de carriles (f_{LU})

Factor definido por la siguiente ecuación:

$$f_{LU} = \frac{V_g}{V_{g1} * N}$$

Ecuación 12: Factor de ajuste por utilización de carriles

Donde V_{g1} es el máximo volumen de los carriles, N es el número de carriles y V_g es el volumen del acceso en total.

El HCM presenta valores predeterminados del factor de utilización de carril en caso no se cuente con la data disponible. Estos se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 3.2: Factores de utilización de carril predeterminados por el HCM

Movimientos en los grupos de carriles	Número de carriles en los grupos de carriles	Porcentaje del tránsito en el carril de mayor carga	Factor de utilización de carril recomendado f_{LU}
Flujos directos o compartidos	1	100.0	1.0
	2	52.5	0.952
	3°	36.7	0.908
Giro izquierdo exclusivo	1	100.0	1.0
	2°	51.5	0.971
Giro derecho exclusivo	1	100.0	1.0
	2°	56.5	0.885

Nota. ° Si el número de carriles es mayor que el presentado en la tabla se recomienda efectuar las mediciones de campo o, en su excepción, tomar el menor valor recomendado de f_{LU} de acuerdo al grupo de carriles. Tomado del HCM, por TBR (2000)

- Factor de ajuste por giros a la derecha (f_{RT})

El factor de ajuste por giros a la derecha depende de las siguientes variables (TBR, 2000):

- Si el giro se realiza de un carril exclusivo o uno compartido.
- La proporción de vehículos que giran a la derecha en los carriles compartidos.

El HCM establece estas 3 posibilidades:

- ❖ $f_{RT} = 0.85$ Carril exclusivo
- ❖ $f_{RT} = 1 - 0.15 * P_{RT}$ Carril compartido
- ❖ $f_{RT} = 1 - 0.135 * P_{RT}$ Carril único

Ecuación 13: Factor de ajuste por giros a la derecha

Donde P_{RT} es la proporción de giros a la derecha en el grupo de carriles.

- Factor de ajuste por giros a la izquierda (f_{LT})

Si el giro es realizado desde un carril exclusivo, el factor es 0.95. Si la maniobra es realizada en carriles compartidos, se utiliza la siguiente fórmula:

$$f_{LT} = \frac{1}{1 + 0.05 * P_{LT}}$$

Ecuación 14: Factor de ajuste por giros a la izquierda

Donde P_{LT} es la proporción de giros a la izquierda en el grupo de carriles.

Los casos expuestos corresponden a movimientos protegidos, es decir, el giro a la izquierda no tiene oposición de otros flujos vehiculares. Cuando se trata de vueltas a la izquierda permitidas, el impacto en la operación de la intersección es más complejo, debido a que los vehículos que quieren realizar esta maniobra deben esperar un “hueco” en el flujo opuesto para poder pasar. Mientras eso sucede, el carril de circulación está bloqueado, lo que reduce la capacidad del grupo de carriles. El TBR (2000) establece un procedimiento específico para esos casos en el apéndice C del Manual de Capacidad, el cual se aplicará en las intersecciones en estudio en caso aplique.

3.1.2.4 Capacidad del grupo de carriles y grado de saturación

- Se determina la capacidad del grupo de carriles Q , definido por la siguiente ecuación:

$$Q = S_i * \left(\frac{v_{ei}}{C}\right)$$

Ecuación 15: Capacidad del grupo de carriles

Donde v_{ei} es el tiempo de verde efectivo, C es la longitud del ciclo del semáforo y S_i es el flujo de saturación ajustado. El parámetro v_{ei} es la suma del tiempo verde del acceso y la ganancia inicial, que es suele considerarse entre 60 y 80% del tiempo amarillo, menos la pérdida inicial que es el tiempo que los vehículos demoran en ponerse en movimiento.

- Se halla el grado de saturación del grupo de carriles, definido por la fórmula siguiente:

$$X_i = \frac{v_p}{Q}$$

Ecuación 16: Grado de saturación

v_p : Tasa de flujo durante los 15 minutos más cargados.

Q : Capacidad del grupo de carriles

3.1.2.5 Determinación de las demoras

- La demora media de control (s/veh) experimentada por todos los vehículos que llegan a la intersección en el periodo de análisis se calcula a partir de los 3 parámetros de demora que se muestran a continuación:

$$d = d_1(PF) + d_2 + d_3$$

Ecuación 17: Demora de control

Donde d_1 es la demora de control uniforme por vehículo, PF es el factor de ajuste de demora uniforme por secuencia que considera los efectos de la coordinación de los semáforos, d_2 es la demora incremental y d_3 es la demora de cola inicial.

- El factor PF se considera 1 para llegadas aleatorias, lo cual se va a considerar en el presente trabajo. Las demoras d_1 y d_2 se calculan de la siguiente forma:

$$d_1 = \frac{0.5 * C * (1 - \frac{v_{ei}}{C})^2}{1 - [\min(1, X) * v_{ei}/C]} \quad d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X}{QT}} \right]$$

Ecuación 18: Demora de control uniforme

Ecuación 19: Demora incremental

Donde:

- T es el periodo de análisis (T=0.25)
- Q es la capacidad hallada
- C es la longitud de ciclo
- X es el grado de saturación
- v_{ei} es el tiempo de verde efectivo del ciclo semafórico.
- I es el factor de ajuste por tipo de ingreso a la intersección corriente arriba. Para intersecciones aisladas o en caso de falta de información, se puede tomar el valor de 1 para este parámetro (TBR, 2000)
- k es el factor de la demora incremental que depende de la configuración del controlador. Para semáforos que cuentan con tiempo fijo, el valor de “k” será igual a 0.50 (TBR, 2000).

La demora por cola inicial se calcula solo en caso exista una cola residual de un período de tiempo anterior, caso contrario $d_3 = 0$. La fórmula es la siguiente:

$$d_3 = \frac{1800 * Q_b(1 + u) * t}{QT}$$

Ecuación 20: Demora por cola inicial

Donde Q_b es la cola inicial durante el periodo T, Q es la capacidad, T es la duración del periodo analizado en horas, u es el parámetro de demora y t, la duración de la demanda insatisfecha.

Por último, las demoras en los accesos y en la intersección se determinan mediante un promedio ponderado utilizando el valor de la tasa de flujo V_p .

3.1.2.6 Niveles de servicio

- Teniendo la demora total de la intersección, se clasifica en el nivel de servicio correspondiente:

Tabla 3.3: Niveles de servicio en base a la demora de control

Nivel de servicio	Demora por control (s/veh)
A	< 10
B	> 10 – 20
C	> 20 – 35
D	> 35 – 55
E	> 55 – 80
F	> 80

Nota. Tomado de HCM, por TBR (2000)

3.1.3. Optimización de los tiempos del semáforo

El procedimiento que se presenta a continuación es el descrito en el libro *Ingeniería de tránsito: Fundamento y Aplicaciones*. Este procedimiento es aplicable para intersecciones aisladas e insaturadas (Cal y Mayor, 2018).

- ✓ Primero, se determina el intervalo de cambio de fase, cuya función es el de alertar a los usuarios de un cambio en la asignación del derecho al uso de la intersección. Para determinar dicho parámetro, se utiliza la siguiente expresión (Kell y Fullerton, 1991):

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

Ecuación 21: Intervalo de cambio de fase

Dónde:

- y: Intervalo de cambio de fase, ámbar más todo rojo (s).
- t: Tiempo de percepción-reacción del conductor (usualmente 1s).
- v: Velocidad de aproximación de los vehículos (m/s).
- a: Tasa de aceleración (valor usual 3.05 m/s²).
- W: Ancho de intersección (m)
- L: Longitud de vehículo (valor sugerido 6.10m)

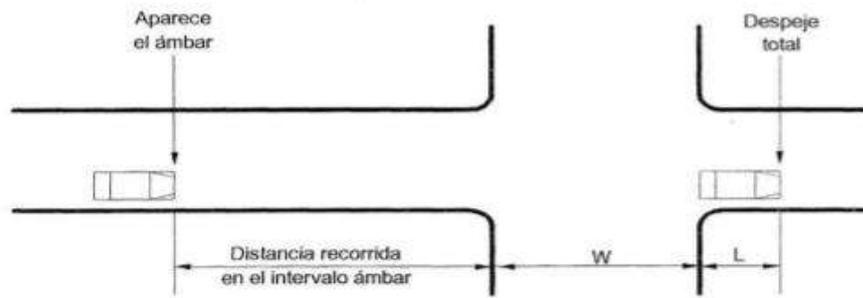


Figura 3.1: Intervalo de cambio de fase

Tomado de “Ingeniería de tráfico: Fundamentos y Aplicaciones”, por Cal y Mayor, y Cárdenas (2018)

- ✓ Luego, se calcula el tiempo total perdido “L”, que es la suma de la duración del intervalo de ámbar de cada fase más sus períodos de todo rojo “TR” como se muestra en la siguiente fórmula:

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR$$

Ecuación 22: Tiempo perdido L

Donde l_i es el tiempo ámbar de la fase “i” y TR representa el tiempo total de todo rojo durante el ciclo, en caso existir.

- ✓ Posteriormente, se calculan los valores de Y_i , que son las máximas relaciones entre el flujo actual (q) y el flujo de saturación (s), para cada grupo de carriles:

$$Y_i = \frac{q_{imax}}{s}$$

Ecuación 23: Relación q y s

Donde q_{imax} es el flujo crítico máximo por carril en una fase “i” y “s” es el flujo de saturación base ideal. Cabe resaltar que q_{imax} se expresa en autos directos equivalentes por hora (ADE/h), el cual está ajustado por el FHMD y el f_{hv} . Además, se considera un incremento por tipo de movimiento, donde los incrementos para los giros a la derecha tienen un factor que varía de 1 a 1.4 y, para los giros a la izquierda, se tiene un factor que varía de 1.4 a 1.6. En el presente trabajo se usará 1.2 para vueltas a la derecha y, en el caso de vueltas a la izquierda, se utilizará 1.4 si el giro es protegido y 1.6 si es permitido.

- ✓ Después, se calcula la longitud de ciclo óptima según la fórmula de Webster, explicada a continuación (Webster, 1958):

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

Ecuación 24: Longitud del Ciclo óptima

Donde, C_0 es el ciclo óptimo (s), L es el tiempo total perdido por ciclo (s), Y_i es la relación de flujo actual y flujo de saturación máximo, y φ es el número de fases. Según Webster (1958), se puede escoger entre 0.75 y 1.5 del valor del ciclo óptimo sin que exista una variación significativa de la demora. Cabe resaltar que la duración del ciclo que da la fórmula es un valor teórico que debe ser revisado para comprobar que esté dentro de un rango posible, toda vez que para valores de $\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i$ cercanos a la unidad, es muy probable que el ciclo resulte en un número muy elevado que no es real ni tampoco amigable con los peatones, que van a tener que esperar mucho tiempo para poder cruzar. Esto último es peligroso porque algunos usuarios podrían intentar cruzar en una fase que no les corresponde. Según la Guía canadiense de capacidad para intersecciones semaforizadas, “una duración de ciclo de 120 segundos generalmente se considera como un límite superior práctico, mientras que 140 se utiliza en condiciones excepcionales” (Tepley et al., 2008, p. 4-87).

Continuando con el procedimiento, se procede con la determinación del tiempo verde efectivo total g_T :

$$g_T = C - L$$

Ecuación 25: Tiempo verde efectivo total

- ✓ Finalmente, para obtener una demora total mínima, el tiempo verde hallado debe distribuirse entre las diferentes fases en proporción a sus valores de Y_i , así:

$$g_i = \frac{Y_i}{\sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} * (g_T) = \frac{Y_i}{Y_1 + Y_2 + \dots + Y_{\varphi}} * (g_T)$$

Ecuación 26: Asignación de tiempos en verde

Donde Y_i es la máxima relación entre el flujo actual y el flujo de saturación de cada fase i .

Con el tiempo verde asignado y los tiempos de ámbar y rojo hallados, es factible proponer un diagrama de fase optimizado.

3.2. Facilidades para usuarios vulnerables

El segundo procedimiento consiste en evaluar las intersecciones y proponer soluciones para que estas sean más seguras y tengan un diseño más orientado a las necesidades de los usuarios vulnerables; esto último considerando el análisis descrito en el punto 3.1. Para ello, se realizan visitas a campo para evaluar las condiciones de seguridad y accesibilidad con ayuda de listas de chequeo que se utilizan en las auditorías e inspecciones de seguridad vial.

Las listas de chequeo incluyen evaluar lo que se muestra a continuación:

- ❖ Configuración geométrica de la intersección: número de carriles y ancho de los mismos
- ❖ Facilidades para peatones existentes
- ❖ Facilidades para ciclistas existentes

- ❖ Nivel de iluminación en las noches (cualitativo)
- ❖ Espacio público
- ❖ Presencia y diseño de canalizaciones
- ❖ Volumen de peatones (cualitativo)
- ❖ Volumen de ciclistas (cualitativo)
- ❖ Tipo de berma central
- ❖ Islas de refugio
- ❖ Mobiliario urbano
- ❖ Fases de los semáforos
- ❖ Estado de los cruces peatonales
- ❖ Estado de las rampas
- ❖ Estado de las aceras
- ❖ Estado de las ciclovías
- ❖ Paraderos y transporte público

El propósito de esto es conocer las condiciones existentes, las cuales se toman en cuenta como referencia para identificar los principales problemas de la intersección. En las dos páginas siguientes, se muestran las listas de chequeo a utilizar para la evaluación de las intersecciones. Estas fueron adaptadas del documento *Pedestrian Road Safety audit Guidelines and Prompt Lists* de la *Federal Highway Administration (FHWA)* de los EEUU que considera lineamientos a tomar en cuenta desde la perspectiva de la seguridad de los peatones. Para efectuar un análisis más integral, se han añadido algunos criterios que consideren a los ciclistas, el transporte público y el espacio público. Asimismo, las preguntas de la lista de chequeo se adaptaron para que, en la columna “Sí” se encuentre todo lo positivo y, en la columna “No”, lo negativo.

Tabla 3.4: *Lista de chequeo - Las calles*

Criterio general	Criterio específico		Sí	No
A.1	A.1.1	¿Hay caminos previstos a lo largo de las calles?		
	A.1.2	Si no hay caminos, ¿hay otras condiciones para caminar (como berma para los peatones) en la calle u otro sendero cerca?		
	A.1.3	¿Es el ancho de las veredas el adecuado para el volumen de peatones?		
	A.1.4	¿Hay rampas proporcionadas como alternativa a las escaleras?		
	A.1.5	¿El mobiliario urbano presente cerca de las intersecciones es adecuado y está bien ubicado?		
A.2	A.2.1	¿Está la vereda libre de obstrucciones provisionales o permanentes?		
	A.2.2	¿La inclinación de la vereda está dentro de los rangos permitidos?		
	A.2.3	¿Está la superficie de la vereda bien mantenida?		
A.3	A.3.1	¿Son los caminos y bermas continuos y ubicados en ambos lados de la calle?		
A.4	A.4.1	¿Está la acera adecuadamente iluminada?		
	A.4.2	¿La iluminación en las calles mejora la visibilidad de los peatones durante la noche?		
A.5	A.5.1	A lo largo de la acera, ¿la visibilidad de los peatones es adecuada?		
A.6	A.6.1	¿Las entradas para los coches que cruzan caminos peatonales son seguras y accesibles para los peatones que quieren seguir su camino?		
A.7	A.7.1	¿Existen vías para ciclistas en todos los accesos a la intersección?		
	A.7.2	¿Los flujos de ciclistas y peatones están libres de conflictos entre ellos?		
A.8	A.8.1	¿El uso de las señales de tránsito horizontales y verticales es adecuado?		
	A.8.2	¿Las marcas en el pavimento están bien mantenidas y son visibles tanto en el día como en la noche?		

Criterios

A.1	Presencia, diseño y colocación
A.2	Calidad, condición y obstrucciones
A.3	Continuidad y conectividad
A.4	Iluminación
A.5	Visibilidad
A.6	Entradas para los coches
A.7	Características del tráfico
A.8	Señales y marcas en el pavimento

Nota. Adaptado de *Pedestrian Road Safety audit Guidelines and Prompt Lists*, por FHWA (2007)

Tabla 3.5: Lista de chequeo - Las intersecciones

Criterio general	Criterio específico	Sí	No	
B.1	B.1.1	¿Existen cruces peatonales en todos los cruces de la intersección?		
	B.1.2	¿Los radios de giro reducen las distancias de los cruces peatonales e incentivan las velocidades bajas en los giros a la derecha?		
	B.1.3	¿Los carriles canalizados de giros a la derecha minimizan los conflictos con los peatones?		
	B.1.4	¿Los cruces peatonales están localizados en áreas donde se cumpla la distancia de visibilidad?		
	B.1.5	¿Las islas de refugio proveen una zona segura de espera para los peatones?		
	B.1.6	¿Los cruces peatonales son lo suficientemente anchos?		
	B.1.7	¿Los cruces peatonales están situados siguiendo las líneas de deseo de los peatones?		
	B.1.8	¿Están las esquinas y rampas apropiadamente planeadas y diseñadas en cada acercamiento al cruce?		
	B.1.9	¿Existen facilidades en el cruce para personas con discapacidad visual?		
B.2	B.2.1	¿Está el cruce peatonal libre de obstrucciones provisionales o permanentes?		
	B.2.2	¿Es el pavimento del cruce adecuado y está bien mantenido?		
B.3	B.3.1	¿Está el cruce adecuadamente iluminado?		
B.4	B.4.1	¿Pueden los peatones ver los vehículos acercándose en todos los accesos de la intersección/cruce y viceversa?		
	B.4.2	¿Es la distancia desde la línea de parada (o ceda el paso) hasta el cruce suficiente para que los conductores puedan ver a los peatones?		
	B.4.3	¿Los vehículos, en especial buses de transporte público, se detienen en lugares apropiados y no obstruyen la visibilidad a los peatones?		
B.5	B.5.1	¿Están las entradas de los coches ubicadas lejos a los cruces?		
B.6	B.6.1	¿Los vehículos giran de manera segura y respetan la prioridad del peatón?		
	B.6.2	¿Existen facilidades para los ciclistas en los cruces?		
B.7	B.7.1	¿Está la pintura de las líneas de paradas y cruces bien mantenida al igual que otras marcas en el pavimento?		
	B.7.2	¿Están los cruces peatonales correctamente señalados y/o marcados?		
B.8	B.8.1	¿Hay semáforos para peatones y son adecuados?		
	B.8.2	¿Están regulados los semáforos para el tráfico y peatones para que el tiempo de espera y tiempo de cruce sea razonable?		
B.9	B.9.1	¿El espacio público está distribuido y es utilizado de forma adecuada?		
	B.9.2	¿En los espacios grandes, existe mobiliario urbano que promueva su uso?		
B.10	B.10.1	¿Es segura la localización de los paraderos?		
	B.10.2	¿Los paraderos del transporte público colectivo están distribuidos a distancias aceptables por los peatones y compatibles con los centros atractores de viajes?		

Criterios

B.1	Presencia, diseño y colocación
B.2	Calidad, condición y obstrucciones
B.3	Iluminación
B.4	Visibilidad
B.5	Manejo de accesos
B.6	Características del tráfico
B.7	Señales y marcas en el pavimento
B.8	Semáforos
B.9	Espacio público
B.10	Paraderos

Nota. Adaptado de *Pedestrian Road Safety audit Guidelines and Prompt Lists*, por FHWA (2007)

Luego de haber terminado el diagnóstico total de las intersecciones, se procederá a mencionar las medidas de tratamiento, las cuales toman en cuenta el análisis realizado con la determinación de los niveles de servicio de las intersecciones y la utilización de las listas de chequeo. El rediseño final deberá ser más accesible y seguro para todos los usuarios y se reflejará en un plano. Por esa razón, las medidas se enfocarán en los siguientes aspectos (solo en los que se concluya que es necesario modificar después de realizar el estudio):

- Cambios en los diagramas de fases y modificación del ciclo semafórico
- Cruce peatonal: Ubicación, ancho, tipo y visibilidad
- Rampas: Ubicación y dimensiones
- Canalizaciones de giro: Ángulo de giro e isla de refugio
- Remoción de obstáculos en cruce peatonal, esquinas y aceras
- Modificación del ancho y número de carriles
- Eliminación de accesos conflictivos y estacionamientos
- Remoción o inclusión de señales horizontales o verticales
- Reubicación de paraderos
- Rediseño o inclusión de medianas
- Mobiliario urbano: remoción o reubicación
- Aceras: Aumento del ancho
- Vía para ciclistas: Asegurar continuidad e implementar facilidades en intersecciones
- Necesidad de mayor iluminación
- Necesidades de mantenimiento y reparación
- Intervención del espacio público
- Otros

Capítulo 4: Análisis del problema de la movilidad

En este capítulo, se identifican los principales problemas de cada intersección relacionados con las dificultades de movilidad de los usuarios vulnerables. Para ello, como se explicó en la metodología, se utilizan listas de chequeo, las cuales fueron adaptadas del documento *Pedestrian Road Safety audit Guidelines and Prompt Lists*. Estas listas de chequeo tienen 2 categorías: calles e intersecciones. En el caso de las calles, solo se evalúan los tramos cercanos al área de influencia de la intersección para analizar el acceso a esta. Cabe resaltar que todas las listas de chequeo van a presentarse en el Anexo 1.

4.1 Intersección 1: Av. Universitaria con Av. Venezuela

La descripción de los problemas identificados en la intersección se va a presentar por zonas. Es por ello que, en la figura 4.1, se muestra una zonificación por accesos: el acceso Sur está representado por el área encerrada en color celeste; el acceso Este está encerrado en dos poligonales anaranjadas; el acceso Norte incluye todo lo que está dentro del recuadro rojo y, por último, el acceso Oeste está dentro de la poligonal de color verde. Adicionalmente, se han numerado los cruces peatonales anteponiendo una letra “C” adelante para que, cuando se explique un aspecto particular de estos, sea más fácil ubicarlos en el espacio.

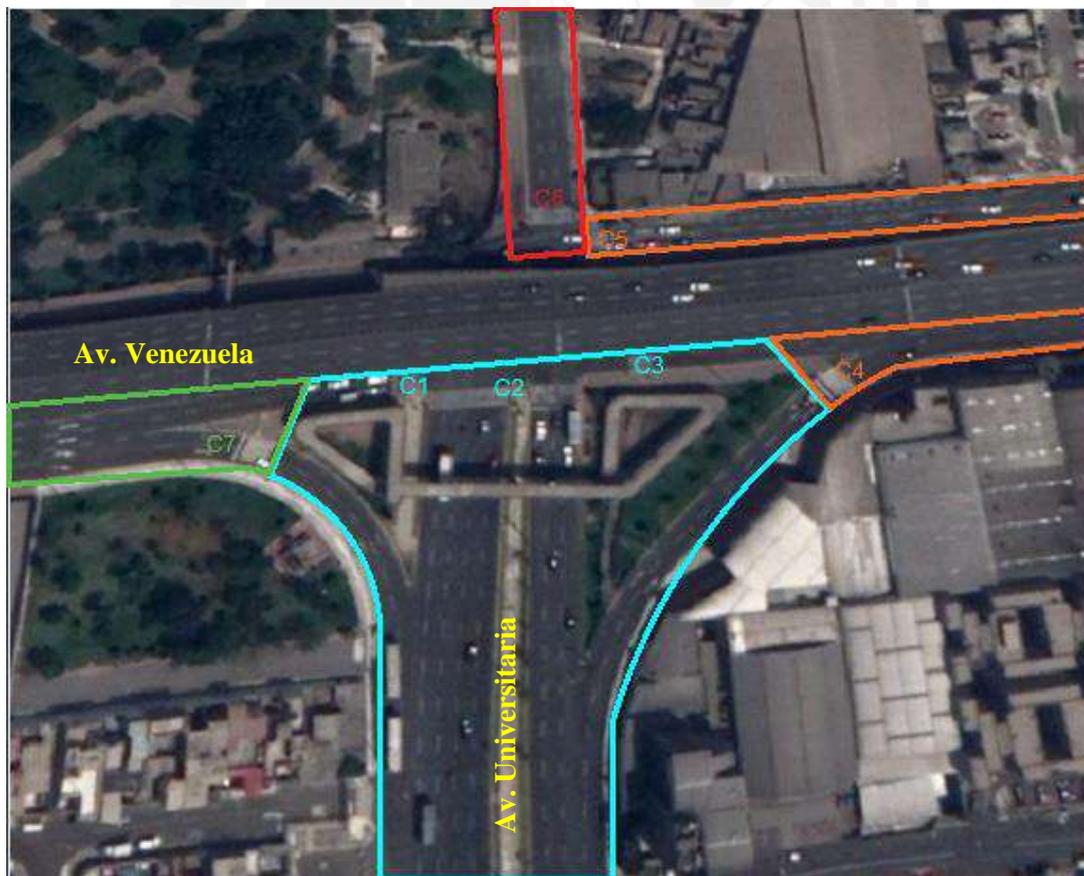


Figura 4.1: Zonificación de la intersección 1 en 4 accesos
Tomado de Google Earth (Adaptado)

A continuación, se van a presentar los principales hallazgos de la intersección. Estos hallazgos se numeran estableciendo una relación con el criterio específico de las listas de chequeo de la intersección 1. Adicionalmente, en el anexo 2, se presentan los hallazgos secundarios, que se consideran menos importantes para la seguridad y accesibilidad de los usuarios.

4.1.1 Acceso Sur

A.8.1. Señal de tránsito redundante

La señal “PARE”, ubicada en el giro canalizado, que se muestra en la figura 4.2, no debería estar ahí pues hay un semáforo unos metros más adelante que regula el derecho de paso de los vehículos. Además, al no ser una configuración habitual, puede generar confusión entre peatones y conductores de vehículos.



Figura 4.2: Señal de tránsito mal ubicada

B.1.7. La ubicación de los cruces peatonales y las líneas de deseo

La mayoría de cruces peatonales están ubicados siguiendo las líneas de deseo peatonales. Sin embargo, en una zona en particular, se aprecia que muchas personas no transitan por el cruce peatonal N°4 (figura 4.1), sino que lo hacen por otra zona, la cual está ubicada en el giro a la derecha canalizado desde la Av. Universitaria a la Av. Venezuela. Esto sucede, principalmente, por dos razones:

- La existencia de un camino habilitado en la isla canalizadora motiva a los peatones a cruzar por la zona indebida para llegar a esa conexión y cruzar la isla de refugio de manera más directa. Este camino se muestra en la figura 4.3.
- La mayoría de peatones que llega a la isla de refugio lo hace desde la Av. Universitaria y prefiere tener un punto de cruce más cercano en vez caminar hacia el cruce existente ubicado más próximo a la Av. Venezuela.



Figura 4.3: Peatones cruzando por una zona peligrosa



Figura 4.4: Los vehículos que giran a la derecha no siempre reducen la velocidad

Esto es peligroso porque el diseño del giro canalizado no impide que los vehículos motorizados giren a la derecha a gran velocidad. Además, la visibilidad también puede ser un problema, tanto para peatones como para conductores de vehículos.



Figura 4.5: Imagen aérea de la intersección que muestra la línea de deseo peatonal y el cruceo peatonal existente.

Nota. Tomado de Google Earth (Adaptado)

B.1.8. Esquinas inaccesibles sin rampas de acceso a cruceos

Algunas esquinas y cruces no cuentan con rampas. Esto impide que las personas en silla de ruedas puedan transitar cómodamente por dichos cruces. En el caso de la figura 4.6 que se muestra a continuación, correspondiente al cruceo peatonal N°2 (ver Figura 4.1), aparte de no existir rampas de acceso, las esquinas son inaccesibles y tienen obstáculos que impiden el libre tránsito de los peatones.

En la figura 4.7, se muestra con más detalle los obstáculos que existen para poder llegar al cruceo peatonal N°2: no existen rampas, la zona no tiene veredas de concreto y los pilares del puente y arbustos contribuyen al efecto barrera que dificulta la accesibilidad de peatones y personas en silla de ruedas.



Figura 4.6: Esquinas inaccesibles para acceder al cruceo N°2



Figura 4.7: Efecto barrera para llegar al cruceo peatonal N°2

B.4.3. Vehículos detenidos que obstruyen la visibilidad de los peatones

En la Av. Venezuela, existe un paradero informal: los buses paran a recoger pasajeros sin que exista la señalización adecuada. Como se muestra en las figuras 4.8 y 4.9, los vehículos se detienen antes del cruce N° 3 y sobre este, lo cual, es inseguro para los peatones que desean cruzar.



Figura 4.8: Combi recogiendo pasajeros sobre el cruce peatonal



Figura 4.9: Combi recogiendo pasajeros antes del cruce peatonal

4.1.2 Acceso Este

A.2.1. Obstrucciones en la vereda

En el margen derecho, casi llegando a la esquina de la intersección, se aprecian bloques de concreto armado con acero descubierto, que son como una barrera para los usuarios vulnerables, ya que, dificultan su desplazamiento y visibilidad, aparte de verse estéticamente mal. Estos obstáculos se muestran en las figuras 4.10, 4.11 y 4.12.



Figuras 4.10, 4.11 y 4.12: Bloques de concreto armado bloqueando la vereda

B.4.1. Bloqueo de visibilidad en las esquinas

En el margen derecho, la esquina se encuentra parcialmente ocupada por un quiosco de periódicos y las estructuras de concreto mencionadas en el criterio anterior. Esto reduce el área del espacio de espera que tienen los peatones antes de cruzar. Aparte de eso, afecta su visibilidad y la de los

conductores de vehículos en el cruce N°5. Como se muestra en la fotografía tomada antes del cruce (figura N°4.13), los peatones no pueden percatarse si hay un vehículo aproximándose por el carril derecho. Del mismo modo, los vehículos de dicho carril no pueden ver a las personas esperando en la esquina. Esto también afecta a los peatones que transitan por el cruce N°6, ya que, no pueden percibir claramente a los vehículos que giran a la derecha desde la Av. Venezuela. Esto se muestra en las figuras N°4.14 y 4.15.



Figura 4.13: Bloqueo de la visibilidad antes del cruce



Figura 4.14: Muro de concreto bloquea la visibilidad



Figura 4.15: Vista en planta del problema de visibilidad Tomado de Google Earth (Adaptado)

4.1.3 Acceso Norte

A.1.5. Ocupación y aglomeraciones en la vereda por comerciantes

En dirección sur a norte de la Av. Universitaria, pasando la intersección con la Av. Venezuela, se ubican bastantes quioscos ocupando la vereda como se muestra en la figura 4.16. Estos están muy cerca uno del otro y algunos son informales. Si bien la acera es ancha, estos pequeños negocios reducen el ancho efectivo de la misma y pueden generar acumulación de personas alrededor. En ese tramo de la Av. Universitaria, la vía es de un solo sentido (sur a norte), por lo que todos los alumnos de la universidad San Marcos que entran y salen por la puerta N°2, y se desplazan en transporte público, utilizan la vereda que se muestra en la imagen. Esto ocasiona que ese tramo de acera se sature de peatones.



Figura 4.16: Pequeños negocios ocupando la vereda



Figura 4.17: La mitad del ancho de vereda es ocupado por los comerciantes

Como se muestra en la figura N°4.17, la vereda consta de 4 cuadrantes de 1 metro cada uno. Por lo tanto, el ancho es 4 metros. Sin embargo, como se puede apreciar, el ancho efectivo es aproximadamente 2 metros, debido a que los comerciantes ocupan casi la mitad del ancho de la acera.

A.2.3. Camino inadecuado para peatones

En la Av. Universitaria, frente a la puerta 2 de la UNMSM, la vereda está incompleta: solo existe en un tramo con una superficie adecuada. Hace unos años, existían planes de la Municipalidad de Lima para ampliar carriles a la Av. Universitaria en ese tramo y convertirla en una vía de doble sentido. Dichos planes, hasta la fecha, no se concretaron y la vereda sigue en ese estado como se muestra en las figuras 4.18 y 4.19.



Figuras 4.18 y 4.19: Superficie inadecuada para el tránsito de peatones

Aparte de la mala imagen que proyecta, una vereda así no incentiva a la gente a caminar por ahí, por lo que toma otras opciones: cruza la pista y se desplaza por la vereda paralela, lo cual satura más ese tramo, o, como se muestra en la figura 4.20, camina por el ancho del sardinel, que tiene apenas 1 metro de ancho, lo cual es peligroso por estar muy cerca al flujo vehicular.



Figura 4.20: Peatón caminando muy cerca de la calzada

B.1.8. Esquinas ocupadas sin rampas de acceso a cruces

Algunas esquinas no cuentan con rampas. Esto impide que las personas en silla de ruedas puedan acceder a los cruces peatonales. Las fotografías de las zonas específicas se muestran a continuación.

- En la figura N°4.21 que muestra el cruce N°6, se aprecia la inexistencia de rampas. Además de eso, la esquina del margen izquierdo está siendo ocupada por un poste de luz, un poste de semáforo y una cerreta de emoliente. Todo ello reduce el espacio destinado a la espera de peatones antes del cruce y afecta su visibilidad.
- En la figura N°4.22, se muestra un cruce peatonal que no tiene rampas de acceso y, aparte, es inseguro porque no está en una esquina y los vehículos que circulan por esa vía arterial pueden alcanzar velocidades de hasta 60 km/h.



Figura 4.21: Cruce N°6 sin rampas de acceso y esquina siendo ocupada por comerciantes



Figura 4.22: Cruce inseguro sin rampas de acceso

4.1.4 Acceso Oeste

B.1.8. Rampa mal ubicada

En el cruce N°7, las rampas sí están presentes, pero estas no están bien ubicadas. En la figura 4.23, se observa la presencia de una rampa que está ubicada antes de la línea de parada de vehículos.



Figura 4.23: Rampa mal ubicada

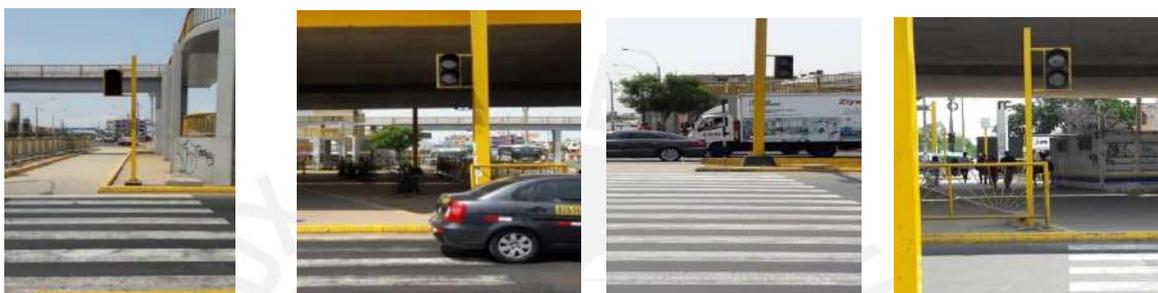
4.1.5 Para todos los cruces

B.1.9. Facilidades para personas con discapacidad

Si bien todas las rampas cumplen el ancho mínimo, estas no tienen superficie podotáctil que alerte sobre el peligro, según el diseño inclusivo de la figura 2.21.

B.8.1. Semáforos peatonales inoperativos

En la mayoría de los cruces existen semáforos peatonales. Sin embargo, como se muestra en las siguientes 4 fotografías, ninguno funciona.



Figuras 4.24, 4.25, 4.26 y 4.27: Semáforos peatonales inoperativos

B.9.2 Puente peatonal y espacio público

El puente peatonal no cumple ninguna función porque existen semáforos y cruces peatonales. La mayoría de personas, que suele desplazarse por la trayectoria más corta, no utiliza dicho puente, que, como se mostró en la figura 4.7, crea un efecto barrera que dificulta la movilidad de los usuarios en las islas de refugio y desaprovecha el espacio público en estas. Además, las rampas para subir al puente peatonal tienen longitudes y pendientes que no permiten que una persona en silla de ruedas pueda desplazarse de manera independiente, por lo cual, no se cumple la principal función del diseño de esta infraestructura. Con respecto al espacio público, ambas islas canalizadoras tienen un espacio considerable de, aproximadamente, 2500 m² combinadas. Sin embargo, no se aprovecha de la mejor forma por falta de mobiliario urbano. Aparte de eso, las áreas verdes están muy descuidadas como se muestra en las figuras 4.28 y 4.29.



Figura 4.28: Áreas verdes sin mantenimiento en la isla canalizadora izquierda



Figura 4.29: Áreas verdes sin mantenimiento en la isla canalizadora derecha

Informalidad

La informalidad está muy presente: paraderos informales, negocios informales, colectivos informales y, como se aprecia en la siguiente fotografía, hasta mototaxis transitan ocasionalmente.



Figura 4.30: Mototaxi en la avenida

B.9.1 By-pass y espacio público

La efectividad del by-pass se discutirá posteriormente cuando se realice el análisis del tránsito vehicular. En cuanto al análisis del espacio público, en las siguientes fotografías se puede apreciar lo abandonado que luce el espacio debajo de la calzada, donde no transita nadie y, en algunas zonas, se acumula basura. En la figura 4.33, se observa los cientos de metros cuadrados de espacio que pudieron haber sido aprovechados de otra manera.



Figuras 4.31 y 4.32: Espacio debajo de la calzada elevada luce abandonado y desatendido



Figura 4.33: Foto panorámica donde se aprecia los miles de metros cuadrados debajo de la calzada elevada

B.6.2 Situación de la ciclovía

- La ciclovía de la Av. Universitaria, que empieza en la intersección de dicha avenida con la Av. La Marina, pierde su continuidad en la intersección con la Av. Venezuela como se muestra en la figura 4.34.
- En la Av. Venezuela, no existe una vía para ciclistas.

- No hay facilidades para los ciclistas en los cruces de la intersección.



Figura 4.34: Tramo existente de ciclovia bidireccional en la Av. Universitaria Tomado de Google Earth (Adaptado)

4.2 Intersección 2: Av. Universitaria con Av. Benavides

En esta intersección, que se muestra en la figura 4.35, no se identificaron tantos problemas como en la primera. Es por eso que solo se numeraron los cruces peatonales, algunos de los cuales van a referenciarse más adelante.



Figura 4.35: Cruces peatonales en la intersección 2 Tomado de Google Earth (Adaptado)

A continuación, se van a presentar los principales hallazgos de la intersección. Estos hallazgos se numeran estableciendo una relación con el criterio específico de las listas de chequeo de la intersección 2. Adicionalmente, en el anexo 2, se presentan los hallazgos secundarios, que se consideran menos importantes para la seguridad y accesibilidad de los usuarios.

B.4.3. Vehículos detenidos que bloquean la vía

Cerca de la intersección, está ubicado el mercado “Colonial”. En el giro a la derecha canalizado de la Av. Universitaria, algunos vehículos con mercancía suelen estacionarse bastante tiempo en una zona prohibida por la presencia de la línea amarilla, reduciendo la capacidad de la vía de giro, lo cual resulta en congestión vehicular en esa zona. Esto se muestra en las figuras 4.36, 4.37 y 4.38.



Figuras 4.36 y 4.37: Vehículos estacionados frente al mercado Colonial



Figura 4.38: Congestión vehicular por la reducción de la capacidad de la vía de giro

B.4.1. Visibilidad de los peatones antes del cruce

Siguiendo con el caso anterior, algunos camiones con mercancía se detienen antes del cruce peatonal C5 (figura 4.35), por lo que bloquean la visibilidad a los peatones que quieren cruzar.

B.4.1. Visibilidad de los peatones antes del cruce

Como se aprecia en la figura 4.39, el arbusto bloquea la visibilidad de los peatones hacia el carril más cerrado. Del mismo modo, los vehículos de ese carril tampoco pueden ver a los peatones esperando en la esquina para acceder al cruce C6.



Figura 4.39: Bloqueo de la visibilidad en el cruce

Para todos los cruces

B.1.9. Facilidades para personas con discapacidad

Las rampas para acceder a los cruces peatonales no tienen superficie podotáctil que alerte sobre el peligro.

B.8.1. Semáforos peatonales

En la mayoría de los cruces existen semáforos peatonales. Sin embargo, como se muestra en las siguientes fotografías, muchos de estos no funcionan.



Figuras 4.40 y 4.41: Semáforos peatonales inoperativos

Este problema se acentúa más, debido a que, algunos semáforos para vehículos están ubicados antes del cruce peatonal, por lo que los peatones no tienen ninguna señal que les indique si pueden o no cruzar. Esto se muestra en la figura 4.42.



Figura 4.42: Semáforo ubicado antes del cruce peatonal, siendo sus luces indetectables por los peatones esperando a cruzar

B.4.2. Línea de parada

La línea de parada no está presente en los 4 giros canalizados a la derecha, los cuales están regulados por semáforos. Esto ocasiona que los vehículos se detengan muy cerca al cruce peatonal, reduciendo la seguridad subjetiva de los peatones que cruzan.

A.7.2 Conflictos entre los ciclistas y peatones

El diseño actual de la ciclovía garantiza su continuidad por las avenidas Universitaria y Benavides. Los cruces están bien delimitados con pintura para reforzar la presencia de ciclistas. Sin embargo, la pintura está un poco gastada y necesita mantenimiento.

En la mayoría de accesos a la intersección, la ciclovía está al nivel de la vereda, por lo que la vía es del tipo acera bici. Si bien tanto el ancho de la acera como el de la vía para ciclistas son adecuados, los límites de ambos flujos no están claramente definidos: la separación consiste solamente en una línea amarilla. Esto no es suficiente, ya que, los peatones no siempre se percatan de la presencia de la vía para ciclistas y caminan sobre esta, lo cual podría ocasionar accidentes.

En la figura 4.43 que se muestra a continuación, peatones y ciclistas están esperando la luz verde en la mediana para poder cruzar. El espacio de la izquierda es para los ciclistas, mientras que el de la derecha, para los peatones. Sin embargo, ambos tipos de usuarios no respetan su espacio asignado, porque la delimitación de flujos no es suficientemente clara.



Figura 4.43: Desorden en los dos tipos de flujos por no existir una delimitación clara

La vía para ciclistas tampoco es respetada por los comerciantes que se encuentran cerca al mercado. Estos se instalan sobre la ciclovía y bloquean el paso como se muestra en la figura 4.44.



Figura 4.44: Bloqueo de la vía para ciclistas

Informalidad

Al igual que en la intersección 1, también se ha detectado mucha informalidad representada, sobre todo, por el transporte público, que se detiene a recoger y dejar pasajeros en cualquier punto de la vía. También, se evidenció presencia de colectivos informales en la Av. Universitaria.

B.9.1 By-pass y espacio público

La construcción del viaducto sobre la Av. Benavides (ex Colonial) modificó la configuración de la intersección significativamente. Con la intención de aumentar la capacidad de las vías para que el tránsito vehicular sea más fluido, se eliminaron muchas áreas verdes y se redujo el espacio público para peatones. Bajo un enfoque de movilidad sostenible, esto no es lo adecuado y menos en una zona con alta densidad peatonal por la presencia de un mercado y un colegio.

La figura 4.45 muestra la fotografía aérea de la intersección antes que se construyera el By-Pass. En esta fotografía, se puede apreciar mucha más presencia de áreas verdes y espacio para los peatones, en comparación con la figura 4.35, que muestra la configuración actual de la intersección.



Figura 4.45: Fotografía aérea de la intersección 2 del año 2005
Tomado de Google Earth

4.3 Intersección 3: Av. Universitaria con Av. Argentina

La descripción de los problemas identificados en la intersección se va a presentar por zonas. Es por ello que, en la figura 4.46, se muestra una zonificación por accesos: el acceso Sur está representado por el área encerrada en color azul; el acceso Este está encerrado la poligonal roja; el acceso Norte incluye todo lo que está dentro del recuadro verde y, por último, el acceso Oeste está dentro de la poligonal de color anaranjado. Adicionalmente, se han numerado los cruces peatonales anteponiendo

una letra “C” adelante para que, cuando se explique un aspecto particular de estos, sea más fácil ubicarlos en el espacio.



Figura 4.46: Zonificación de la intersección 3 por accesos
Tomado de Google Earth (Adaptado)

A continuación, se van a presentar los principales hallazgos de la intersección. Estos hallazgos se numeran estableciendo una relación con el criterio específico de las listas de chequeo de la intersección 3. Adicionalmente, en el anexo 2, se presentan los hallazgos secundarios, que se consideran menos importantes para la seguridad y accesibilidad de los usuarios.

4.3.1 Acceso Sur

A.2.3 Camino no adecuado para los peatones

Muy cerca a la intersección, el ancho de la vereda se va reduciendo hasta desaparecer como se muestra en la figura 4.47, siendo la ciclovía el único camino existente para que los peatones puedan seguir circulando.



Figura 4.47: Vereda discontinua

4.3.2 Acceso Este

B.9.1. Desaprovechamiento del espacio público

El camino peatonal del margen derecho no aprovecha todo el espacio público disponible. Solamente, se han habilitado 2.5 m de vereda, menos de la mitad de todo el ancho disponible, donde se pudo haber incluido mobiliario urbano e, incluso, una vía para ciclistas. Esto se muestra en la figura 4.48.



Figura 4.48: Desaprovechamiento del espacio público en la vereda
Tomado de Google Street View

4.3.3 Acceso Norte

A.2.1 Bloqueo de la vereda

Las veredas en ambos márgenes de la vía tienen 2 metros de ancho, que es el ancho mínimo para que dos personas en sillas de ruedas que transitan en sentido contrario puedan pasar cómodamente. Sin embargo, cerca de la esquina, las veredas están bloqueadas por kioscos que ocupan casi todo su ancho, lo cual, dificulta la movilidad de peatones. Estas obstrucciones de acera se muestran en las figuras 4.49 y 4.50.



Figura 4.49: Obstrucción de la vereda izquierda



Figura 4.50: Obstrucción de la vereda derecha

B.7.1 Pintura del cruceo peatonal

El cruceo peatonal N°3, así como la línea de parada, están muy despintados como se muestra en la figura 4.51. Esto confunde a los peatones y conductores. Los primeros no saben el ancho del cruceo y los segundos, dónde parar en la luz roja.



Figura 4.51: Cruceo peatonal N°3 despintado

4.3.4 Acceso Oeste

B.7.1 Pintura del cruceo peatonal

En el giro canalizado a la derecha de la figura 4.52, las marcas en el pavimento están tan despintadas que no se ven. Esto ocasiona que los peatones crucen desde cualquier punto, lo cual es peligroso, ya que, en algunos tramos, la visibilidad no es la óptima.



Figura 4.52: Cruceo peatonal N°5 despintado

Ese problema también se aprecia en el cruceo N°4, donde la pintura está tan gastada que los vehículos no perciben la línea de parada y se detienen invadiendo el cruceo peatonal en la luz roja como se muestra en la figura 4.53.



Figura 4.53: Cruceo peatonal N°4 despintado

B.1.5 Isla de refugio

La isla de refugio que se muestra en la figura 4.54 es muy angosta y presenta obstáculos (postes de luz). Su ancho es de apenas 1.5 metros, menor al valor de 2 metros que recomienda el manual de la NACTO (2013) como ancho mínimo.



Figura 4.54: Isla de refugio angosta con obstáculos

4.3.5 Para todos los accesos

B.1.8 Rampas en los cruces

No existen rampas en ningún cruce. En todos los casos, existen accesos que se encuentran al mismo nivel que la calzada, pero estos son tramos de ciclovía, no de vereda. Las figuras 4.55, 4.56, 4.57 y 4.58 muestran esta situación.



Figuras 4.55, 4.56, 4.57 y 4.58: Falta de rampas en los accesos a los cruces

B.1.9. Facilidades para personas con discapacidad visual

No existe superficie podotáctil cerca a los cruces que alerte la presencia de la calzada.

B.8.1. Semáforos peatonales

No existen semáforos peatonales en la intersección.

A.6.1 Accesos vehiculares de empresas en la intersección

Como se muestra en las figuras 4.59 y 4.60, los accesos vehiculares ubicados en el cruce de las avenidas Universitaria y Argentina no tienen un diseño seguro ni accesible para los peatones, que tienen que transitar al mismo nivel de la calzada, ya que, la vereda pierde su continuidad en ese tramo bajando al nivel de la pista. Esto da a entender que la prioridad la tienen los vehículos que hacen uso de esos accesos cuando la deberían tener los peatones cuando circulan por la vereda.



Figura 4.59: Camino peatonal al mismo nivel de la calzada por la presencia de estacionamientos y entradas de vehículos



Figura 4.60: La vereda pierde continuidad en la entrada de vehículos

A.7 Situación de la ciclovía

- En la Av. Universitaria, la ciclovía presenta continuidad en ambos sentidos de circulación. Esta es unidireccional y está al nivel de la calzada segregada del flujo vehicular por un sardinel. Las marcas en el pavimento, que deben indicar la dirección, están muy despintadas.
- En la Av. Argentina, no existe una vía para ciclistas.
- En la intersección (los cruces), no existen marcas en el pavimento que definan la trayectoria de los ciclistas.

Capítulo 5: Análisis y propuesta de la gestión del tránsito

En el presente capítulo, se determina el nivel de servicio de cada intersección. Posteriormente, en caso sea posible y se considere pertinente, se calcula un nuevo ciclo del semáforo y una nueva distribución de fases que disminuya las demoras existentes en cada acceso. Para cada intersección, primero, se van a presentar los datos de entrada; luego, se van a determinar los resultados parciales y finales en tablas resumen. Solo en el caso de la intersección 1, se va desarrollar un cálculo detallado en cada tabla resumen a modo de ejemplo.

5.1 Intersección 1: Av. Universitaria con Av. Venezuela

5.1.1 Datos de entrada

5.1.1.1 Movimientos posibles y grupos de carriles

En la figura 5.1 y en la tabla 5.1, se presenta el total de movimientos posibles de la intersección con la nomenclatura que se va a utilizar. Como se aprecia, existen 7 trayectorias desde los accesos Sur, Este y Oeste.

Tabla 5.1: *Movimientos en la intersección N°1*

	Acceso Sur		Acceso Este		Acceso Oeste		
	21	22A	32	30	41	42A	40
Tipo	Directo	Giro a la derecha	Giro a la derecha	Giro a la izquierda	Directo	Giro a la derecha	Giro a la izquierda
Desde	Universitaria	Universitaria	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela	Venezuela
Hasta	Universitaria	Venezuela	Universitaria	Universitaria	Venezuela	Universitaria	Universitaria



Figura 5.1: Movimientos en la intersección N°1 con la nomenclatura a usarse

Los grupos de carriles a considerarse son los siguientes:

- Grupo 1: 21
- Grupo 2: 22A
- Grupo 3: 32 y 30
- Grupo 4: 41 y 40
- Grupo 5: 42A

Los movimientos 22A y 42A se consideran en grupos de carriles independientes porque son giros en carriles exclusivos. Para los demás movimientos, que se producen en carriles compartidos, se considera un grupo de carriles para cada acceso. (TBR, 2000).

5.1.1.2 Aforo de vehículos:

En el anexo 3, se muestra el detalle del aforo vehicular de la intersección por acceso. Las 4 primeras tablas del anexo corresponden a los aforos para los accesos Norte, Sur, Este y Oeste. Para cada acceso, se detalla la cantidad de vehículos que pasa por la intersección distribuidos en tipo: auto, bus interprovincial, bus, micro, camioneta rural, camión, camión con más de 2 ejes, motos y mototaxis. Utilizando los datos de dichas tablas, se ha generado tabla 5.2, donde se identifica que la hora de mayor demanda es entre las 8:00 y las 9:00 de la mañana con un total de 3904 vehículos mixtos (considerando que todos los tipos de vehículos tienen el mismo peso en el conteo vehicular).

Tabla 5.2: *Volumen vehicular en la HMD – Intersección 1*

HORAS DE CONTROL	GRAN TOTAL	SUMA HORARIA
7:00-7:15	926	-
7:15-7:30	941	-
7:30-7:45	964	-
7:45-8:00	1013	3844
8:00-8:15	934	3852
8:15-8:30	935	3846
8:30-8:45	1009	3891
8:45-9:00	1026	3904

Como ya se tiene la hora de máxima demanda, se va a trabajar con los datos en ese rango de tiempo.

En la tabla 5.3, se muestra el volumen de vehículos por tipo de movimiento y vehículo que pasan por la intersección entre las 8 y las 9 de la mañana. La última fila (UCP) corresponde al número de vehículos equivalentes considerando el peso que se le da a cada tipo de vehículo. Estas equivalencias están en la tabla N°3.1 (Capítulo 3). En la figura N°5.2, se muestra, de forma gráfica, la misma información de la tabla N°5.3.

Tabla 5.3: Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la Hora de Máxima Demanda – Intersección 1

	21	22	22A	23	30	32	40	41	42A	Total
Autos	1102	3	244	0	930	104	155	86	337	2961
Bus Interprovinc.	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. Personal	8	0	0	0	1	0	0	0	0	9
Bus	48	0	3	0	42	0	0	10	17	120
Micro	135	0	31	0	167	15	1	10	38	397
C.Rural	11	0	0	0	5	0	0	84	13	113
Camión	28	0	9	0	36	6	8	0	12	99
Camión > 2E	3	0	0	0	7	0	0	0	1	11
Motos	29	1	18	0	111	11	3	4	14	191
Mototaxis	1	0	0	0	2	0	0	0	0	3
TOTAL	1365	4	305	0	1301	136	167	194	432	3904
UCP	1653	4	347	0	1570	155	179	243	521	4670

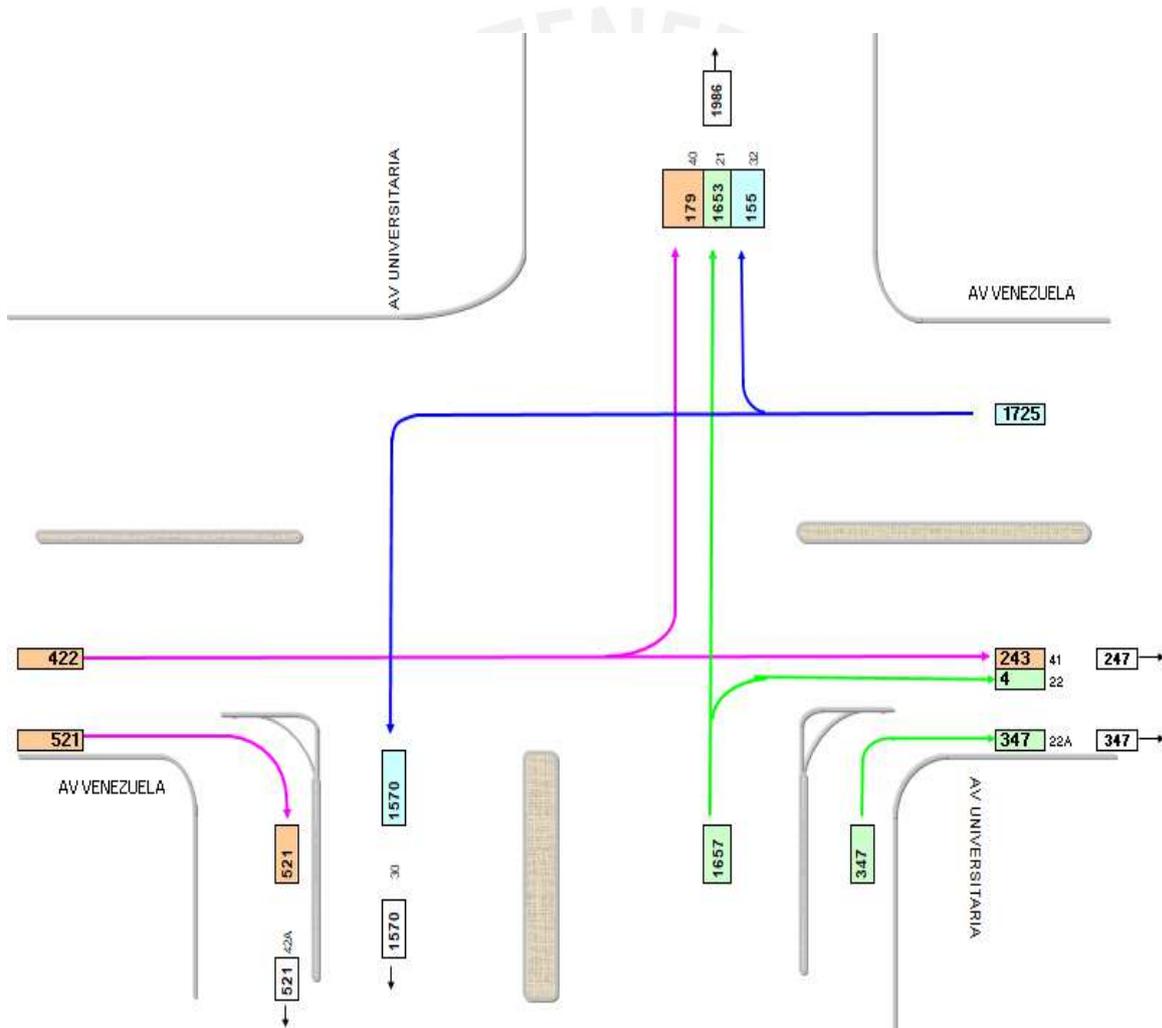


Figura 5.2: Cantidad de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 1

5.1.1.3 Datos geométricos y de tránsito

En la tabla 5.4, se presentan los parámetros de entrada de la intersección 1, en los que se incluye datos geométricos y de tránsito.

Tabla 5.4: *Parámetros de entrada – Intersección 1*

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Nº de carriles	Ancho de carriles (m)	Pendiente (%)	Maniobras de parqueo por hora	Nº de paradas de buses por hora	Proporción de giros a la derecha	Proporción de giros a la izquierda
Grupo 1	Sur	21	3	3.6	-1	0	0	0	0
Grupo 2	Sur	22A	2	3.6	1	0	0	1	0
Grupo 3	Este	32 y 30	2	3.6	-1.5	0	41	0.095	0.905
Grupo 4	Oeste	41 y 40	2	3.6	2	0	0	0	0.463
Grupo 5	Oeste	42A	2	3.6	2	0	0	1	0

5.1.1.4 Condiciones de los semáforos

En la siguiente imagen, se presenta el diagrama de fases semafóricas de la intersección 1, en la que se muestran los tiempos de verde, rojo y ámbar. Como se aprecia, el tiempo total del ciclo es 140 segundos, que se distribuye en 3 fases semafóricas.



Figura 5.3: Fases de la intersección 1

Los movimientos en cada fase son los siguientes:

- Fase 1: 21
- Fase 2: 32, 30, 22A y 42
- Fase 3: 41, 40

5.1.2 Determinación del nivel de servicio

Ahora, se procede a determinar los niveles de servicio de la intersección. Para ello, como se explicó en la metodología, se va a seguir la siguiente secuencia para cada grupo de carriles:

- Ajuste de volúmenes utilizando el factor horario de máxima demanda.
- Determinación del flujo de saturación ajustado según la ecuación 4.
- Determinación de la capacidad y el grado de saturación.
- Determinación de la demora de control y el nivel del servicio.

Con las demoras y volúmenes de cada grupo de carriles, se puede calcular la demora de control para toda la intersección y determinar su nivel de servicio.

5.1.2.1 Ajuste de volúmenes

En la tabla 5.5, se muestra el ajuste de volúmenes para la intersección 1.

- El volumen horario de máxima demanda VHMD se calcula a partir de la tabla 5.3, sumando los valores de la fila “TOTAL” de cada movimiento. Cabe resaltar que, para el grupo de carriles 1, como el movimiento “22” solo lo realizan 4 vehículos, se va a considerar como si todos fueran de frente, es decir, como parte del movimiento “21”.
- El factor horario de máxima demanda FHMD se determina usando las 4 primeras tablas del anexo 3, dividiendo el VHMD del acceso entre 4 veces el volumen de vehículos en los 15 minutos más cargados de la hora punta, según la ecuación 1.
- La tasa de flujo en los 15 minutos de mayor demanda se calcula dividiendo el VHMD entre el FHMD, según la ecuación 2.

Tabla 5.5: Ajuste de volúmenes – Intersección 1

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	VHMD (veh/h)	FHMD	Vp (veh/h)
Grupo 1	Sur	21	1369	0.86	1592
Grupo 2	Sur	22A	305	0.86	355
Grupo 3	Este	32 y 30	1437	0.96	1497
Grupo 4	Oeste	41 y 40	361	0.88	410
Grupo 5	Oeste	42A	432	0.88	491

A continuación, se muestra el desarrollo detallado para la primera fila de la tabla 5.5, correspondiente al grupo de carriles 1.

- ✓ El VHMD del grupo de carril 1 es 1369 veh/h según la tabla 5.3.
- ✓ El FHMD del acceso Sur se calcula sumando los volúmenes de los grupos de carriles 1 y 2 y dividiendo el resultado entre 4 veces el volumen de vehículos en los 15 minutos más cargados de la hora punta (entre las 8 y las 9 de la mañana). Según el anexo 3, el q_{15max} ocurre entre las 8:45 y las 9:45 a.m., y tiene un valor de 485 vehículos.

$$FHMD = \frac{VHMD}{4(q_{15max})} = \frac{1369 + 305}{4 * 485} = 0.86$$

- ✓ La tasa de flujo V_p se determina según la ecuación 2 utilizando los parámetros hallados anteriormente.

$$V_p = \frac{VHMD}{(FHMD)} = \frac{1369}{0.86} = 1592 \text{ veh/h}$$

5.1.2.2 Flujo de saturación ajustado

En la siguiente tabla que se muestra a continuación, se muestran los factores de ajuste para cada grupo de carriles. Estos se multiplican por el flujo de saturación base S_b para determinar el flujo de saturación ajustado.

Tabla 5.6: Flujo de saturación ajustado – Intersección 1

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Sb (ADE/h/carril)	N	Factores de ajuste									S (veh/h)
					f_w	f_{hv}	f_g	f_p	f_{bb}	f_a	f_{lu}	f_{lt}	f_{rt}	
Grupo 1	Sur	21	2050	3	1	0.835	1.005	1	1	1	0.908	1	1	4686
Grupo 2	Sur	22A	2050	2	1	0.835	0.995	1	1	1	0.885	1	0.85	2562
Grupo 3	Este	32 y 30	2050	2	1	0.833	1.008	1	0.954	1	0.952	0.957	0.986	2950
Grupo 4	Oeste	41 y 40	2050	2	1	0.841	0.99	1	1	1	0.952	0.977	1	3175
Grupo 5	Oeste	42A	2050	2	1	0.841	0.99	1	1	1	0.885	1	0.85	2568

A continuación, se muestra el desarrollo detallado para la primera fila de la tabla 5.6, correspondiente al grupo de carriles 1.

- El factor por ancho de carril se calcula de la siguiente forma:

$$f_w = 1 + \frac{(W - 3.6)}{9} = 1 + \frac{(3.6 - 3.6)}{9} = 1$$

- El factor por vehículos pesados se calcula con los valores de la tabla 5.3:

$$f_{hv} = \frac{1365 + 4 + 305}{1653 + 4 + 347} = 0.835$$

- Para determinar el factor de ajuste por pendiente se utiliza la ecuación 8:

$$f_g = 1 - \frac{P_g}{200} = 1 - \frac{(-1)}{200} = 1.005$$

- Con respecto al factor por utilización de carril, se utiliza la tabla 3.2. Para 3 carriles compartidos, el factor se considera en 0.908.
- Los demás factores de ajuste tienen el valor de 1, debido a que no existen paraderos ni estacionamientos en el área de influencia del acceso. Tampoco se producen maniobras de giros porque todos los vehículos del grupo de carriles van de frente.
- Por último, el flujo de saturación ajustado se calcula utilizando la ecuación 4:

$$S = S_b * N * f_w * f_{HV} * f_g * f_p * f_{bb} * f_a * f_{LU} * f_{LT} * f_{RT}$$

$$S = 2050 * 3 * 1 * 0.835 * 1.005 * 1 * 1 * 1 * 0.908 * 1 * 1 = 4686 \text{ veh/h}$$

5.1.2.3 Capacidad y grado de saturación

En tabla 5.7, se calcula la capacidad Q del grupo de carriles, así como el grado de saturación X_i .

- Para determinar la capacidad, se utiliza la ecuación 15. Para el cálculo del tiempo de verde efectivo v_{ei} se considera una ganancia final de 3 segundos, equivalente al 75% del tiempo ámbar, y una pérdida inicial de 1 segundo en todos los accesos.

- El grado de saturación X_i se calcula según la ecuación 16, dividiendo la tasa de flujo v_p entre la capacidad Q del grupo de carriles.

Tabla 5.7: Capacidad y grado de saturación – Intersección 1

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Ve1 (s)	S (veh/h)	Q (veh/h)	Vp (veh/h)	Xi
Grupo 1	Sur	21	140	42	4686	1406	1592	1.13
Grupo 2	Sur	22A	140	71	2562	1299	355	0.27
Grupo 3	Este	32 y 30	140	70	2950	1475	1497	1.01
Grupo 4	Oeste	41 y 40	140	20	3175	454	410	0.9
Grupo 5	Oeste	42A	140	70	2568	1284	491	0.38

A continuación, se muestra el desarrollo detallado para la primera fila de la tabla 5.7, correspondiente al grupo de carriles 1.

Para el cálculo del tiempo verde efectivo se utiliza el diagrama de fases de la figura 5.3:

$$v_{e1} = V_1 - \lambda_1 + \lambda_2 = 40 - 1 + 3 = 42 \text{ s}$$

Según la ecuación 15, la capacidad del grupo de carriles 1 sería según se muestra a continuación:

$$Q = S_1 * \left(\frac{v_{e1}}{C}\right) = 4686 * \left(\frac{42}{140}\right) = 1406 \text{ veh/h}$$

Por último, el grado de saturación se determina usando la ecuación 16:

$$X_1 = \frac{v_p}{Q} = \frac{1586}{1406} = 1.13$$

5.1.2.4 Demoras y niveles de servicio

En la tabla 5.8, se muestra la determinación de la demora de control para los 5 grupos de carriles.

Para el cálculo de este parámetro, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El factor de ajuste por tipo de ingreso a la intersección corriente arriba “I” se va a considerar como 1.
- El factor de la demora incremental “k” será igual a 0.5.
- No se ha detectado una cola residual del periodo anterior por lo que la demora d_3 es igual a cero.

Tabla 5.8: Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 1

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Ve1 (s)	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	Xi	d2 (s/veh)	PF	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21	140	42	49.0	1406	1.13	68.1	1	117.1	F
Grupo 2	Sur	22A	140	70	20.2	1299	0.27	0.5	1	20.7	C
Grupo 3	Este	32 y 30	140	70	35.0	1475	1.01	25.9	1	60.9	E
Grupo 4	Oeste	41 y 40	140	20	59	454	0.9	23.5	1	82.5	F
Grupo 5	Oeste	42A	140	70	21.6	1284	0.38	0.9	1	22.5	C

A continuación, se muestra el desarrollo detallado para la primera fila de la tabla 5.8, correspondiente al grupo de carriles 1.

- La demora d_1 se determina mediante la ecuación 18:

$$d_1 = \frac{0.5 * C * (1 - \frac{v_{ei}}{C})^2}{1 - [\min(1, X) * v_{ei}/C]} = \frac{0.5 * 140 * (1 - \frac{42}{140})^2}{1 - [1 * 42/140]} = 49 \text{ s/veh}$$

- La demora d_2 se determina mediante la ecuación 19:

$$d_2 = 900T \left[(X - 1) + \sqrt{(X - 1)^2 + \frac{8 * k * I * X}{QT}} \right]$$

$$= 900(0.25) \left[(1.13 - 1) + \sqrt{(1.13 - 1)^2 + \frac{8 * 0.5 * 1 * 1.13}{1406 * 0.25}} \right] = 68.1 \text{ s/veh}$$

- La demora total sería la suma de los dos parámetros hallados anteriormente: 117.1 s.
- Por último, el nivel de servicio del grupo de carril 1, según la tabla N°3.3, es F.

Finalmente, se puede determinar el nivel de servicio de toda la intersección por medio de un promedio ponderado entre la tasa de flujo v_p y las demoras de los grupos de carriles. El resultado de ese cálculo se muestra a continuación.

Tabla 5.9: Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 1

Grupo de carriles	Tasa de flujo (veh/h)	Demoras (s/veh)
1	1592	117.1
2	355	20.9
3	1497	60.7
4	410	82.5
5	491	22.5

$$d = \frac{1592 * 117.1 + 355 * 20.9 + 1497 * 60.7 + 410 * 82.5 + 491 * 22.5}{1592 + 355 + 1497 + 410 + 491} = 75.9s$$

En este caso, la demora de control de la intersección es 75.9 segundos, lo que representa un nivel de servicio E.

5.1.3 Comentarios de los niveles de servicio

- Las trayectorias que más demanda tienen, según el aforo realizado, son el movimiento directo desde la avenida Universitaria y el giro a la izquierda desde el acceso Este. Para ambos casos

por separado, más de 1300 vehículos realizan dichos movimientos en la hora punta de la mañana.

- En la tabla 5.5, se aprecia que para los accesos Sur y Oeste, el factor horario de máxima demanda FHMD es similar, alrededor de 0.88. Esto indica que el flujo en la hora punta es uniforme, pero sí se evidencia un periodo pico de 15 minutos. Por el contrario, para acceso Este, en el que el FHMD es 0.96, el flujo y la congestión vehicular son constantes en toda la hora punta.
- Del cálculo del flujo de saturación ajustado S para los grupos de carriles, el factor de ajuste que más impacto tiene en este parámetro es el factor por vehículos pesados, que es menor a 0.85 en todos los casos.
- Con respecto al grado de saturación y las demoras de control, los grupos de carriles 1 y 3 tienen valores de X por encima de 1, lo cual indica un exceso de la demanda sobre la capacidad. En estos casos, es más probable que existan fluctuaciones aleatorias y sobresaturación en algunos ciclos del periodo de análisis, ocasionando que varios vehículos tengan que esperar más de un ciclo para pasar la intersección.
- En el caso del grupo de carriles 4, en el acceso oeste, presenta una demora elevada, ya que, el tiempo de verde efectivo es un valor muy bajo en relación al ciclo total del semáforo. Esto afecta directamente a la capacidad, reduciéndola considerablemente.
- Los grupos de carriles 2 y 5, correspondientes a los giros canalizados a la derecha 22A y 42A respectivamente, presentan demoras aceptables. En el caso específico de la demora incremental d_2 , esta es insignificante, ya que los grados de saturación son también muy bajos, menores a 0.4. Esto se esperaba pues dichos movimientos se producen en grupos de carriles exclusivos, sin entrar en conflicto con peatones u otros vehículos.
- Como se muestra en las tablas 5.7 y 5.8, así como existen grupos de carriles sobresaturados; otros, como los giros canalizados a la derecha, presentan diseños sobreestimados, en los que la demanda es menor a la mitad de la capacidad en la hora punta. En caso sea necesario ampliar las veredas o implementar una ciclovía, se podría utilizar un carril de vehículos sin que esto afecte al tráfico de manera significativa. Sobre este punto, se va a profundizar más en el capítulo 6.

5.1.4 Optimización del ciclo del semáforo

Antes de aplicar el procedimiento explicado en el punto 3.1.3, se va a determinar si la intersección está sobresaturada a partir de los flujos críticos por fase. En la siguiente tabla, se muestra la determinación de esos flujos, así como los parámetros “ y ”, considerando 3 fases.

Tabla 5.10: *Determinación de parámetros “y” – Intersección 1*

Fase	Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Flujo máximo por carril (veh/h)	FHMD	flv	Ev	qmax (veh/h)	s (veh/h)	y
I	1	Norte	21	456	0.86	0.835	1	635	2050	0.31
II	3	Este	32	68	0.96	0.833	1.2	1240	2050	0.60
	3	Este	30	650	0.96	0.833	1.4			
III	4	Oeste	41	97	0.88	0.841	1	290	2050	0.14
	4	Oeste	40	84	0.88	0.841	1.4			
										1.06

La suma de las máximas relaciones de flujo por fase es mayor a 1, lo cual indica que la intersección está sobresaturada y no es posible aplicar el método de Webster. La solución teórica sería reducir el número de fases a 2; sin embargo, esto sería inseguro por la gran cantidad de vehículos que giran a la izquierda desde el acceso Este, los cuales entrarían en constante conflicto con los que siguen de frente desde el acceso Oeste. Por esta razón, se va a mantener el número de fases en 3 y no se va a modificar el ciclo semafórico.

En el capítulo 6, se van a recomendar las alternativas de solución para mejorar la movilidad y seguridad de todos los usuarios. De esta manera, al promover modos de transporte más sostenible, indirectamente, se reduce el uso del automóvil particular.

5.2 Intersección 2: Av. Universitaria con Av. Benavides

5.2.1 Datos de entrada

5.2.1.1 Movimientos posibles y grupos de carriles

En la intersección, se realizan hasta 17 movimientos distintos desde los 4 accesos. La nomenclatura es la misma que la intersección 1 y se muestra en la tabla 5.11. En la figura N°5.4 se presentan gráficamente todos los movimientos de la intersección 2.

Tabla 5.11: *Nomenclatura de los movimientos – Intersección 2*

Primer número		Segundo número	
Desde		Dirección	
1	Norte	1	De frente
2	Sur	2	Derecha
3	Este	0	Izquierda
4	Oeste	3	Vuelta en U

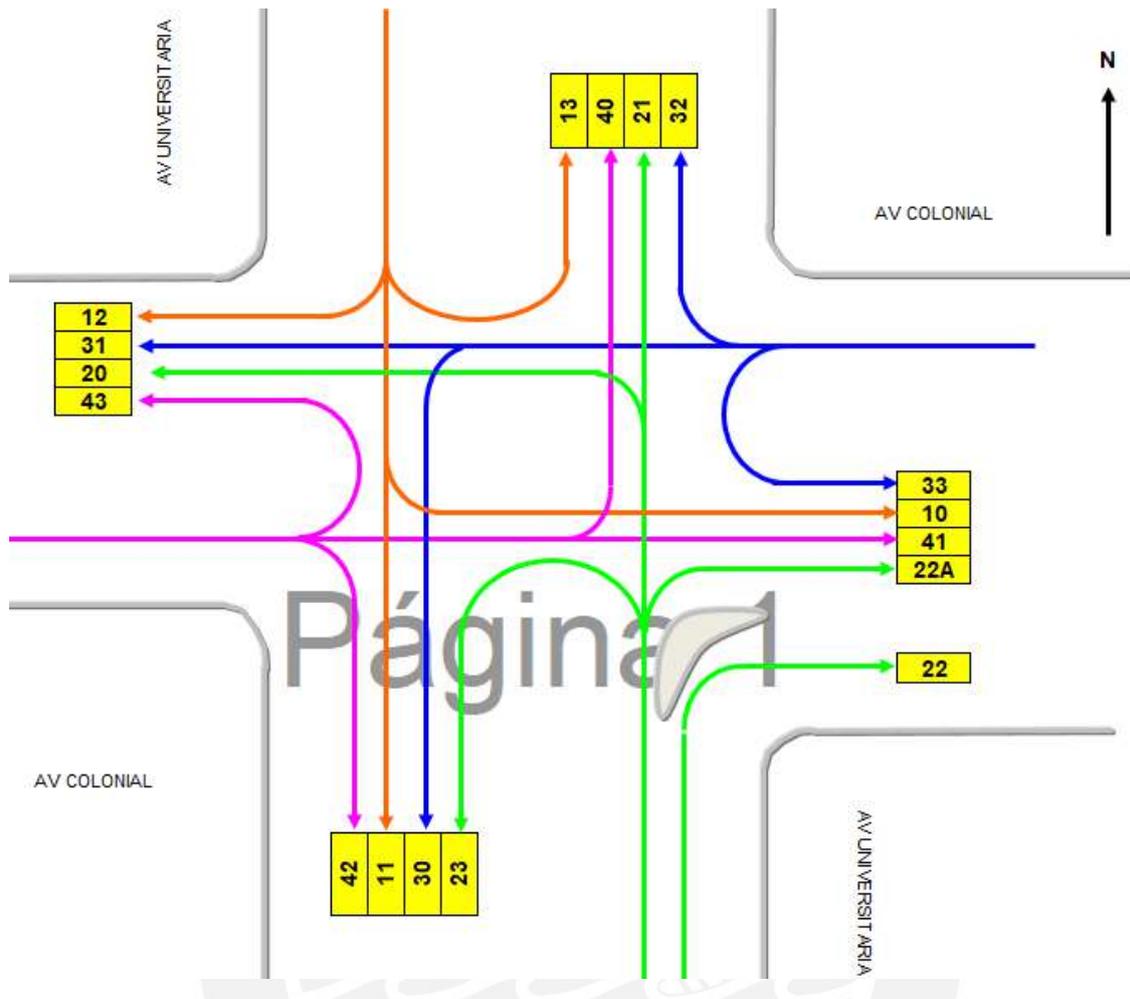


Figura 5.4: Movimientos en la intersección N°2 con la nomenclatura a usarse

Los grupos de carriles a considerarse son los siguientes:

- Grupo 1: 21, 22A, y 20
- Grupo 2: 22
- Grupo 3: 31 y 30
- Grupo 4: 32
- Grupo 5: 41 y 40
- Grupo 6: 42
- Grupo 7: 11 y 10
- Grupo 8: 12

Los movimientos 22, 32, 42 y 12 se consideran como grupos de carriles independientes cada uno porque son trayectorias en carriles exclusivos. En el caso de los giros a la derecha desde el acceso Sur, estos están divididos en 2 grupos de carriles distintos porque algunos vehículos realizan este movimiento utilizando los carriles exclusivos y otros utilizan los compartidos. Para los demás movimientos, que se producen en carriles compartidos, se considera un grupo para cada acceso.

5.2.1.2 Aforo de vehículos:

En el anexo 3, se muestra el detalle del aforo vehicular de la intersección por acceso. Para cada acceso, se detalla la cantidad de vehículos que pasa por la intersección distribuidos en tipo: auto, bus interprovincial, bus, micro, camioneta rural, camión, camión con más de 2 ejes, motos y mototaxis. Utilizando los datos del anexo, se ha generado la tabla 5.12, donde se identifica que la hora de mayor demanda es entre las 7:30 y las 8:30 de la mañana con un total de 4073 vehículos mixtos (considerando que todos los tipos de vehículos tienen el mismo peso en el conteo).

Tabla 5.12: *Volumen vehicular en la HMD – Intersección 2*

HORAS DE CONTROL	GRAN TOTAL	SUMA HORARIA
7:00-7:15	843	-
7:15-7:30	970	-
7:30-7:45	1134	-
7:45-8:00	1010	3957
8:00-8:15	945	4059
8:15-8:30	984	4073
8:30-8:45	936	3875
8:45-9:00	1043	3908

Como ya se tiene la hora de máxima demanda, se va a trabajar en relación con los datos de ese rango de tiempo.

En la tabla 5.13, se muestra el volumen de vehículos por tipo de movimiento y vehículo que pasan por la intersección entre las 7:30 y las 8:30 de la mañana. La última fila (UCP) corresponde al número de vehículos equivalentes considerando el peso que se le da a cada tipo de vehículo según la tabla N°3.1.

Tabla 5.13: *Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la HMD – Intersección 2*

	10	11	12	13	20	21	22	22A	23	30	31	32	33	40	41	42	43	Total
Autos	916	43	95	20	96	924	145	46	3	18	167	113	163	45	122	39	88	3043
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. Personal	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0	2	1	0	0	0	0	0	7
Bus	44	0	0	0	0	16	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	64
Micro	150	0	4	0	9	126	0	0	0	0	12	16	0	4	28	0	0	349
C.Rural	6	0	0	0	0	8	0	0	0	0	113	0	0	0	99	0	1	227
Camion	34	0	4	0	2	21	4	0	1	1	2	11	7	6	1	2	3	99
Camion > 2E	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
Mototaxis	1	2	1	1	11	20	1	0	6	0	2	0	0	0	0	0	19	64
Motos	109	17	12	0	9	46	3	0	0	0	0	2	7	5	3	4	0	217
TOTAL	1262	63	116	21	128	1163	156	48	10	19	298	143	177	60	253	45	111	4073
UCP	1484	53	117	21	131	1319	165	53	9	21	345	177	183	70	305	45	106	4603

En la figura número 5.5, se muestra la cantidad de vehículos por cada dirección en la hora de máxima demanda. Los valores están expresados en vehículos equivalentes.

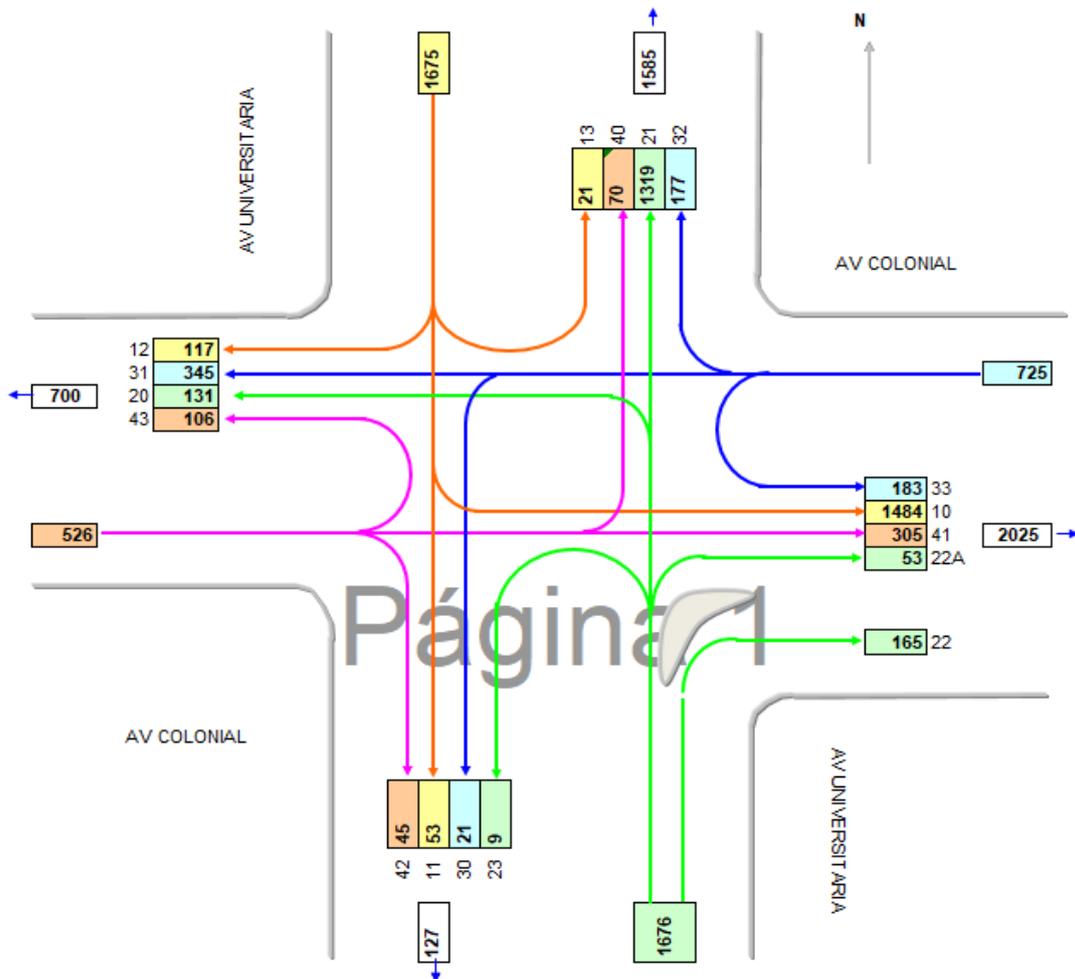


Figura 5.5: Volumen de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 2

5.2.1.3 Datos geométricos y de tránsito

En la tabla 5.14, se presentan los parámetros de entrada de la intersección 2, en los que se incluye los datos geométricos y de tránsito.

Tabla 5.14: Parámetros de entrada – Intersección 2

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Nº de carriles	Ancho de carriles (m)	Pendiente (%)	Maniobras de parqueo por hora	Nº de paradas de buses por hora	Proporción de giros a la derecha	Proporción de giros a la izquierda
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	5	3.3	1	0	35	0.036	0.102
Grupo 2	Sur	22	1	3	1	0	0	1	0
Grupo 3	Este	31, 30	3	3	-2	0	22	0	0.397
Grupo 4	Este	32	1	4.6	-2	0	0	1	0
Grupo 5	Oeste	41 y 40	3	3	-1	0	25	0	0.403
Grupo 6	Oeste	42	2	2.65	-1	0	25	1	0
Grupo 7	Norte	11, 10	5	3.3	-1.5	0	55	0	0.953
Grupo 8	Norte	12	2	2.55	-1.5	0	55	1	0

Con respecto a los datos de la tabla 5.14, se tienen las siguientes consideraciones:

- Para el análisis, se van a considerar las vueltas en U dentro de los movimientos de giro a la izquierda.
- En los giros canalizados, se han detectado carriles mayores a 5 metros para los movimientos “42” y “12”. Siguiendo las recomendaciones del HCM, para esos casos de va a considerar 2 carriles, lo cual concuerda con lo que se ha observado en campo.

5.2.1.4 Condiciones de los semáforos

En la figura 5.6, se presenta el diagrama de fases del semáforo de la intersección 2, en la que se muestran los tiempos de verde, rojo y ámbar. Como se aprecia, el tiempo total del ciclo es 180 segundos, que se distribuye en 4 fases semafóricas. La intersección tiene una configuración semafórica compleja, la cual se explica a continuación:

- La fase I incluye los movimientos desde los accesos Norte y Sur. Sin embargo, en el caso del acceso Norte, más del 95% de vehículos gira a la izquierda, lo cual, no pueden realizar debido al bloqueo de los vehículos que van de frente desde del acceso opuesto. El movimiento recién lo pueden terminar en la fase II, que es exclusiva para el acceso Norte. Es por eso que ambas fases se han expresado como se muestra en la figura 5.6.
- Las fases III y IV incluyen los giros canalizados a la derecha y los movimientos desde los accesos Este y Oeste. Para ambos grupos, el verde comienza al mismo tiempo, pero la duración es diferente. Por eso, en el diagrama, se muestra un traslape en el tiempo verde de ambas fases.

Fase I	50 s	4 s	126 s
FASE II	56 s	70 s	4 s
FASE III	132 s	28 s	4 s
FASE IV	132 s	42 s	4 s

Figura 5.6: Fases de la intersección 2

Los movimientos por fase son los siguientes:

- Fase 1: 21, 22A y 20
- Fase 2: 11, 10
- Fase 3: 31, 30, 41, 40
- Fase 4: 12, 22, 32, 42

5.2.2 Determinación del nivel de servicio

Ahora, se procede a determinar los niveles de servicio de la intersección de la misma forma que se hizo con la intersección 1, siguiendo los siguientes 4 pasos para cada grupo de carriles:

- Ajuste de volúmenes utilizando el factor horario de máxima demanda.
- Determinación del flujo de saturación ajustado según la ecuación 4.
- Determinación de la capacidad y el grado de saturación.
- Determinación de la demora de control y el nivel del servicio.

Con las demoras y volúmenes de cada grupo de carriles, se puede calcular la demora de control para toda la intersección y determinar su nivel de servicio.

5.2.2.1 Ajuste de volúmenes

En la tabla 5.15, se muestra el ajuste de volúmenes para la intersección 2.

- El volumen horario de máxima demanda VHMD se calcula a partir de la tabla 5.13, sumando los valores de la fila “TOTAL” de cada movimiento.
- El factor horario de máxima demanda FHMD se determina usando las tablas del anexo 3, dividiendo el VHMD del acceso entre 4 veces el volumen de vehículos en los 15 minutos más cargados de la hora punta, según la ecuación 1.
- La tasa de flujo en los 15 minutos de mayor demanda se calcula dividiendo el VHMD entre el FHMD, según la ecuación 2.

Tabla 5.15: Ajuste de volúmenes – Intersección 2

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	VHMD (veh/h)	FHMD	Vp (veh/h)
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	1349	0.86	1569
Grupo 2	Sur	22	156	0.86	181
Grupo 3	Este	31, 30	494	0.89	555
Grupo 4	Este	32	143	0.89	161
Grupo 5	Oeste	41 y 40	424	0.84	505
Grupo 6	Oeste	42	45	0.84	54
Grupo 7	Norte	11, 10	1346	0.93	1447
Grupo 8	Norte	12	116	0.93	125

5.2.2.2 Flujo de saturación ajustado

En la tabla 5.16 que se muestra a continuación, se determinan los factores de ajuste para cada grupo de carriles. Estos se multiplican por el flujo de saturación base S_b para determinar el flujo de saturación ajustado.

Tabla 5.16: *Flujo de saturación ajustado – Intersección 2*

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Sb (ADE/h/carril)	N	Factores de ajuste									S (veh/h)
					fw	flv	fg	fp	fb	fa	flu	flt	frt	
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	2050	5	0.967	0.898	0.995	1	0.981	1	0.908	0.995	0.995	7810
Grupo 2	Sur	22	2050	1	0.933	0.898	0.995	1	1	1	1	1	0.85	1453
Grupo 3	Este	31, 30	2050	3	0.933	0.879	1.01	1	0.984	1	0.908	0.981	1	4465
Grupo 4	Este	32	2050	1	1.111	0.879	1.01	1	1	1	1	1	0.85	1719
Grupo 5	Oeste	41 y 40	2050	3	0.933	0.892	1.005	1	0.981	1	0.908	0.98	1	4490
Grupo 6	Oeste	42	2050	2	0.894	0.892	1.005	1	0.972	1	0.885	1	0.85	2403
Grupo 7	Norte	11, 10	2050	5	0.967	0.873	1.008	1	0.976	1	0.908	0.955	1	7382
Grupo 8	Norte	12	2050	2	0.883	0.873	1.008	1	0.939	1	0.885	1	0.85	2250

5.2.2.3 Capacidad y grado de saturación

En la siguiente tabla, se calcula la capacidad Q del grupo de carriles, así como el grado de saturación Xi.

- Para determinar la capacidad, se utiliza la ecuación 15. Para el cálculo del tiempo de verde efectivo v_{ei} se considera una ganancia final de 3 segundos, equivalente al 75% del tiempo ámbar, y una pérdida inicial de 1 segundo en todos los accesos.
- El grado de saturación Xi se calcula según la ecuación 16, dividiendo la tasa de flujo v_p entre la capacidad Q del grupo de carriles.

Tabla 5.17: *Capacidad y grado de saturación – Intersección 2*

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Ve _i (s)	S (veh/h)	Q (veh/h)	V _p (veh/h)	Xi
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	180	52	7810	2256	1569	0.70
Grupo 2	Sur	22	180	44	1453	355	181	0.51
Grupo 3	Este	31, 30	180	30	4465	744	555	0.75
Grupo 4	Este	32	180	44	1719	420	161	0.38
Grupo 5	Oeste	41 y 40	180	30	4490	748	505	0.68
Grupo 6	Oeste	42	180	44	2403	587	54	0.09
Grupo 7	Norte	11, 10	180	72	7382	2953	1447	0.49
Grupo 8	Norte	12	180	44	2250	550	125	0.23

5.2.2.4 Demoras y niveles de servicio

En la tabla 5.18, se muestra la determinación de la demora de control para los 8 grupos de carriles. Para el cálculo de este parámetro, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El factor de ajuste por tipo de ingreso a la intersección corriente arriba “I” se va a considerar como 1.
- El factor de la demora incremental “k” será igual a 0.5.
- No se ha detectado una cola residual, por lo que la demora d3 es igual a cero.

Tabla 5.18: *Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 2*

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Vei (s)	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	Xi	d2 (s/veh)	PF	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	180	52	57.0	2256	0.70	1.8	1	58.8	E
Grupo 2	Sur	22	180	44	58.7	355	0.51	5.2	1	63.9	E
Grupo 3	Este	31, 30	180	30	71.4	744	0.75	6.8	1	78.2	E
Grupo 4	Este	32	180	44	56.6	420	0.38	2.6	1	59.2	E
Grupo 5	Oeste	41 y 40	180	30	70.5	748	0.68	4.9	1	75.4	E
Grupo 6	Oeste	42	180	44	52.5	587	0.09	0.3	1	52.8	D
Grupo 7	Norte	11, 10	180	72	40.3	2953	0.49	0.6	1	40.9	D
Grupo 8	Norte	12	180	44	54.4	550	0.23	1.0	1	55.4	E

Finalmente, se puede determinar el nivel de servicio de toda la intersección por medio de un promedio ponderado entre la tasa de flujo v_p y las demoras de los grupos de carriles. El resultado de ese cálculo se muestra a continuación.

Tabla 5.19: *Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 2*

Grupo de carriles	Tasa de flujo (veh/h)	Demoras (s/veh)
1	1569	58.8
2	181	63.9
3	555	78.2
4	161	59.2
5	505	75.4
6	54	52.8
7	1447	40.9
8	125	55.4

Después de hacer el promedio ponderado de la misma forma que se hizo para la intersección 1, la demora de control de la intersección 2 es 57.4 segundos, lo que representa un nivel de servicio E.

5.2.3 Comentarios de los niveles de servicio

- Las trayectorias que más demanda tienen, según el aforo realizado, son el movimiento directo desde la avenida Universitaria en dirección Sur-Norte y el giro a la izquierda desde el acceso Norte. Para ambos casos por separado, más de 1000 vehículos realizan dichos movimientos en la hora punta de la mañana.
- De los vehículos que vienen del acceso norte por los carriles compartidos, el 95% gira a la izquierda y tan solo el 5% va de frente. Esto sucede porque la Av. Universitaria, medio kilómetro al sur de la intersección, se convierte en una vía de un solo sentido, por lo que los vehículos que quieren seguir por dicha avenida tienen que tomar una ruta alterna para salir por la Av. Venezuela y luego girar a la Av. Universitaria. Esto ocasiona que ese tramo de la Av. Venezuela esté sobresaturado, lo cual se pudo comprobar en el análisis de la intersección 1.

- Los vehículos que giran a la derecha desde el acceso sur no utilizan, en su mayoría, los carriles exclusivos (movimiento canalizado). La razón de esto es porque los carriles de la canalización se encuentran bloqueados parcialmente por camiones estacionados ilegalmente frente al mercado existente cerca a la intersección.
- En la tabla 5.15, se aprecia que el FHMD es menor a 0.9 en casi todos los accesos, lo cual significa que sí se diferencia un periodo pico de 15 minutos. Solo en el acceso norte, en el que el factor horario de máxima demanda punta es 0.93, el flujo vehicular es más uniforme en toda la hora punta.
- Del cálculo del flujo de saturación ajustado S para los grupos de carriles, el factor de ajuste que más impacto tiene en este parámetro es el factor por vehículos pesados, que es menor a 0.9 en todos los accesos. Aparte de ese, como casi todos los accesos tienen como mínimo 3 carriles, el f_{LU} adquiere más importancia y toma el valor de alrededor de 0.9 en casi todos los grupos de carriles.
- Con respecto al grado de saturación, todos los grupos de carriles operan por debajo de su capacidad. Por esta razón, la demora incremental d_2 es menor a 5 segundos en casi todos estos grupos y no tiene mayor influencia en la demora total de la intersección. A partir del grado de saturación, también se puede deducir que algunos accesos podrían estar sobredimensionados. Por ejemplo, los giros canalizados a la derecha de los accesos Norte y Oeste tienen 2 carriles cada uno, pero están subutilizados, ya que la demanda es baja para esos movimientos. Lo mismo ocurre para el tramo de la Av. Universitaria en dirección Sur, que consta de 3 carriles, pero menos de 150 vehículos circulan por ese tramo en la hora de máxima demanda.
- Las demoras en los grupos de carriles están influenciadas, en más de un 90%, por la demora de control uniforme d_1 . Este parámetro, si bien también es afectado por el grado de saturación X , depende más de la longitud del ciclo C y la relación del verde efectivo v_{ei}/C . Es así que los grupos de carriles 3 y 5 presentan demoras elevadas, casi 80 segundos, porque el tiempo verde es la sexta parte que la longitud del ciclo total. En los demás grupos de carriles, excepto en el grupo 7, la relación v_{ei}/C es alrededor de 0.25 y las demoras están entre 45 y 60 segundos.
- Respecto a la configuración del semáforo, el ciclo del semáforo es bastante elevado: 180 segundos. Como se explicó en el capítulo 3, el ciclo máximo debería ser alrededor de 120 segundos y, solo excepcionalmente, 140 o 160 segundos. Por eso, a continuación, se va a proponer un ciclo semafórico menor al actual que optimice el funcionamiento de la intersección y reduzca las demoras para todos los usuarios.

5.2.4 Optimización del ciclo del semáforo

Lo primero que se decide es el número de fases que se quiere adoptar. En este caso, los movimientos vehiculares de la intersección se van a agrupar en tres fases de la siguiente manera:

- Fase I: 21 y 20
- Fase II: 11 y 10
- Fase III: 31, 30, 41, 40, 12, 22, 32 y 42

Se ha decidido agrupar en la fase III a los movimientos de los accesos Este y Oeste, así como a los giros a la derecha canalizados de todos los accesos. Esto porque la cantidad de vehículos que realiza vueltas a la derecha no es significativo y pueden compartir la fase con los vehículos que circulan desde los accesos Este y Oeste. En los puntos de conflicto, los vehículos que giran van a ceder el paso a los que van de frente, que tienen prioridad.

5.2.4.1 Longitud de intervalos de cambio de fase

En la siguiente tabla, se muestran los datos de entrada para determinar el parámetro “Y” para cada fase.

Tabla 5.20: Longitud de intervalos de cambio de fase – Intersección 2

Cálculo de Y	Fase I	Fase II	Fase III
Lo (m)	6.1	6.1	6.1
t (s)	1	1	1
a (m/s ²)	3.05	3.05	3.05
V (m/s)	16.67	16.67	16.67
W (m)	48	40	55
Y (s)	6.98	6.50	7.40
Ambar (s)	4	4	4
TR (s)	3	3	3

- Donde Lo es la longitud del vehículo, cuyo valor sugerido es 6.1 m
- t es el tiempo de percepción – reacción del conductor, que se considera en 1 s.
- a es la tasa de aceleración, considerada en 3.05 m/s²
- V es la velocidad de aproximación de los vehículos, que es 60 km/h por tratarse de una avenida.
- W es el ancho de la intersección, determinado según la figura 3.1.

5.2.4.2 Tiempo total perdido L

Ahora, se procede a calcular el tiempo total perdido, según la ecuación N°22.

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR = 4 + 4 + 4 + 9 = 21 \text{ s}$$

5.2.4.3 Máxima relación de flujo actual y flujo de saturación

Se calculan las máximas relaciones de flujo actual (q) y el flujo de saturación (s) por carril para cada fase.

Tabla 5.21: Determinación de las relaciones “ y ” – Intersección 2

Fase	Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Flujo máximo por carril (veh/h)	FHMD	fhv	Ev	qmax (veh/h)	s (veh/h)	y
I	1	Sur	21	233	0.86	0.898	1	427	2050	0.21
	1	Sur	22A	48	0.86	0.898	1.2			
	1	Sur	20	28	0.86	0.898	1.4			
II	8	Norte	10	257	0.93	0.873	1.4	443	2050	0.22
III	3	Este	31	100	0.89	0.879	1	303	2050	0.15
	3	Este	30	98	0.89	0.879	1.4			

Como se aprecia en la tabla 5.21, por cada fase, se debe determinar el máximo valor de “ q ”. Posteriormente, se calcula la suma de los valores de “ y ” de cada fase, que resulta en 0.58.

5.2.4.4 Cálculo de la longitud del ciclo óptimo

Luego, se calcula la longitud del ciclo óptimo con la fórmula de Webster como se muestra a continuación:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} = \frac{1.5 * 21 + 5}{1 - 0.58} = 86.9 \text{ s}$$

El valor resultante se va a redondear a la decena. Entonces la longitud del ciclo quedaría 90 segundos.

5.2.4.5 Cálculo del tiempo verde y distribución en fases

El tiempo de verde efectivo del sistema es la diferencia entre la longitud del ciclo hallada y los tiempos perdidos en fase. Utilizando la ecuación 25, este valor sería 69 segundos. Finalmente, el tiempo verde hallado se distribuye en cada fase en base a las relaciones máximas de flujo actual y flujo de saturación, según la ecuación 26. Los cálculos se muestran a continuación:

$$g_1 = \frac{0.21}{0.58} * (69) = 25 \text{ s} \quad g_2 = \frac{0.22}{0.58} * (69) = 26 \text{ s} \quad g_3 = \frac{0.15}{0.58} * (69) = 18 \text{ s}$$

Con los valores hallados, se propone el diagrama de fases que se muestra a continuación:

Fase I	25 s	4 s	61 s
FASE II	32 s	26 s	4 s 28 s
FASE III	65 s		18 s 4 s 3 s

Figura 5.7: Diagrama de fases propuesto – Intersección

Para comprobar la efectividad del nuevo diagrama de fases, se muestra una tabla resumen con los principales valores del cálculo de los niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección.

Tabla 5.22: Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 2 con nuevo ciclo

Grupo de carril	Acceso	Movimiento	Relación v/Q	Relación Vei/C	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	d2 (s/veh)	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21, 22A y 20	0.67	0.30	27.6	2343	1.5	29.1	C
Grupo 2	Sur	22	0.56	0.22	31.1	323	6.9	38	D
Grupo 3	Este	31, 30	0.56	0.22	31.1	992	2.3	33.4	C
Grupo 4	Este	32	0.42	0.22	30	382	3.4	33.4	C
Grupo 5	Oeste	41 y 40	0.51	0.22	30.7	998	1.9	32.6	C
Grupo 6	Oeste	42	0.1	0.22	27.8	534	0.4	28.2	C
Grupo 7	Norte	11, 10	0.63	0.31	26.6	2297	1.3	27.9	C
Grupo 8	Norte	12	0.25	0.22	28.8	500	1.2	30	C
Demora en la intersección: 30.1 s					Nivel de servicio de la intersección: C				

Como se muestra en la tabla 5.22, la reducción del ciclo semafórico redujo las demoras en todos los grupos de carriles y, por consiguiente, también en la intersección. Esto ha permitido que el nivel de servicio mejore. Esta nueva configuración semafórica es más amigable para los peatones, que no van a tener que esperar mucho tiempo para los cambios de fase.

5.3 Intersección 3: Av. Universitaria con Av. Argentina

5.3.1 Datos de entrada

5.3.1.1 Movimientos posibles y grupos de carriles

En la intersección, se realizan hasta 12 movimientos distintos desde los 4 accesos. La nomenclatura es la misma que las intersecciones 1 y 2, la cual, se muestra en la tabla 5.11. En la figura N°5.8 se presentan gráficamente todos los movimientos de la intersección de las avenidas Universitaria y Argentina.

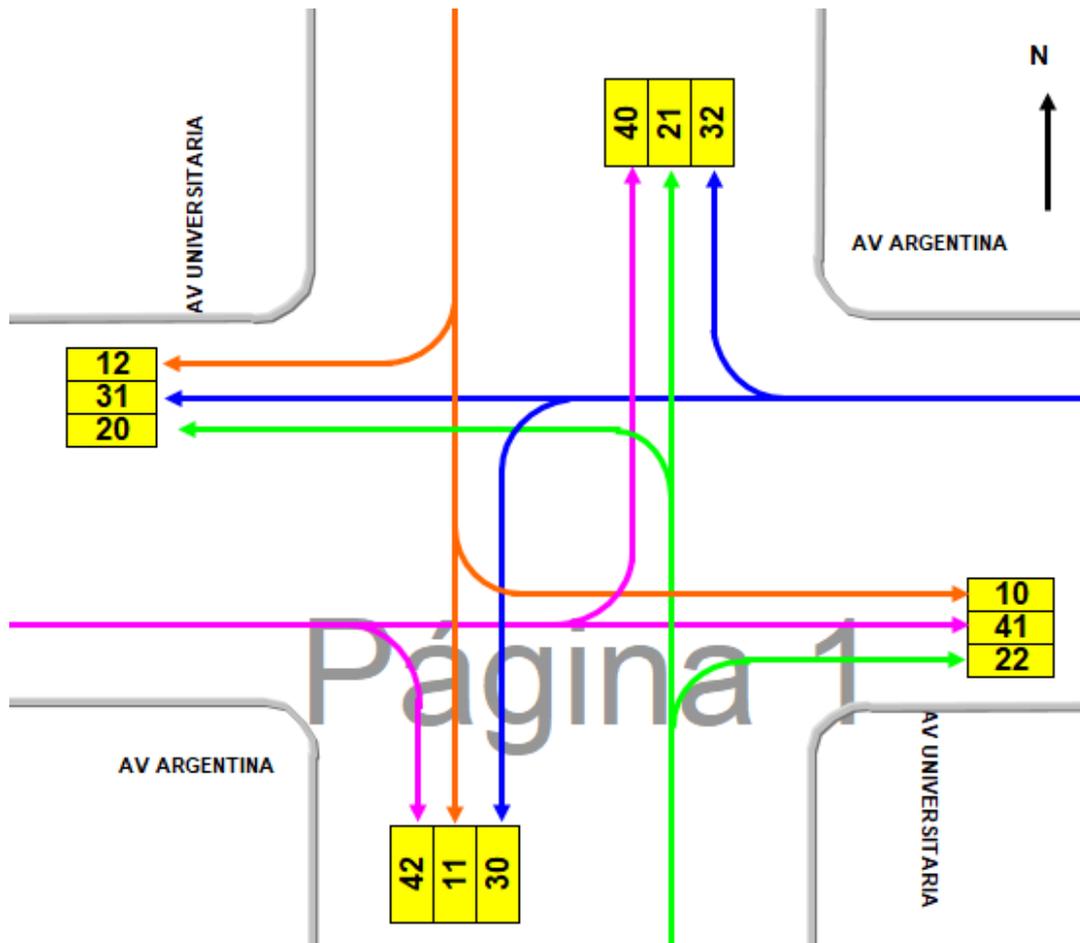


Figura 5.8: Movimientos en la intersección N°3 con la nomenclatura a usarse

Los grupos de carriles a considerarse son los siguientes:

- Grupo 1: 21, 22 y 20
- Grupo 2: 31, 32 y 30
- Grupo 3: 41 y 40
- Grupo 4: 11, 12 y 10

El movimiento 42 (giro a la derecha desde el acceso oeste) no se incluye en este análisis pues el giro es canalizado y no existe un semáforo que regule el derecho de paso en dicha canalización.

5.3.1.2 Aforo de vehículos:

En el anexo 3, se muestra el detalle del aforo vehicular de la intersección por acceso. Para cada acceso, se detalla la cantidad de vehículos que pasa por la intersección distribuidos en tipo: auto, bus interprovincial, bus, micro, camioneta rural, camión, camión con más de 2 ejes, motos y mototaxis. Utilizando los datos del anexo, se ha generado tabla 5.23, donde se identifica que la hora de mayor demanda es entre las 7:00 y las 8:00 de la mañana con un total de 4409 vehículos mixtos (considerando que todos los tipos de vehículos tienen el mismo peso en el conteo).

Tabla 5.23: *Volumen vehicular en la HMD – Intersección 3*

HORAS DE CONTROL	GRAN TOTAL	SUMA HORARIA
7:00-7:15	1079	
7:15-7:30	1037	
7:30-7:45	1210	
7:45-8:00	1083	4409
8:00-8:15	971	4301
8:15-8:30	1014	4278
8:30-8:45	1118	4186
8:45-9:00	1093	4196

Como ya se tiene la hora de máxima demanda, se va a trabajar en relación con los datos de ese rango de tiempo.

En la tabla 5.24, se muestra el volumen de vehículos por tipo de movimiento y vehículo que pasan por la intersección entre las 7:00 y las 8:00 de la mañana. La última fila (UCP) corresponde al número de vehículos equivalentes considerando el peso que se le da a cada tipo de vehículo según la tabla N°3.1.

Tabla 5.24: *Cantidad de vehículos por movimiento y tipo de vehículo en la HMD – Intersección 3*

	10	11	12	13	20	21	22	23	30	31	32	33	40	41	42	43
Autos	138	1295	46	0	69	833	71	0	21	207	44	0	13	222	28	0
Bus Interprovincial	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
T. Personal	0	2	1	0	1	3	0	0	0	5	0	0	0	1	0	0
Bus	0	35	0	0	0	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Micro	0	211	0	0	0	130	0	0	0	2	0	0	0	4	0	0
C.Rural	0	26	0	0	0	29	22	0	0	165	0	0	0	169	0	0
Camion	15	27	2	0	1	21	6	0	7	41	4	0	2	62	5	0
Camion > 2E	4	0	2	0	2	3	0	0	0	26	1	0	4	99	0	0
Mototaxis	0	9	0	0	0	12	1	0	0	2	0	0	0	0	0	0
Motos	9	126	8	0	4	52	1	0	0	23	0	0	1	16	2	0
TOTAL	166	1731	59	0	77	1099	101	0	28	471	49	0	20	573	35	0
UCP	192	1975	64	0	83	1274	114	0	39	637	58	0	32	952	41	0

En la figura número 5.9, se muestra la cantidad de vehículos por cada dirección en la hora de máxima demanda. Los valores están expresados en vehículos equivalentes.

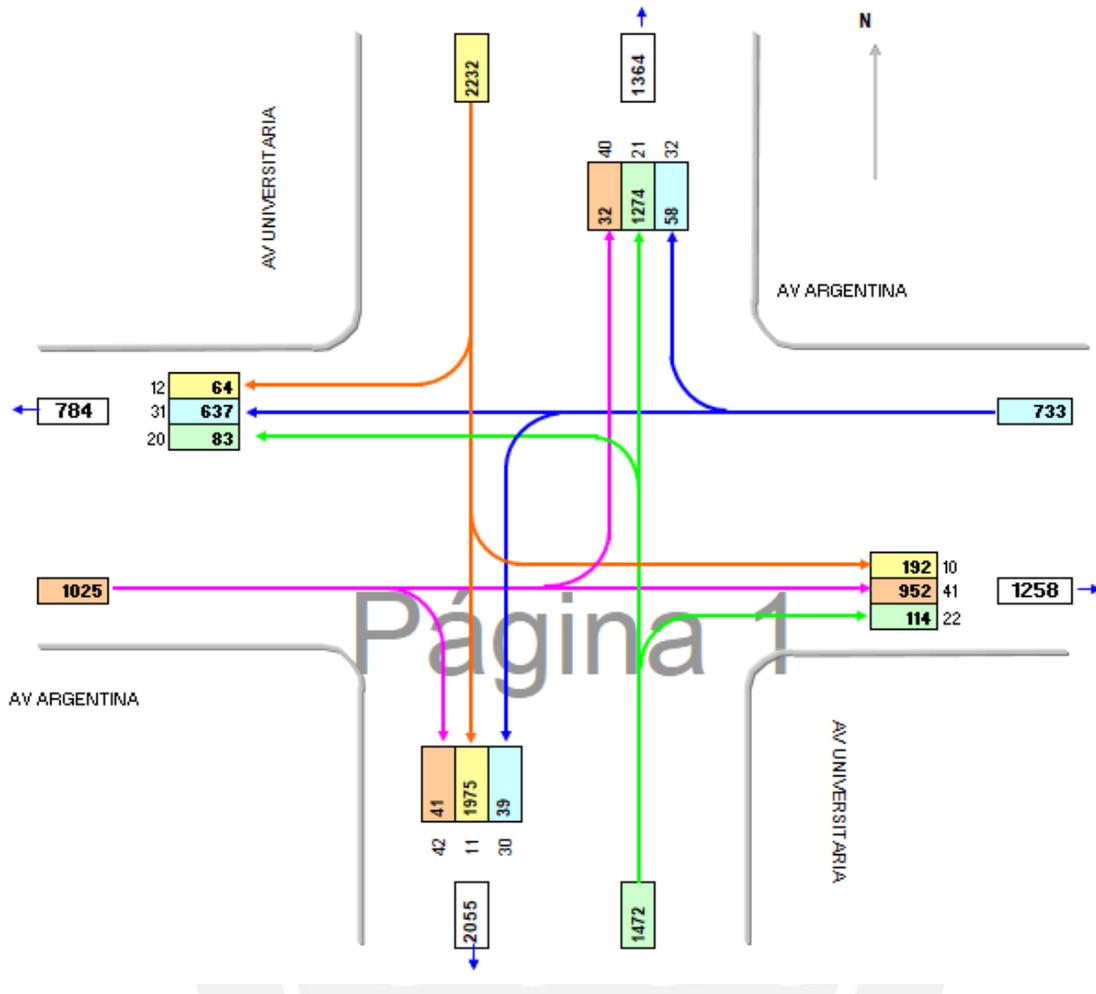


Figura 5.9: Volumen de vehículos equivalentes por movimiento en la hora de máxima demanda – Intersección 3

5.3.1.3 Datos geométricos y de tránsito

En la siguiente tabla, se presentan los parámetros de entrada de la intersección 3, en los que se incluye los datos geométricos y de tránsito.

Tabla 5.25: Parámetros de entrada – Intersección 3

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Nº de carriles	Ancho de carriles (m)	Pendiente (%)	Maniobras de parqueo por hora	Nº de paradas de buses por hora	Proporción de giros a la derecha	Proporción de giros a la izquierda
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	2	3.3	-1	0	24	0.079	0.060
Grupo 2	Este	31, 30, 32	2	3.3	-2.5	0	0	0.089	0.051
Grupo 3	Oeste	41, 40	2	3.3	-1.5	0	0	0	0.034
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	3	3.3	-2	0	38	0.030	0.085

5.3.1.4 Condiciones de los semáforos

En figura 5.10, se presenta el diagrama de fases del semáforo de la intersección 3, en la que se muestran los tiempos de verde, rojo y ámbar. Como se aprecia, el tiempo total del ciclo es 170 segundos, que se distribuye en 2 fases semaforicas: una para los accesos Norte-Sur y otra para los accesos Este-Oeste.

Fase I	104 s	3 s	63 s
FASE II	107 s	60 s	3 s

Figura 5.10: Fases de la intersección 3

Los movimientos por fase son los siguientes:

- Fase 1: 11, 12, 10, 21, 22 y 20
- Fase 2: 31, 32, 30, 41 y 40

5.3.2 Determinación del nivel de servicio

Ahora, se procede a determinar los niveles de servicio de la intersección de la misma forma que se hizo con las intersecciones 1 y 2, siguiendo los siguientes 4 pasos para cada grupo de carriles:

- a) Ajuste de volúmenes utilizando el factor horario de máxima demanda.
- b) Determinación del flujo de saturación ajustado según la ecuación 4.
- c) Determinación de la capacidad y el grado de saturación.
- d) Determinación de la demora de control y el nivel del servicio.

Con las demoras y volúmenes de cada grupo de carriles, se puede calcular la demora de control para toda la intersección y determinar su nivel de servicio.

5.3.2.1 Ajuste de volúmenes

En la tabla 5.6, se muestra el ajuste de volúmenes para la intersección 3.

- El volumen horario de máxima demanda VHMD se calcula a partir de la tabla 5.24, sumando los valores de la fila "TOTAL" de cada movimiento.
- El factor horario de máxima demanda FHMD se determina usando las tablas del anexo 3, dividiendo el VHMD del acceso entre 4 veces el volumen de vehículos en los 15 minutos más cargados de la hora punta, según la ecuación 1.
- La tasa de flujo en los 15 minutos de mayor demanda se calcula dividiendo el VHMD entre el FHMD, según la ecuación 2.

Tabla 5.26: Ajuste de volúmenes – Intersección 3

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	VHMD (veh/h)	FHMD	Vp (veh/h)
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	1277	0.88	1451
Grupo 2	Este	31, 30, 32	548	0.89	616
Grupo 3	Oeste	41, 40	593	0.91	652
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	1956	0.90	2173

5.3.2.2 Flujo de saturación ajustado

En la tabla 5.27, se determinan los factores de ajuste para cada grupo de carriles. Estos se multiplican por el flujo de saturación base S_b para determinar el flujo de saturación ajustado S .

Tabla 5.27: Flujo de saturación ajustado – Intersección 3

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Sb (ADE/h/carril)	N	Factores de ajuste									S (veh/h)
					fw	flv	fg	fp	fb	fa	flu	flt	frt	
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	2050	2	0.967	0.868	1.005	1	0.973	1	0.952	0.530	0.988	1679
Grupo 2	Este	31, 30, 32	2050	2	0.967	0.747	1.013	1	1	1	0.952	0.834	0.987	2352
Grupo 3	Oeste	41, 40	2050	2	0.967	0.613	1.008	1	1	1	0.952	0.915	1	2134
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	2050	3	0.967	0.877	1.010	1	0.972	1	0.908	0.635	0.996	2938

Cabe resaltar que, en esta intersección, todos los giros a la izquierda son permitidos, lo cual quiere decir que estas maniobras van a tener oposición de los movimientos del acceso opuesto. Como se explicó en el capítulo 3, en el Manual de Capacidad se establece una metodología específica para calcular los factores de ajuste producto de la presencia de estos movimientos. Esta se presenta en el anexo 4 por medio de una plantilla obtenida del “Exhibit C16-9” del HCM (TBR, 2000).

5.3.2.3 Capacidad y grado de saturación

En la siguiente tabla, se calcula la capacidad Q del grupo de carriles, así como el grado de saturación X_i .

- Para determinar la capacidad, se utiliza la ecuación 15. Para el cálculo del tiempo de verde efectivo v_{ei} se considera una ganancia final de 3 segundos y una pérdida inicial de 1 segundo en todos los accesos.
- El grado de saturación X_i se calcula según la ecuación 16, dividiendo la tasa de flujo v_p entre la capacidad Q del grupo de carriles.

Tabla 5.28: Capacidad y grado de saturación – Intersección 3

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Vei (s)	S (veh/h)	Q (veh/h)	Vp (veh/h)	Xi
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	170	106	1679	1047	1451	1.39
Grupo 2	Este	31, 30, 32	170	62	2352	858	616	0.72
Grupo 3	Oeste	41, 40	170	62	2134	778	652	0.84
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	170	106	2938	1832	2173	1.19

5.3.2.4 Demoras y niveles de servicio

Para el cálculo de la demora de control de los grupos de carriles, se toman en cuenta las siguientes consideraciones:

- El factor de ajuste por tipo de ingreso a la intersección corriente arriba “I” se va a considerar como 1.
- El factor de la demora incremental “k” será igual a 0.5.
- No se ha detectado una cola residual, por lo que la demora d3 es igual a cero.

Tabla 5.29: Demoras y niveles de servicio (NS) – Intersección 3

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	C (s)	Vei (s)	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	Xi	d2 (s/veh)	PF	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	170	106	32.0	1047	1.386	179.7	1	211.7	F
Grupo 2	Este	31, 30, 32	170	62	46.5	858	0.718	5.1	1	51.6	D
Grupo 3	Oeste	41, 40	170	62	49.4	778	0.838	10.5	1	59.9	E
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	170	106	32.0	1832	1.186	89.6	1	121.6	F

Finalmente, se puede determinar el nivel de servicio de toda la intersección por medio de un promedio ponderado entre la tasa de flujo v_p y las demoras de los grupos de carriles. El resultado de ese cálculo se muestra a continuación.

Tabla 5.30: Resumen de las tasas de flujo y demoras – Intersección 3

Grupo de carriles	Tasa de flujo (veh/h)	Demoras (s/veh)
1	1451	211.7
2	616	51.6
3	652	59.9
4	2173	121.6

Después de hacer el promedio ponderado, la demora de control de la intersección 3 es 131.3 segundos, lo que representa un nivel de servicio F.

5.3.3 Comentarios de los niveles de servicio

- Según el aforo realizado, el 75% de la demanda viene de la Av. Universitaria, lo cual representa más de 3000 vehículos mixtos en la hora punta de la mañana. Respecto a las maniobras que realizan, más del 85% va de frente.
- Del cálculo del flujo de saturación ajustado S para los grupos de carriles, los factores de ajuste por vehículos pesados y por giros a la izquierda son los que más reducen el valor del S_b . Con respecto al primero de estos factores, su influencia es mayor en los accesos Este y Oeste. Esto se explica porque la Av. Argentina cruza zonas industriales, donde la presencia de camiones es mayor que en otras zonas. En cuanto al factor por giros a la izquierda, este impacta significativamente de forma negativa, especialmente en los accesos de la Av. Universitaria, ya que, como este tipo de maniobras son permitidas, los vehículos que las realizan bloquean el carril de circulación mientras esperan un hueco en el flujo opuesto. Sin embargo, se considera que la influencia de dicho factor está sobredimensionada, debido a que, de acuerdo a lo observado en campo, cuando algún vehículo quiere girar a la izquierda, no bloquea de forma total el carril de circulación porque se coloca en el espacio central de la intersección, a la altura de la berma central, permitiendo que los vehículos que vienen detrás puedan seguir de frente con un poco de dificultad.
- Con respecto al grado de saturación, los accesos Norte y Sur se encuentran sobresaturados. Esto se debe, principalmente, a la gran demanda que soportan y, como se explicó en el punto anterior, al factor de ajuste por giros a la izquierda, que reduce notablemente el flujo de saturación base. Al final, eso se traduce en demoras muy elevadas en ambos accesos, especialmente, la demora incremental.
- En cuanto a los accesos Este y Oeste, estos operan por debajo de su capacidad, a pesar de que esta se reduce significativamente por el factor de ajuste por vehículos pesados. Al ser el grado de saturación menor a 1, la demora incremental no es muy significativa para estos accesos, especialmente para el acceso Este.
- Sobre el acceso Este, cabe resaltar que actualmente cuenta con 3 carriles producto de las obras de ampliación que se realizaron en los años 2018 y 2019 en la Av. Argentina, después de la fecha de realización de los aforos para la presente tesis. Desde un análisis aislado de la intersección, esas obras no contribuyen a solucionar el problema del tráfico vehicular en la zona debido a que no atacan el problema principal: la reducción de la capacidad en todos los accesos por la presencia de giros a la izquierda permitidos, especialmente en la Av. Universitaria. Por el contrario, la ejecución de más carriles en la Av. Argentina recorta espacio público a los peatones y no considera a los ciclistas, ya que la obra realizada incluye una acera-bici solo en un sentido de circulación y esta pierde continuidad al llegar a la intersección con la Av. Universitaria.

- La longitud del ciclo semafórico es de 170 segundos, lo cual, está muy encima del límite práctico de 120 segundos. Por eso, a continuación, se va a proponer un ciclo del semáforo menor, que optimice el funcionamiento de la intersección.

5.3.4 Optimización del ciclo del semáforo

Como la intersección está sobresaturada, no se puede aplicar el método de Webster para determinar el ciclo semafórico óptimo. Por eso, primero, se deben aplicar medidas que aumenten la capacidad de los grupos de carriles con grados de saturación mayores a 1. Estos están en los accesos Norte y Sur de la Av. Universitaria. Como se explicó en los comentarios de los resultados de la intersección 3, la capacidad de ambos accesos es notablemente impactada de forma negativa por el factor de ajuste por giros a la izquierda. Por ello, a continuación, se van a analizar medidas que reduzcan las demoras producto de los giros a la izquierda permitidos en la Av. Universitaria.

La primera medida a analizar sería implementar una fase de giro a la izquierda para que el movimiento sea protegido. Para realizar eso, se debe incluir un carril de giro exclusivo en los accesos Norte y Sur. Según el manual *Signalized Intersections: Informational Guide*, si uno o más de los siguientes criterios se cumplen, se debería considerar implementar fases de giro a la izquierda (FHWA, 2013):

- El volumen de vehículos que realiza vueltas a la izquierda es mayor a 100 en la hora punta.
- El movimiento tiene que cruzar 3 o más carriles del tráfico opuesto.
- La velocidad del tráfico opuesto supera los 70 km/h.
- En los últimos 12 meses, ocurrieron 5 accidentes que involucren vehículos girando a la izquierda.
- Un mínimo de 2 vehículos girando a la izquierda por ciclo y el producto del volumen de giros a la izquierda con el tráfico opuesto supera los siguientes valores:
 - Para un carril opuesto: 45000
 - Para 2 carriles opuestos: 90000

Los accesos Norte y Sur cumplen, al menos, uno de los criterios listados arriba. Eso sumado al análisis propio realizado en el punto 5.3.2, sí justifica, desde un enfoque de ingeniería de tráfico, incluir carriles exclusivos de giro a la izquierda. Sin embargo, para implementar los dichos carriles, se necesitaría utilizar el espacio central de la intersección, ocupado por la mediana. Esto eliminaría la isla de refugio existente que aumenta la seguridad efectiva de peatones y permite que estos crucen la intersección en 2 tiempos. Por esta razón, no sería viable aumentar el número de carriles de los accesos Norte y Sur.

Otra opción a analizar sería prohibir los giros a la izquierda en la Av. Universitaria, al menos en las horas pico. Esto reduciría los conflictos en la intersección, así como las demoras de los vehículos en los accesos Sur y Norte. A continuación, se presenta una tabla resumen del cálculo del nivel de servicio de la intersección 3 con la implementación de este cambio.

Tabla 5.31: *Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 3 con cambios*

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Relación v/Q	Relación Vei/C	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	d2 (s/veh)	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	0.74	0.62	22.2	1973	2.5	24.7	C
Grupo 2	Este	31, 30, 32	0.72	0.36	46.5	858	5.1	51.6	D
Grupo 3	Oeste	41, 40	0.84	0.36	49.4	778	10.5	59.9	E
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	0.75	0.62	22.7	2888	1.9	24.6	C
Demora en la intersección: 32.7 s					Nivel de servicio de la intersección: C				

Como se muestra en la tabla 5.31, hay una mejora significativa en la capacidad Q en los grupos de carriles 1 y 4, en comparación con la tabla 5.29. Con la mejora de la capacidad, el grado de saturación es menor y, por consiguiente, se reducen las demoras. Sin embargo, el ciclo semafórico de 170 segundos para 2 fases es muy elevado. Por eso, a continuación, se va a proponer un ciclo menor con el método de Webster.

El semáforo va a tener 2 fases: una para los vehículos de los accesos Norte y Sur, y la otra para los accesos Este y oeste. Los giros a la izquierda de la Av. Argentina son permitidos y, desde la Av. Universitaria, están prohibidos.

5.3.4.1 Longitud de intervalos de cambio de fase

En la siguiente tabla, se muestran los datos de entrada para determinar el parámetro “Y” para cada fase.

Tabla 5.32: *Longitud de intervalos de cambio de fase – Intersección 3*

Cálculo de Y	Fase I	Fase II
Lo (m)	6.1	6.1
t (s)	1	1
a (m/s ²)	3.05	3.05
V (m/s)	16.67	16.67
W (m)	32	30
Y (s)	6.02	5.90
Ambar (s)	4	4
TR (s)	2	2

- Donde Lo es la longitud del vehículo, cuyo valor sugerido es 6.1 m
- t es el tiempo de percepción – reacción del conductor, que se considera en 1 s.

- a es la tasa de aceleración, considerada en 3.05 m/s²
- V es la velocidad de aproximación de los vehículos, que es 60 km/h por tratarse de una avenida.
- W es el ancho de la intersección

5.3.4.2 Tiempo total perdido L

Ahora, se procede a calcular el tiempo total perdido, según la ecuación N°22.

$$L = \left(\sum_{i=1}^{\varphi} l_i \right) + TR = 4 + 4 + 4 = 12 \text{ s}$$

5.3.4.3 Máxima relación de flujo actual y flujo de saturación

Se calculan las máximas relaciones de flujo actual (q) y el flujo de saturación (s) por carril para cada fase.

Tabla 5.33: Determinación de las relaciones “y” – Intersección 2

Fase	Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Flujo máximo por carril (veh/h)	FHMD	fhv	Ev	qmax (veh/h)	s (veh/h)	y
I	1	Sur	21	550	0.88	0.868	1	879	2050	0.43
	1	Sur	22	101	0.88	0.868	1.2			
II	4	Oeste	41	287	0.91	0.613	1	608	2050	0.30
	4	Oeste	42	0	0.91	0.613	1.2			
	4	Oeste	40	20	0.91	0.613	2.6			

Como se aprecia en la tabla 5.33, por cada fase, se debe determinar el máximo valor de “q”. Posteriormente, se calcula la suma de los valores de “y” de cada fase, que resulta en 0.73.

5.3.4.4 Cálculo de la longitud del ciclo óptimo

Luego, se calcula la longitud del ciclo óptimo con la fórmula de Webster como se muestra a continuación:

$$C_0 = \frac{1.5L + 5}{1 - \sum_{i=1}^{\varphi} Y_i} = \frac{1.5 * 12 + 5}{1 - 0.73} = 85.2 \text{ s}$$

El valor resultante se va a redondear a la decena. Entonces la longitud del ciclo quedaría 90 segundos.

5.3.4.5 Cálculo del tiempo verde y distribución en fases

El tiempo de verde efectivo del sistema es la diferencia entre la longitud del ciclo hallada y los tiempos perdidos en fase. Utilizando la ecuación 25, este valor sería 78 segundos.

Finalmente, el tiempo verde hallado se distribuye en cada fase en base a las relaciones máximas de flujo actual y flujo de saturación, según la ecuación 26. Los cálculos se muestran a continuación:

$$g_1 = \frac{0.43}{0.73} * (78) = 46 \text{ s} \qquad g_2 = \frac{0.30}{0.73} * (78) = 32 \text{ s}$$

Con los valores hallados, se propone el diagrama de fases que se muestra a continuación:



Figura 5.11: Diagrama de fases propuesto – Intersección 3

Para comprobar la efectividad del nuevo diagrama de fases, se muestra una tabla resumen con los principales valores del cálculo de los niveles de servicio para los grupos de carriles de la intersección.

Tabla 5.34: Determinación del Nivel de Servicio – Intersección 3 con nuevo ciclo semafórico

Grupo de carriles	Acceso	Movimiento	Relación v/Q	Relación Veí/C	d1 (s/veh)	Q (veh/h)	d2 (s/veh)	d (s/veh)	NS
Grupo 1	Sur	21, 22 y 20	0.86	0.53	18.1	1688	6	24.1	C
Grupo 2	Este	31, 30, 32	0.63	0.38	22.9	979	3.1	26	C
Grupo 3	Oeste	41, 40	0.75	0.38	24.3	873	5.8	30.1	C
Grupo 4	Norte	11, 12, 10	0.88	0.53	18.5	2470	4.9	23.4	C
Demora en la intersección: 24.8					Nivel de servicio de la intersección: C				

Como se muestra en la tabla 5.34, la reducción del ciclo semafórico redujo las demoras en todos los grupos de carriles, en particular, en los accesos Este y Oeste. La demora en toda la intersección también disminuyó. Esta nueva configuración semafórica es más amigable para los peatones, que no van a tener que esperar mucho tiempo para los cambios de fase.

Capítulo 6: Propuesta de rediseño

En este capítulo, se presenta una propuesta de rediseño para cada una de las 3 intersecciones en estudio. Estas propuestas toman como referencia los análisis realizados en los capítulos 4 y 5. De la misma manera como se ha ido presentando la información, estas soluciones se describen por acceso (norte, sur, este u oeste) y se encuentran numeradas.

Adicionalmente, se ha elaborado 2 planos para cada intersección que se presentan como anexos a este trabajo. En cada intersección, el primer plano corresponde al estado actual de la misma (E1, E2 y E3), mientras que el segundo (D1, D2 y D3), corresponde a la intersección rediseñada. En este último plano, se muestran números correspondientes a las recomendaciones que se van a describir a continuación, los cuales van a ayudar a saber la ubicación exacta de los cambios que se proponen implementar.

6.1 Intersección 1: Av. Universitaria – Av. Venezuela

Acceso Sur

1. Emplazamiento de cruceo peatonal en línea de deseo:

Se recomienda reubicar el cruceo peatonal existente a la mitad de la trayectoria del giro canalizado a la derecha. Esta ubicación coincide con la línea de deseo existente y está más cerca de la Av. Universitaria, que tiene mucho más flujo peatonal que la Av. Venezuela. Para señalar dicho cruceo, se propone emplear la señal P-48B (MTC, 2016), la cual estaría ubicada al lado del mismo.



Figura 6.1: Señal de cruceo peatonal

Tomado de Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, por MTC (2016)

Además, para asegurar la accesibilidad y continuidad de los peatones a la isla de refugio, se deben ejecutar rampas a ambos lados del cruceo peatonal. Se sugiere que la rampa ubicada en la isla canalizadora sea con alas rebajadas y superficie podotáctil, como se muestra en el plano D1. En el caso de la rampa ubicada en la acera, por limitaciones de espacio, tendrá un ancho de 1.2 m y un diseño más tradicional.

Para aplicar la recomendación expuesta líneas arriba, se tendría que modificar también la ubicación del semáforo existente a una ubicación más cercana al cruceo que se desea implementar.

2. Reemplazo de señal de tránsito rota:

Se recomienda reemplazar la señal de tránsito en mal estado, que se presenta en el Anexo 2, por la señal P-48A, que se muestra en la figura 6.2.



Figura 6.2: Señal proximidad de cruce peatonal

Tomado de Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, por MTC (2016)

3. Retiro de señal Pare en cruce semaforizado

Se propone retirar la señal de tránsito de la figura 4.2, pues el cruce está regulado por un semáforo y, como se explicó en el capítulo 4, la presencia de ambas señales puede causar confusión entre los usuarios de la vía. Tampoco es necesaria la presencia de dicha señal para entrar a la vía con prioridad porque las fases de giro a la derecha desde la Av. Universitaria y movimiento recto desde la Av. Venezuela no coinciden.

4. Esquinas y rampas para acceder al cruce peatonal N°2

Las esquinas para acceder al cruce peatonal N°2, que se muestran en las figuras 4.6 y 4.7, no son accesibles porque no están pavimentadas y presentan obstáculos. Por lo tanto, se recomienda pavimentarlas con adoquines accesibles. Asimismo, se propone colocar rampas para acceder al cruce N°2 (capítulo 4) desde ambos lados. Estas tendrán un diseño con alas rebajadas, pendiente del 10% y superficie podotáctil, tal como se muestra en el plano D1.

5. Aumento del área del espacio público

Como se comentó en el capítulo 5, el tramo de la Av. Universitaria en dirección sur que cuenta con 5 carriles está subutilizado. Si bien la cantidad de vehículos que giran a la izquierda desde la Av. Venezuela es significativa, estos lo hacen desde una calzada de 2 carriles, por lo que no es necesario que la vía a la cual llegan tenga más de doble. Se recomienda reducir la cantidad de carriles de dicho tramo de 5 a 4 carriles. El carril más cercano a la acera ahora sería parte de la isla canalizadora, aumentando el área de este espacio público.

6. Tratamiento del paradero informal:

Los buses de transporte público que paran a recoger pasajeros en el paradero informal de la Av. Venezuela (criterio B.4.2) representan un doble problema: reducen la capacidad de la vía y bloquean el cruce peatonal cuando se detienen sobre este. No se considera conveniente implementar un

paradero es ese sitio por encontrarse muy cerca al semáforo; además, el espacio es limitado en esa zona. Otro punto a considerar es que ya existe una parada de buses ubicada en la misma avenida a 100 metros de ese punto. Según la Resolución Directoral Municipal N° 180-2004- MML/DMTU, la distancia mínima entre paraderos debe ser 250 m (El Peruano, 2012).

Para desincentivar el uso del paradero informal, se ha considerado que el diseño de la ciclovia en la Av. Venezuela sea como se muestra en el plano D1. En dicho plano, el tramo de la vía para ciclistas en la intersección va a tomar parte las islas canalizadoras para formar un carril-bici protegido por bolardos. De esta forma, se genera un espacio de 3.6 metros entre la isla de refugio peatonal y el tráfico vehicular que, además, tiene obstáculos físicos (bolardos) que van desincentivar a los peatones a utilizar el paradero informal.

Acceso Este

7. Retiro de obstrucciones de la acera:

Se recomienda retirar, de manera definitiva, los bloques de concreto armado que bloquean la vereda y la esquina para mejorar la movilidad y visibilidad de esa zona.

8. Mantenimiento del pavimento

Para alcanzar la vida útil del pavimento y evitar gastar más recursos en una rehabilitación más costosa, es necesario sellar las grietas identificadas en las vías de giros canalizados a la derecha, que se muestran en los hallazgos presentados en el anexo 2.

Acceso Norte

9. Rehabilitación de la vereda:

El camino del margen derecho (en dirección a la intersección) se encuentra subutilizado porque no se encuentra pavimentado. Lo que se debería hacer es convertirlo en una vereda de concreto. Como se trata de un espacio de, aproximadamente, 6 metros, va a aprovecharse la mitad para darle continuidad a la ciclovia a lo largo de la Av. Universitaria. Esto se explicará con más detalle en un punto posterior.

10. Ejecución de rampas inclusivas:

En el cruce N°6, se recomienda la ejecución de rampas a ambos lados del cruce peatonal. Estas tendrán una inclinación de 10% y un ancho de 4.5 m para un diseño más inclusivo por el alto flujo peatonal presente en esa zona.

11. Retiro de cruceo peatonal inseguro

El cruceo ubicado a la altura de la puerta N°2 de la UNMSM es inseguro porque no está semaforizado ni cuenta con algún reductor de velocidad. Además, se encuentra muy cerca al cruceo ubicado en la esquina, por lo que se recomienda que ya no sea más un lugar de cruce. Para mayor seguridad, se propone colocar vallas peatonales de 1 metro de altura para evitar que los peatones crucen de manera insegura. Para compensar esto, se aumentará el ancho al cruceo ubicado en la esquina a 7.4 m.

Acceso Oeste

12. Accesibilidad al cruceo N°7

En el acceso al cruceo N°7, la rampa está mal ubicada como se muestra en la figura 4.23. Se recomienda reubicar la línea de parada vehicular 3 metros atrás, así como ampliar el ancho del cruceo peatonal como se muestra en el plano D1. Con esto, no será necesario reubicar la rampa existente, lo cual, sería más costoso. En el caso del acceso al cruceo N°7 desde la isla de refugio, sí será necesario ejecutar una rampa, la cual, al igual que todas las nuevas rampas que se proponen, tenga un diseño inclusivo con alas rebajadas y superficie podotáctil.

Semáforos peatonales

La intersección tiene una configuración compleja, que incluye giros a la derecha canalizados y un viaducto. Además, el semáforo tiene más de 2 fases. Por ello, se recomienda arreglar los semáforos peatonales que van a orientar mejor a los peatones en los cruces. Adicionalmente, se puede considerar adaptarlos para que emitan una señal audible para las personas con discapacidad visual.

Ciclovía

Para promover el uso de la bicicleta y, de forma indirecta, disminuir el uso auto particular, se recomienda implementar una ciclovía en la Av. Venezuela, continuar la existente en la Av. Universitaria, así como unir las mediante facilidades en los cruces que permitan que los ciclistas transiten de manera cómoda y segura. Cabe resaltar que, los accesos de ciclovía que se proponen en la Av. Universitaria y en la Av. Venezuela solo consideran el análisis de la intersección de forma aislada. El diseño de una ciclovía a lo largo de un eje vial requiere un estudio más amplio y el análisis de múltiples intersecciones, lo cual está fuera del alcance de la presente tesis.

El diseño en detalle de los tramos de ciclovía, así como las facilidades en los cruces, se muestra en el plano de rediseño de la intersección 1. Algunos puntos importantes se mencionan a continuación:

- En la Av. Venezuela, se va a utilizar el carril vehicular más cercano a la vereda que, en la intersección, funciona como carril exclusivo de giro a la derecha. Como se comprobó en el capítulo 5, los grupos de carriles de giro a la derecha operan a menos de la mitad de su capacidad y los vehículos experimentan demoras muy bajas, por lo que reducir los accesos de giros de 2 carriles a 1 no va a afectar significativamente el tráfico vehicular. Respecto a la sección transversal, el carril bici va a ser bidireccional con un ancho total de 2.6 metros y una separación de 1 metro del tráfico vehicular. La vía de ciclistas va a estar protegida por bolardos.
- Para asegurar la continuidad de la ciclovía de la Av. Universitaria en dirección Norte, se va a utilizar parte del camino al lado izquierdo de la calzada. La distribución de este espacio se muestra en el plano D1.
- La ciclovía que se propone en la Av. Venezuela va a conectarse con la existente en la Av. Universitaria por medio de facilidades en los cruces que van a consistir en marcas tipo elefante para delimitar el espacio de los ciclistas, así como pintura en su trayectoria para reforzar su presencia. Adicionalmente, se va a utilizar una parte de las islas de refugio que conectan los cruces.

Reubicación de comerciantes – aprovechamiento del espacio público

En la intersección, hay dos islas de refugio que tienen un área considerable, aproximadamente 2700 m². Sin embargo, este espacio público no puede ser aprovechado por las siguientes razones:

- El puente peatonal ocupa una parte importante del espacio de ambas islas canalizadoras. Los pilares de dicha estructura están distribuidos en toda el área.
- El espacio no es accesible para todos los usuarios, ya que los soportes del puente generan un efecto barrera que dificulta el tránsito de los usuarios.
- No existe mobiliario urbano que promueva su uso y el grass no tiene el mantenimiento adecuado.

Por las razones descritas líneas arriba y en el capítulo 4, se recomienda considerar la demolición del puente peatonal que no tiene un diseño funcional y no es utilizado por casi ningún usuario. El área de las islas canalizadoras se van a revitalizar con grass, adoquines accesibles y mobiliario urbano. Además, los comerciantes que están ubicados en la vereda del acceso Norte van a ser reubicados en ese espacio. La distribución del área de las islas canalizadoras se muestra gráficamente en el plano del rediseño de la intersección 1.

6.2 Intersección 2: Av. Universitaria – Av. Benavides

Configuración del semáforo

Se recomienda reducir la duración del ciclo del semáforo de 180 segundos, que es muy alto e incrementa las demoras tanto de vehículos como de peatones. Del análisis realizado en el capítulo 5, se propone adoptar un ciclo de 90 segundos con 3 fases distribuidas como se muestra en la figura 5.7.

Giros canalizados

Los giros canalizados a la derecha reducen los conflictos en la intersección. Sin embargo, la mayoría de estos están sobredimensionados porque tienen un ancho mayor a 5 metros que es utilizado como doble carril. Esto es confuso e inseguro para los usuarios, que piensan que se trata de 2 carriles angostos. Por eso, se puede considerar reducir el ancho de estas vías para que funcionen como vías de un carril. Asimismo, se propone señalar el punto de detención de los vehículos mediante la línea de parada en los 4 giros canalizados.

Ciclovía

Se recomienda darle mantenimiento a la pintura que define la trayectoria de los ciclistas en los cruces, ya que se encuentra gastada. También, se recomienda pintar el trayecto de la ciclovía en los accesos a la intersección en los que la vía para ciclistas esté al mismo nivel que la vereda. De esta manera se refuerza la presencia de los ciclistas y se reduce la probabilidad que se invada su espacio, lo cual puede resultar en accidentes.

Visibilidad

En el capítulo 4, se describió un problema de visibilidad en el cruce ubicado en la parte noroeste de la intersección para acceder a la isla canalizadora, que era ocasionado por un arbusto que no permitía ver a los vehículos en aproximación. Dicho arbusto debe podarse a menos de 1 metro de altura para que no interfiera en la visibilidad de los peatones.

Tratamiento de paradero informal (ver anexo 2)

Este caso es muy parecido al existente en la intersección 1. No se pueden implementar un paradero donde algunos buses se detienen de manera informal, debido a que no es un lugar adecuado por estar muy cerca del semáforo. Además, existe un paradero bien ubicado y señalizado a menos de 100 metros de ese punto. Por lo tanto, para este caso, así como para los estacionamientos ilegales de las figuras 4.36, 4.37 y 4.38, se debe fiscalizar y aplicar las multas respectivas cuando ocurran este tipo de infracciones.

Semáforos peatonales

La intersección tiene una configuración compleja, que incluye giros a la derecha canalizados y un viaducto. Además, el semáforo tiene más de 2 fases. Por ello, se recomienda arreglar los semáforos peatonales que van a orientar mejor a los peatones en los cruces, particularmente a los escolares del colegio Bertolt Brecht. Adicionalmente, se puede considerar adaptarlos para que emitan una señal audible para las personas con discapacidad visual.

Reubicación de comerciantes – aprovechamiento del espacio público

En el capítulo 4, se identificaron comerciantes ocupando la ciclovía cerca al mercado. Lo que se propone es reubicarlos en la isla de canalización más cercana. Además, ese espacio se puede complementar con mobiliario urbano como bancas, en caso exista el espacio disponible.

Otros espacios públicos subutilizados que se identificaron son las bermas centrales. En la mediana ubicada en el acceso Sur, existen casi 1000 m² de espacio público. En el capítulo 5, del aforo de vehículos realizado, se concluyó que los vehículos que se dirigen al acceso sur son muy pocos para la capacidad existente. Por eso, se cree conveniente reducir un carril como se aprecia en el plano D2. El espacio se puede aprovechar para ubicar pequeños negocios, bancas e iluminación ornamental. Los árboles también ayudan, pues brindan una sensación de recinto que incentiva un tráfico calmo.

6.3 Intersección 3: Av. Universitaria – Av. Venezuela

Acceso Sur

1. Ejecución de la vereda:

Se debe construir una vereda de concreto en el acceso a la intersección, que se muestra en el anexo 2. Junto con esto, todo lo que esté ocupando la vía peatonal (jardines, escaleras, etc.) se debe retirar para recuperar el espacio destinado para el desplazamiento de los peatones.

2. Continuidad de la vereda

En la figura 4.47, se muestra que, en un tramo corto, no existe vereda, solo ciclovía. Para asegurar la continuidad de la acera en esos metros, se propone, al menos de forma temporal, convertir la vía de ciclistas en vereda solo en ese tramo. Para ello, se debe señalar con anticipación esa nueva configuración por medio de la señal de tránsito R-42B, que dispone que el ciclista tiene la obligación de descender de la bicicleta y circular a pie por un tramo o punto especificado (MTC, 2016).



Figura 6.3: Señal R-42B

Tomado de Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras, por MTC (2016)

3. Radio de giro

Se recomienda reducir el radio de giro (viraje a la derecha) de 15 m a 7.2 metros. Al mismo tiempo, se propone aumentar el área de la vereda en esa esquina. Eso contribuye a que los vehículos que giran a la derecha reduzcan la velocidad porque tienen menos espacio para ejecutar dicho movimiento.

Acceso Norte

4. Reubicación de obstrucciones en la acera

Se recomienda reubicar los quioscos de las figuras 4.49 y 4.50, que bloquean casi toda la vereda, a la isla canalizadora donde existe espacio público disponible.

5. Mantenimiento de la vereda

Se debe rehabilitar la vereda que se encuentra en mal estado (ver anexo 2).

6. Radio de giro

Se recomienda reducir el radio de giro y definirlo en toda su longitud. En este caso particular, se propone, mediante una marca en el pavimento, definir un radio de giro de 10.5 m.

Acceso Este

7. Continuar la vereda en todo su ancho

Se recomienda aprovechar el espacio disponible en el camino peatonal de la figura 4.48 y convertirlo en vereda en todo su ancho. Como se muestra en el plano D-3, parte de del ancho de la acera se podría utilizar para implementar una acera-bici, la cual tendría que estar pintada en toda su longitud para reforzar la presencia de ciclistas.

Acceso Oeste

8. Reducción de un carril en el giro canalizado

El flujo vehicular existente en el giro a la derecha canalizado es muy bajo, tan solo 35 vehículos en la hora de máxima demanda. Dos carriles exclusivos para este movimiento es un diseño sobredimensionado. Se propone reducir el acceso a un solo carril de 3.3 metros de ancho, que será el de la izquierda. Con respecto al carril de la derecha, se podría implementar un carril bici como se muestra en el plano D-3. Este sería unidireccional, de 1.8 m de ancho, segregado 90 cm del tráfico vehicular y protegido por bolardos.

9. Cruce peatonal:

El cruce peatonal N°5, ubicado en el giro a la derecha canalizado de la Av. Argentina, se encuentra tan despintado que no se percibe. Además, los vehículos que giran a la derecha lo hacen a gran velocidad porque el radio de giro amplio prioriza al tráfico vehicular. Por eso, aprovechando que no hay rampas, se recomienda ejecutar un cruce peatonal elevado que conecte la vereda con la isla de refugio.

10. Señal de tránsito:

Se propone colocar una señal de ceda el paso en el giro canalizado, que refuerce la prioridad de los flujos vehiculares de la Av. Universitaria en sentido sur.

11. Isla de refugio

La mediana ubicada en el acceso oeste de la avenida Argentina es muy angosta (metro y medio). Para compensar esto, se sugiere aumentar el ancho del cruce peatonal 2 metros.

Marcas en el pavimento y cruces peatonales

Como se muestra en las figuras 4.51, 4.52 y 4.53, las marcas en el pavimento y, en particular, los cruces peatonales están muy despintados, por lo que se recomienda repintarlos.

Rampas en los cruces

Se recomienda implementar rampas a ambos lados de cada cruce peatonal. Estas rampas, como se muestra en el plano E3, tendrían un ancho de 1.2-1.5m cuando solo reciban flujos peatonales y 3 m cuando sean utilizadas por peatones y ciclistas. Para un diseño más inclusivo, se ejecutarán bandas antideslizantes según la figura 2.21 en estas últimas. Para el caso de veredas angostas que tengan 2 metros de ancho o menos, se recomienda considerar implementar un diseño de rebaje en vereda angosta según la figura 2.22.

Configuración del semáforo

Se recomienda reducir la duración del ciclo del semáforo de 170 segundos, que es muy alto e incrementa las demoras tanto de vehículos como de peatones. Del análisis realizado en el capítulo 5, se propone adoptar un ciclo de 90 segundos con 2 fases distribuidas como se muestra en la figura 5.11, restringiendo los giros a la izquierda desde la Av. Universitaria en las horas punta.

Accesos vehiculares en la intersección

Se recomienda darle continuidad a la vereda en las esquinas donde se encuentran los accesos vehiculares de empresas privadas. Esto va a reforzar la presencia peatonal y es un diseño más seguro, pues, los vehículos van a tener que reducir la velocidad para subir al nivel de la acera.

Ciclovía

Se propone implementar una vía para ciclistas en la Av. Argentina. Al igual que en la intersección N°1, no se pretende diseñar una ciclovía en todo el eje vial, sino, en base al análisis de tráfico de la intersección aislada, solamente diseñar los accesos a la misma. El diseño que se presenta a continuación puede tomarse como referencia para implementar una ciclovía a lo largo de toda la Av. Argentina.

- Para la dirección Este-Oeste, se propone que el acceso sea por medio de un carril del giro canalizado como se explicó en el punto número 8 del presente capítulo. Pasando la intersección, la vía para ciclistas va a continuar utilizando un espacio inutilizado entre la vereda y los carriles vehiculares. En este caso, al no haber mucho espacio de separación entre flujos, se propone que exista una barrera física entre ambos, que podría ser un sardinel, por ejemplo.
- Para la dirección contraria, el acceso sería por medio de una acera-bici. Esto se explica en el punto número 7. Pasando la intersección, al igual que en la dirección contraria, existe un espacio subutilizado, el cual se puede aprovechar para darle continuidad a la ciclovía.
- Con respecto a las facilidades en la intersección, se propone reforzar la presencia de los ciclistas y su trayectoria esperada por medio de pintura color verde. Del mismo modo, se ha propuesto implementar una parada adelantada para los ciclistas que circulan por la Av. Argentina en dirección Oeste, la cual también puede ser utilizada como parada de descanso para los ciclistas que vienen en dirección Norte y desean girar a la izquierda en dos fases.

Capítulo 7: Conclusiones

- La realización de aforos vehiculares en las intersecciones en estudio se realizó de manera manual y permitió conocer parámetros importantes relacionados al tráfico vehicular. Estos son la hora punta de la mañana, el volumen de vehículos que circula por acceso y el tipo de movimiento que realizan, así como la clasificación de los vehículos motorizados. Con estos datos, por ejemplo, se puede determinar preliminarmente que por la Av. Universitaria circulan más de 1500 vehículos en la hora de máxima demanda en ambas direcciones. Asimismo, estos datos de entrada fueron fundamentales para la posterior determinación de los niveles de servicio de las 3 intersecciones que se analizaron.
- Los niveles de servicio de las intersecciones en estudio fueron determinados siguiendo los lineamientos del Manual de Capacidad para intersecciones semaforizadas. Asimismo, algunos parámetros considerados en dicho manual fueron adaptados a la realidad local en base a investigaciones realizadas en Latinoamérica. Los resultados permiten concluir lo siguiente:
 - Las tres intersecciones en estudio presentan algunos accesos con demoras elevadas, lo cual se traduce en niveles de servicio desfavorables (E y F). Como se ha comprobado en el capítulo 5, la demora de control uniforme tiene más influencia en los grupos de carriles con la relación V_e/C baja; mientras que la demora incremental predomina en los grupos de carriles con la relación Tasa de flujo/Capacidad por encima de 0.8.
 - El viaducto de la intersección Universitaria-Venezuela no asegura un nivel de servicio adecuado en la intersección. Como se pudo comprobar, en el acceso Este, el volumen de los vehículos que llega a la intersección es elevado, pues, al ser la Av. Universitaria una vía de un solo sentido en el tramo colindante a la Universidad San Marcos, el gran flujo de vehículos que viene del norte y quiere seguir por dicha avenida toma una ruta alterna y termina girando a la izquierda desde el acceso Este de la intersección. La calzada elevada garantiza el flujo sin interrupción en la Av. Venezuela para los vehículos que van de frente (trayectoria recta), pero el problema principal no se encuentra en ese movimiento. Por lo que dicha obra no soluciona los problemas de tráfico vehicular en la intersección. Esto comprueba la segunda hipótesis de trabajo.
 - En la intersección 3 (Universitaria – Argentina), los problemas de capacidad se originan en la Av. Argentina por la gran cantidad de vehículos pesados que circulan. Por ser una zona industrial, la intersección es lugar de paso de numerosos vehículos pesados, como camiones o tráileres. Mientras que en la Av. Universitaria, la

reducción de la capacidad se da por la presencia de giros a la izquierda permitidos que dificultan el tránsito fluido de los vehículos que desean ir de frente.

- En la intersección 2 (Universitaria – Benavides), los problemas de capacidad tienen su origen en la deficiente configuración semafórica de la intersección. El elevado ciclo del semáforo incrementa las demoras vehiculares, particularmente, el primer parámetro de la demora (d_1) que es mayor a 50 segundos en 7 de los 8 grupos de carriles determinados. Por otro lado, el segundo parámetro de la demora (d_2) no tiene mayor influencia en la demora total, pues la relación tasa de flujo/Capacidad es menor a 0.8 en todos los accesos.
- Por medio de la utilización de listas de chequeo en múltiples visitas a las intersecciones en estudio, se evaluó la seguridad y accesibilidad de los usuarios vulnerables. En estas listas de chequeo, se incluyeron diversos criterios que permitieron una evaluación integral de las intersecciones. Por ello, se considera que esta herramienta es de suma importancia para la identificación de problemas asociados a la falta de facilidades para peatones, ciclistas y personas con discapacidad. En las intersecciones en estudio, la utilización de esta herramienta permite concluir lo siguiente:
 - Del diagnóstico realizado por medio de las listas de chequeo, se comprueba la primera hipótesis: las intersecciones, y el acceso a estas por las calles presentan problemas que dificultan la movilidad de los usuarios vulnerables. Los principales problemas identificados se resumen en los siguientes: falta de rampas en los cruces (intersecciones 1 y 3), efecto barrera ocasionado por estructuras como calzadas elevadas o puentes peatonales (intersección 1), obstrucciones en las aceras (intersecciones 1, 2 y 3), radios de giros amplios que incentivan velocidades elevadas (intersección 1 y 3), semáforos peatonales inoperativos o inexistentes (intersecciones 1,2 y 3), falta de facilidades para personas con discapacidad visual en los cruces (intersecciones 1,2 y 3), falta de continuidad en las ciclovías o bloqueo de las mismas (intersecciones 1, 2 y 3), así como de facilidades en los cruces (intersecciones 1 y 3), y no aprovechamiento del espacio público existente (intersecciones 1,2 y 3).
 - La intersección 2 (Universitaria – Benavides) presenta menos problemas de tráfico vehicular y movilidad que las otras 2 intersecciones. La presencia de giros canalizados en todos sus accesos disminuyen los conflictos con los peatones en los cruces. Además, se encuentran otras facilidades como cruceros elevados al nivel de la acera, medianas e islas de refugio amplias, y se asegura la continuidad de las ciclovías en los cruces. Los problemas identificados están más relacionados a la informalidad, la cual depende del comportamiento humano y es más difícil de solucionar. Sin embargo, es necesario resaltar, que la intersección, antes de la

construcción del by-pass, tenía muchos más metros cuadrados de espacio público para los peatones, así como áreas verdes de esparcimiento. Por lo tanto, desde un enfoque de movilidad sostenible, las obras que se realizaron, no fueron apropiadas.

- En el tránsito de vehículos, la informalidad se presenta cuando buses de transporte público, colectivos o taxis paran a recoger pasajeros en puntos inadecuados o en medio de la vía. También, se presenta cuando los conductores realizan maniobras peligrosas o no predecibles, como girar a la derecha o a la izquierda desde el carril más alejado. Todo ello ocasiona desorden en la intersección y dificulta la medición de algunos parámetros relacionados al tráfico. La informalidad también está relacionada a las dificultades de los usuarios vulnerables. Como se comprobó en el capítulo 4, los buses de transporte público, a veces, paran a recoger pasajeros antes del cruce peatonal, bloqueando la visibilidad, o incluso, sobre el cruce peatonal bloqueando el acceso (intersecciones 1 y 2). Otro problema identificado en las 3 intersecciones es la presencia de comerciantes, muchos de estos informales, que reducen el ancho efectivo de la acera o bloquean la vía para ciclistas. En particular, para este problema, se propuso reubicar a los comerciantes a las islas de refugio que canalizan los giros a la derecha (Intersecciones 1 y 3) y a la mediana central (Intersección 2). En ambos casos, se encontró que esos espacios públicos estaban subutilizados y podía aprovecharse colocando mobiliario urbano.
- Por todo lo expuesto en el capítulo 4 y 5, se comprueba que las intersecciones en estudio necesitan un rediseño enfocado en dar mayores facilidades a los usuarios vulnerables. En ese sentido, en el capítulo 6, se han propuesto medidas puntuales que faciliten la movilidad de peatones y ciclistas a través de calles e intersecciones. Las medidas principales que se recomendaron implementar incluyen lo siguiente: ejecución o modificación de rampas peatonales, implementación de facilidades para ciclistas interconectadas con los accesos, reconfiguración del espacio público en islas canalizadoras y medianas, disminución del radio de giro y aumento de espacio peatonal en las esquinas, reducción del ciclo semafórico, mejoramiento de cruces peatonales, entre otros. Estas medidas de solución se han plasmado en planos de rediseño, que muestran el mejoramiento de las intersecciones de manera integral.
- Se ha cumplido con el objetivo general del presente trabajo, ya que, previo análisis del tránsito vehicular y de la movilidad, se rediseñó las intersecciones desde el enfoque multidisciplinario de la gestión de la movilidad tomando en cuenta la gestión del tránsito y el diseño vial urbano enfocado a dar facilidades a los usuarios vulnerables.

Capítulo 8: Recomendaciones

- La recomendación principal de la presente tesis es la consideración de las medidas de solución descritas en el capítulo 6 para futuros mejoramientos urbanos de las intersecciones en estudio, las cuales, tienen como fin mejorar la movilidad de todos los usuarios de la vía, priorizando a lo vulnerables. A manera de ejemplo, se adjunta en el anexo 11 un presupuesto estimado de las medidas de mejora en la intersección de las avenidas Universitaria y Venezuela, el cual, puede usarse en un estudio de prefactibilidad. Los precios unitarios del presupuesto toman como referencia el “Generador de precios de la construcción. Perú” (CYPE Ingenieros S.A., s.f).
- Aplicar un análisis basado en la micosimulación, debido a que este enfoque estudia el flujo vehicular en áreas pequeñas con más detalle, y considera el comportamiento de los conductores de manera individual y su interacción con los otros.
- El presente trabajo tiene un alcance muy amplio, por lo que algunos temas no se desarrollaron con mucho detalle. Se recomienda, para trabajos futuros, utilizar como antecedente esta tesis para hacer análisis más específicos en las intersecciones que se han analizado.

Capítulo 9: Bibliografía

American Association of State Highway and Transportation Officials. (2011). *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets 2011* (6.^a ed.). AASHTO

Agreda, L. y Parra, R. (2017). *Análisis comparativo de la aplicación de la metodología HCM 2000 y HCM 2010 en un tramo semaforizado de la avenida San Luis en la ciudad metropolitana de Lima* [Tesis de Titulación, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas].
<https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/622076>

ALBRIEU, M. y GALARRAGA, J. (2012). *Recomendaciones para la aplicación de la metodología del HCM para intersecciones semaforizadas en Argentina* [Trabajo de investigación, Universidad de Córdoba] <http://www.redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/es/produccion/articulos-cientificos/2012-1/622-ecomendaciones-para-la-aplicacion-de-la-metodologia-del-hcm-para-intersecciones-semaforizadas/file>

Austrroads. (2019). *Guide to Road Safety Part 6: Managing Road Safety Audits* (1.^a ed.). Austrroads Ltd. https://austrroads.com.au/publications/road-safety/agrs06/media/AGRS06-19-Guide_to_Road_Safety_Part_6_Managing_Road_Safety_Audits.pdf

- Borja, J. (1998). Ciudadanía y espacio público. *Ambiente y Desarrollo*, XIV, 13-22.
http://www.pieb.org/espacios/archivos/doconline_ciudadania_y_espacio_publico.pdf
- Cal y Mayor, R. y Cárdenas, J. (2018). *Ingeniería de tránsito: Fundamentos y aplicaciones* (9.ª ed.). Alfaomega Grupo Editor.
- CCA. (2010). *Manual de Accesibilidad Universal* (1.ª ed.).
https://www.ciudadaccesible.cl/wp-content/uploads/2012/06/manual_accesibilidad_universal1.pdf
- City and County of San Francisco (s.f.). *Medians and Islands*. SF Better Streets
<https://www.sfbetterstreets.org/find-project-types/pedestrian-safety-and-traffic-calming/traffic-calming-overview/medians-and-islands/>
- Comunidad Andina. (2018, diciembre). *Parque vehicular en la Comunidad Andina, 2008-2017* (SG de 848). <http://www.comunidadandina.org/DocOficialesFiles/DEstadisticos/SGDE848.pdf>
- CYPE Ingenieros S.A. (Sin fecha). *Generador de precios de la construcción*. Perú.
<http://www.peru.generadordeprecios.info/>
- Dextre, J. C. (2008). Auditorías de seguridad vial. En J. Dextre (Ed.), *Vías Humanas. Un enfoque multidisciplinario y humano de la seguridad vial* (pp. 13-40). Fondo Editorial de la PUCP.
- Dextre, J. C. (2010). *Seguridad Vial: La necesidad de un nuevo marco teórico* (Tesis doctoral). Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, España.
- Dextre, J. C. & Avellaneda, P. (2014). *Movilidad en zonas urbanas*. Fondo editorial de la PUCP.
- Department of Transport, Tourism and Sport. (2013). *Design Manual for Urban Roads and Streets*. DTTAS.
- DGT. (2007). *Plan Estratégico de Seguridad Vial 2005-2008*. Dirección General de Tráfico.
http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/estrategias-y-planes/urbanos/doc/tipo_sv_urbana002.pdf
- Dourthé, A., & Salamanca, J. (2003). *Guía Para Realizar una Auditoría de Seguridad Vial*. CONASET. <https://www.conaset.cl/wp-content/uploads/2016/01/Guia-Auditoria-de-Seguridad.pdf>
- FHWA. (2007). *Pedestrian Road Safety audit Guidelines and Prompt Lits*. U.S. Department of Transportation.

https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/other_topics/fhwasa09027/resources/Pedestrian%20Road%20Safety%20Audit%20Guidelines.pdf

FHWA. (2009). *Manual on Uniform Traffic Control Devices for Streets and Highways* (2009.^a ed.). FHWA. <https://mutcd.fhwa.dot.gov/pdfs/2009r1r2/mutcd2009r1r2edition.pdf>

FHWA. (2013). *Signalized Intersections: Informational Guide* (2.^a ed.). FHWA. <https://safety.fhwa.dot.gov/intersection/conventional/signalized/fhwasa13027/>

Fernández, R., & Dextre, J.C. (2011). *Elementos de la teoría del tráfico vehicular*. Fondo Editorial PUCP.

Fundación RACC. (2004). *Criterios de movilidad en zonas urbanas*. Fundación RACC. <https://www.yumpu.com/es/document/read/27304129/criterios-de-movilidad-en-zonas-urbanas-racc>

Gibson, J., Bartel, G y Coeymans, J.E. (1997). Redefinición de los parámetros de capacidad de intersección semaforizadas bajo condiciones de tráfico mixto. *Actas del VIII Congreso Chileno de Ingeniería de Transporte*, Santiago, pp. 383-395
https://www.researchgate.net/publication/281974911_REDEFINICION_DE_LOS_PARAMETROS_DE_CAPACIDAD_DE_UNA_INTERSECCION_SEMAFORIZADA_BAJO_CONDICIONES_DE_TRAFICO_MIXTO

Google. (s.f.). [Mapa que muestra las 3 intersecciones en Google Maps]. Recuperado el 30 de marzo del 2018, de: <https://www.google.es/maps/@-12.0537915,-77.0746613,15.5z>

Google. (s.f.). [Mapa que muestra la intersección de las avenidas Universitaria y Venezuela]. Recuperado el 30 de marzo del 2018, de: <https://earth.google.com/web>

Google. (s.f.). [Mapa que muestra la intersección de las avenidas Universitaria y Benavides]. Recuperado el 30 de marzo del 2018, de: <https://earth.google.com/web>

Google. (s.f.). [Mapa que muestra la intersección de las avenidas Universitaria y Argentina]. Recuperado el 30 de marzo del 2018, de: <https://earth.google.com/web>

Google. (s.f.). [Vista panorámica de la intersección de las avenidas Universitaria y Argentina]. Recuperado el 30 de marzo del 2018, de: <https://www.google.com.pe/maps/@-12.0464555,-77.0765958,3a,75y,56.27h,70.92t/data=!3m7!1e1!3m5!1sfEeprioPdDy236DfLe7kPA!2e0!5s20150501T000000!7i13312!8i6656?hl=es-419>

- Hamad, K. y Abuhamda, H. (2015). Estimating Base Saturation Flow Rate for Selected Signalized Intersections in Doha, Qatar. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 3(2), 168-171. DOI: 10.12720/jtle.3.2.168-171
- Holmes, D. (2014). Seven Designers vie for Flatiron Public Plaza Holiday Design Competition (2014, 18 de julio), *World Landscape Architect* <https://worldlandscapearchitect.com/seven-designers-vie-for-flatiron-public-plaza-holiday-design-competition/>
- Instituto Metropolitano de Planificación. (2019). *Plano de Zonificación de Lima Metropolitana Cercado de Lima y Centro Histórico*. <https://www.imp.gob.pe/images/Planos%20de%20Zonif%20Dic%202019/Cercado%20de%20Lima%20web.pdf>
- IQAir AirVisual. (2019). *2018 WORLD AIR QUALITY REPORT*. <https://www.iqair.com/world-most-polluted-cities/world-air-quality-report-2018-en.pdf>
- Kell, J. H., Fullerton, I. J. (1991). *Manual of Traffic Signal Design* (2.^a ed.). Englewood Cliffs (N.J.): Prentice Hall.
- Lerner, J. (2005). *Acupuntura urbana*. Barcelona: Instituto de Arquitectura Avanzada de Cataluña – IAAC
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de dispositivos de control del tránsito automotor para calles y carreteras*. https://www.ccimasenalizaciones.pe/images/pdf/documentos/manual_dispositivos_de_control_automotor_peru_2016.pdf
- NACTO. (2013). *Urban Street Design Guide*. Island Press.
- NACTO. (2014). *Urban Bikeway Design Guide* (2nd ed.). Island Press.
- NACTO. (2018). Goodbye cars, hello colour: the great reinvention of city intersections (2018, 18 de setiembre), *The Guardian* <https://www.theguardian.com/cities/gallery/2018/sep/20/goodbye-cars-hello-colour-the-great-reinvention-of-city-intersections?page=with:img-8#img-8>
- OEFA. (2016, junio). *La contaminación sonora en Lima y Callao*. http://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=19088
- ONU. (2015, mayo). *TEMAS HABITAT III - Espacio público* (N.º 11). Secretaría de Habitat III. http://habitat3.org/wp-content/uploads/Issue-Paper-11_Public_Space-SP.pdf

- Osores, V. (2016). *Evaluación del nivel de servicio por análisis de tráfico en la intersección semaforizada Mariscal Castilla – Julio Sumar El Tambo, 2015* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú]. <http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/1182>
- Pardillo, J., & Jurado, R. (2015). *Apuntes de tráfico y seguridad viaria* (2nd ed.). Madrid: E.T.S. Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- Potts, I., Harwood, D., Bauer, K., Gilmore, D., Hutton, J., Torbic, D., Ringert, J., Daleiden, A., & Barlow, J. (2014). *Design Guidance for Channelized Right-Turn Lanes*. NCHRP. <https://www.nap.edu/read/22238/chapter/1>
- Quintero-González, J.-R. (2017). Del concepto de ingeniería de tránsito al de movilidad urbana sostenible. *Ambiente y Desarrollo*, 21(40), 57-72. <https://doi.org/10.11144/javeriana.ayd21-40.citm>
- Resolución de Subgerencia N° 12152-2012-MML/GTU-SRT (13 de diciembre del 2012). Diario Oficial El Peruano <https://busquedas.elperuano.pe/download/url/autorizan-implementacion-de-paraderos-de-transporte-regular-resolucion-n-12152-2012-mmlgtu-srt-882582-2>
- Sanz, A., Mateos, M., Sanchez, A., & Caparrós, C. (2004). *Cuaderno de intervención peatonal*. A PIE, Asociación de viandantes. <https://es.scribd.com/document/45073432/Cuaderno-de-Intervencion-Peatonal>
- Sanz, A. (2010). *Urbanismo y movilidad sostenible - Guía para la construcción de ciudades siguiendo criterios de movilidad sostenible*. NASURSA. Navarra de Suelo Residencial, S.A. <http://www.upv.es/contenidos/CAMUNISO/info/U0538399.pdf>
- Schmitt, A. (2018). Cities Are Replacing Dangerous Slip Lanes With Space for People (2018, 13 de julio), *Streets Blog*, Nueva York <https://usa.streetsblog.org/2018/07/13/cities-are-replacing-dangerous-slip-lanes-with-space-for-people/>
- Seduvi. (2007). *Manual técnico de accesibilidad*. <http://www.libreacceso.org/wp-content/uploads/2013/09/Manual-de-Accesibilidad-SEDUVI.pdf>
- Suzuki, H., Dastur, A., Moffatt, S., Yabuki, N., & Maruyama, H. (2010). *Ciudades Eco². Ciudades ecológicas como ciudades económicas*. (Illustrated ed.). World Bank Publications.
- Teply, S., Allingham D.I., Richardson D.B. y Stephenson B.W. (2008). *Canadian Capacity Guide for Signalized Intersection* (3.^a ed.). Institute of Transportation Engineers, District 7 – Canada. <https://www.tac-atc.ca/sites/tac-atc.ca/files/site/doc/resources/report-capacityguide.pdf>

Transportation Research Board. (2000). *Highway Capacity Manual* (4.^a ed.). Transportation Research Board.

UPV, Fundación CIDAUT, ETRA, & TYPESA. (2011, febrero). *Proyecto MODETRA* (N.º 11). CEDEX. http://www.cedex.es/NR/rdonlyres/B59AEC2B-C6FD-44A6-8B38-C1FDD62088BB/150915/T52_Criterios.pdf

U.S. Access Board. (2002). *ADA Accessibility Guidelines (ADAAG)*. <https://www.access-board.gov/guidelines-and-standards/buildings-and-sites/about-the-ada-standards/background/adaag>

Villaverde, A.J. (2019). *Validación del factor por obstrucción de buses (fbb) para las condiciones del distrito de Huancayo - Junín- 2018* [Tesis de Titulación, Universidad Continental]. https://repositorio.continental.edu.pe/handle/20.500.12394/7106?locale=pt_BR

Webster, F.V. (1958). *Traffic Signal Settings*, Road Research Technical Paper No 39, H.M. Stationery Office https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/traffic_signals_webster.pdf

Welle, B., Liu, Q., Li, W., Adriazola-Steil, C., King, R., Sarmiento, C., & Obelheiro, M. (2016). *Ciudades más seguras mediante el diseño*. World Resources Institute (WRI). <https://publications.wri.org/ciitessafer/es/#5.6>

Anexo 1: Listas de chequeo de las intersecciones en estudio

Lista de chequeo de calles - Intersección Av. Universitaria con Av. Venezuela

Criterio general	Criterio específico	Sí	No	
A.1	A.1.1	¿Hay caminos previstos a lo largo de las calles?	X	
	A.1.2	Si no hay caminos, ¿hay otras condiciones para caminar (como berma para los peatones) en la calle u otro sendero cerca?	-	-
	A.1.3	¿Es el ancho de las veredas el adecuado para el volumen de peatones?	X	
	A.1.4	¿Hay rampas proporcionadas como alternativa a las escaleras?	X	
	A.1.5	¿El mobiliario urbano presente cerca de las intersecciones es adecuado y está bien ubicado?		X
A.2	A.2.1	¿Está la vereda libre de obstrucciones provisionales o permanentes?		X
	A.2.2	¿La inclinación de la vereda está dentro de los rangos permitidos?	X	
	A.2.3	¿Está la superficie de la vereda bien mantenida?		X
A.3	A.3.1	¿Son los caminos y bermas continuos y ubicados en ambos lados de la calle?		X
A.4	A.4.1	¿Está la acera adecuadamente iluminada?	X	
	A.4.2	¿La iluminación en las calles mejora la visibilidad de los peatones durante la noche?	X	
A.5	A.5.1	A lo largo de la acera, ¿la visibilidad de los peatones es adecuada?		X
A.6	A.6.1	¿Las entradas para los coches que cruzan caminos peatonales son seguras y accesibles para los peatones que quieren seguir su camino?	X	
A.7	A.7.1	¿Existen vías para ciclistas en todos los accesos a la intersección?		X
	A.7.2	¿Los flujos de ciclistas y peatones están libres de conflictos entre ellos?	X	
A.8	A.8.1	¿El uso de las señales de tránsito horizontales y verticales es adecuado?		X
	A.8.2	¿Las marcas en el pavimento están bien mantenidas y son visibles tanto en el día como en la noche?	X	

Lista de chequeo de intersecciones - Intersección Av. Universitaria con Av. Venezuela

Criterio general	Criterio específico	Sí	No	
B.1	B.1.1	¿Existen cruceiros peatonales en todos los cruces de la intersección?	X	
	B.1.2	¿Los radios de giro reducen las distancias de los cruceiros peatonales e incentivan las velocidades bajas en los giros a la derecha?		X
	B.1.3	¿Los carriles canalizados de giros a la derecha minimizan los conflictos con los peatones?	X	
	B.1.4	¿Los cruceiros peatonales están localizados en áreas donde la se cumpla la distancia de visibilidad?	X	
	B.1.5	¿Las islas de refugio proveen una zona segura de espera para los peatones?	X	
	B.1.6	¿Los cruceiros peatonales son lo suficientemente anchos?	X	
	B.1.7	¿Los cruceiros peatonales están situados siguiendo las líneas de deseo de los peatones?		X
	B.1.8	¿Están las esquinas y rampas apropiadamente planeadas y diseñadas en cada acercamiento al cruceiro?		X
	B.1.9	¿Existen facilidades en el cruce para personas con discapacidad visual?		X
B.2	B.2.1	¿Está el cruceiro peatonal libre de obstrucciones provisionales o permanentes?	X	
	B.2.2	¿Es el pavimento del cruceiro adecuado y está bien mantenido?		X
B.3	B.3.1	¿Está el cruceiro adecuadamente iluminado?	X	
B.4	B.4.1	¿Pueden los peatones ver los vehículos acercándose en todos los accesos de la intersección/cruceiro y viceversa?		X
	B.4.2	¿Es la distancia desde la línea de parada (o ceda el paso) hasta el cruceiro suficiente para que los conductores puedan ver a los peatones?	X	
	B.4.3	¿Los vehículos, en especial buses de transporte público, se detienen en lugares apropiados y no obstruyen la visibilidad a los peatones?		X
B.5	B.5.1	¿Están las entradas de los coches ubicadas lejos a los cruceiros?	X	
B.6	B.6.1	¿Los vehículos giran de manera segura y respetan la prioridad del peatón?		X
	B.6.2	¿Existen facilidades para los ciclistas en los cruces?		X
B.7	B.7.1	¿Está la pintura de las líneas de paradas y cruceiros bien mantenida al igual que otras marcas en el pavimento?	X	
	B.7.2	¿Están los cruceiros peatonales correctamente señalados y/o marcados?	X	
B.8	B.8.1	¿Hay semáforos para peatones y son adecuados?		X
	B.8.2	¿Están regulados los semáforos para el tráfico y peatones para que el tiempo de espera y tiempo de cruce sea razonable?	X	
B.9	B.9.1	¿El espacio público está distribuido y es utilizado de forma adecuada?		X
	B.9.2	¿En los espacios grandes, existe mobiliario urbano que promueva su uso?		X
B.10	B.10.1	¿Es segura la localización de los paraderos?	X	
	B.10.2	¿Los paraderos del transporte público colectivo están distribuidos a distancias aceptables por los peatones y compatibles con los centros atractores de viajes?	X	

Lista de chequeo de calles - Intersección Av. Universitaria con Av. Benavides

Criterio general	Criterio específico		Sí	No
A.1	A.1.1	¿Hay caminos previstos a lo largo de las calles?	X	
	A.1.2	Si no hay caminos, ¿hay otras condiciones para caminar (como berma para los peatones) en la calle u otro sendero cerca?	-	-
	A.1.3	¿Es el ancho de las veredas el adecuado para el volumen de peatones?	X	
	A.1.4	¿Hay rampas proporcionadas como alternativa a las escaleras?	X	
	A.1.5	¿El mobiliario urbano presente cerca de las intersecciones es adecuado y está bien ubicado?	X	
A.2	A.2.1	¿Está la vereda libre de obstrucciones provisionales o permanentes?	X	
	A.2.2	¿La inclinación de la vereda está dentro de los rangos permitidos?	X	
	A.2.3	¿Está la superficie de la vereda bien mantenida?	X	
A.3	A.3.1	¿Son los caminos y bermas continuos y ubicados en ambos lados de la calle?	X	
A.4	A.4.1	¿Está la acera adecuadamente iluminada?	X	
	A.4.2	¿La iluminación en las calles mejora la visibilidad de los peatones durante la noche?	X	
A.5	A.5.1	A lo largo de la acera, ¿la visibilidad de los peatones es adecuada?	X	
A.6	A.6.1	¿Las entradas para los coches que cruzan caminos peatonales son seguras y accesibles para los peatones que quieren seguir su camino?	X	
A.7	A.7.1	¿Existen vías para ciclistas en todos los accesos a la intersección?	X	
	A.7.2	¿Los flujos de ciclistas y peatones están libres de conflictos entre ellos?		X
A.8	A.8.1	¿El uso de las señales de tránsito horizontales y verticales es adecuado?		X
	A.8.2	¿Las marcas en el pavimento están bien mantenidas y son visibles tanto en el día como en la noche?	X	

Lista de chequeo de intersecciones - Intersección Av. Universitaria con Av. Benavides

Criterio general	Criterio específico		Sí	No
B.1	B.1.1	¿Existen cruceiros peatonales en todos los cruces de la intersección?	X	
	B.1.2	¿Los radios de giro reducen las distancias de los cruceiros peatonales e incentivan las velocidades bajas en los giros a la derecha?	X	
	B.1.3	¿Los carriles canalizados de giros a la derecha minimizan los conflictos con los peatones?	X	
	B.1.4	¿Los cruceiros peatonales están localizados en áreas donde la se cumpla la distancia de visibilidad?	X	
	B.1.5	¿Las islas de refugio proveen una zona segura de espera para los peatones?	X	
	B.1.6	¿Los cruceiros peatonales son lo suficientemente anchos?	X	
	B.1.7	¿Los cruceiros peatonales están situados siguiendo las líneas de deseo de los peatones?	X	
	B.1.8	¿Están las esquinas y rampas apropiadamente planeadas y diseñadas en cada acercamiento al cruceiro?	X	
	B.1.9	¿Existen facilidades en el cruce para personas con discapacidad visual?		X
B.2	B.2.1	¿Está el cruceiro peatonal libre de obstrucciones provisionales o permanentes?	X	
	B.2.2	¿Es el pavimento del cruceiro adecuado y está bien mantenido?	X	
B.3	B.3.1	¿Está el cruceiro adecuadamente iluminado?	X	
B.4	B.4.1	¿Pueden los peatones ver los vehículos acercándose en todos los accesos de la intersección/cruceiro y viceversa?		X
	B.4.2	¿Es la distancia desde la línea de parada (o ceda el paso) hasta el cruceiro suficiente para que los conductores puedan ver a los peatones?		X
	B.4.3	¿Los vehículos, en especial buses de transporte público, se detienen en lugares apropiados y no obstruyen la visibilidad a los peatones?		X
B.5	B.5.1	¿Están las entradas de los coches ubicadas lejos a los cruceiros?	X	
B.6	B.6.1	¿Los vehículos giran de manera segura y respetan la prioridad del peatón?	X	
	B.6.2	¿Existen facilidades para los ciclistas en los cruces?	X	
B.7	B.7.1	¿Está la pintura de las líneas de paradas y cruceiros bien mantenida al igual que otras marcas en el pavimento?		X
	B.7.2	¿Están los cruceiros peatonales correctamente señalados y/o marcados?	X	
B.8	B.8.1	¿Hay semáforos para peatones y son adecuados?		X
	B.8.2	¿Están regulados los semáforos para el tráfico y peatones para que el tiempo de espera y tiempo de cruce sea razonable?	X	
B.9	B.9.1	¿El espacio público está distribuido y es utilizado de forma adecuada?		X
	B.9.2	¿En los espacios grandes, existe mobiliario urbano que promueva su uso?		X
B.10	B.10.1	¿Es segura la localización de los paraderos?	X	
	B.10.2	¿Los paraderos del transporte público colectivo están distribuidos a distancias aceptables por los peatones y compatibles con los centros atractores de viajes?	X	

Lista de chequeo de calles - Intersección Av. Universitaria con Av. Argentina

Criterio general	Criterio específico	Sí	No	
A.1	A.1.1	¿Hay caminos previstos a lo largo de las calles?	X	
	A.1.2	Si no hay caminos, ¿hay otras condiciones para caminar (como berma para los peatones) en la calle u otro sendero cerca?	-	-
	A.1.3	¿Es el ancho de las veredas el adecuado para el volumen de peatones?	X	
	A.1.4	¿Hay rampas proporcionadas como alternativa a las escaleras?	X	
	A.1.5	¿El mobiliario urbano presente cerca de las intersecciones es adecuado y está bien ubicado?		X
A.2	A.2.1	¿Está la vereda libre de obstrucciones provisionales o permanentes?		X
	A.2.2	¿La inclinación de la vereda está dentro de los rangos permitidos?	X	
	A.2.3	¿Está la superficie de la vereda bien mantenida?		X
A.3	A.3.1	¿Son los caminos y bermas continuos y ubicados en ambos lados de la calle?		X
A.4	A.4.1	¿Está la acera adecuadamente iluminada?	X	
	A.4.2	¿La iluminación en las calles mejora la visibilidad de los peatones durante la noche?	X	
A.5	A.5.1	A lo largo de la acera, ¿la visibilidad de los peatones es adecuada?	X	
A.6	A.6.1	¿Las entradas para los coches que cruzan caminos peatonales son seguras y accesibles para los peatones que quieren seguir su camino?		X
A.7	A.7.1	¿Existen vías para ciclistas en todos los accesos a la intersección?		X
	A.7.2	¿Los flujos de ciclistas y peatones están libres de conflictos entre ellos?		X
A.8	A.8.1	¿El uso de las señales de tránsito horizontales y verticales es adecuado?		X
	A.8.2	¿Las marcas en el pavimento están bien mantenidas y son visibles tanto en el día como en la noche?		X

Lista de chequeo de intersecciones - Intersección Av. Universitaria con Av. Argentina

Criterio general	Criterio específico	Sí	No	
B.1	B.1.1	¿Existen cruceiros peatonales en todos los cruces de la intersección?	X	
	B.1.2	¿Los radios de giro reducen las distancias de los cruceiros peatonales e incentivan las velocidades bajas en los giros a la derecha?		X
	B.1.3	¿Los carriles canalizados de giros a la derecha minimizan los conflictos con los peatones?	X	
	B.1.4	¿Los cruceiros peatonales están localizados en áreas donde se cumpla la distancia de visibilidad?	X	
	B.1.5	¿Las islas de refugio proveen una zona segura de espera para los peatones?		X
	B.1.6	¿Los cruceiros peatonales son lo suficientemente anchos?	X	
	B.1.7	¿Los cruceiros peatonales están situados siguiendo las líneas de deseo de los peatones?	X	
	B.1.8	¿Están las esquinas y rampas apropiadamente planeadas y diseñadas en cada acercamiento al cruceiro?		X
	B.1.9	¿Existen facilidades en el cruce para personas con discapacidad visual?		X
B.2	B.2.1	¿Está el cruceiro peatonal libre de obstrucciones provisionales o permanentes?	X	
	B.2.2	¿Es el pavimento del cruceiro adecuado y está bien mantenido?	X	
B.3	B.3.1	¿Está el cruceiro adecuadamente iluminado?	X	
B.4	B.4.1	¿Pueden los peatones ver los vehículos acercándose en todos los accesos de la intersección/cruceiro y viceversa?	X	
	B.4.2	¿Es la distancia desde la línea de parada (o ceda el paso) hasta el cruceiro suficiente para que los conductores puedan ver a los peatones?		X
	B.4.3	¿Los vehículos, en especial buses de transporte público, se detienen en lugares apropiados y no obstruyen la visibilidad a los peatones?	X	
B.5	B.5.1	¿Están las entradas de los coches ubicadas lejos a los cruceiros?		X
B.6	B.6.1	¿Los vehículos giran de manera segura y respetan la prioridad del peatón?		X
	B.6.2	¿Existen facilidades para los ciclistas en los cruces?		X
B.7	B.7.1	¿Está la pintura de las líneas de paradas y cruceiros bien mantenida al igual que otras marcas en el pavimento?		X
	B.7.2	¿Están los cruceiros peatonales correctamente señalados y/o marcados?		X
B.8	B.8.1	¿Hay semáforos para peatones y son adecuados?		X
	B.8.2	¿Están regulados los semáforos para el tráfico y peatones para que el tiempo de espera y tiempo de cruce sea razonable?	X	
B.9	B.9.1	¿El espacio público está distribuido y es utilizado de forma adecuada?		X
	B.9.2	¿En los espacios grandes, existe mobiliario urbano que promueva su uso?	-	-
B.10	B.10.1	¿Es segura la localización de los paraderos?	X	
	B.10.2	¿Los paraderos del transporte público colectivo están distribuidos a distancias aceptables por los peatones y compatibles con los centros atractores de viajes?	X	

Anexo 2: Hallazgos secundarios de las intersecciones en estudio

Intersección 1: Av. Universitaria con la Av. Venezuela

Acceso Sur

B.9.2. Espacio público desaprovechado

El margen izquierdo de la vereda, a la altura de la intersección, colinda con un pequeño parque, razón por la cual, según el plano de zonificación del distrito de San Miguel, esta área es considerada como zona de recreación pública (Instituto Metropolitano de Planificación [IMP], 2019). Sin embargo, este espacio público que se muestra en la figura A2.1 se encuentra desatendido por la falta de mobiliario urbano, como bancas, que promueva su uso.



Figura A2.1: Espacio público en desuso

A.8.1. Señal de tránsito vertical rota

La siguiente señal, ubicada en el giro canalizado a la derecha desde la avenida Universitaria, advierte al conductor sobre la presencia de peatones en la vía (MTC, 2016). Como se aprecia en la figura A2.2, la señal de tránsito está rota y necesita reemplazarse.



Figura A2.2: Señal de tránsito rota

B.1.2. Radios de giro

El radio de giro del tramo canalizado es tan amplio que los vehículos, prácticamente, no reducen la velocidad al girar a la derecha.

Acceso Norte

B.4.3. Vehículos detenidos que obstruyen la visibilidad de los peatones

Existe un paradero en la avenida universitaria, al frente de la puerta 2 de la UNMSM, que está ubicado después del cruceo peatonal. De este modo los peatones que cruzan pueden ver sin problema si un vehículo se acerca. Sin embargo, los vehículos de transporte público no siempre respetan eso y paran a recoger pasajeros antes del cruceo, bloqueando la visibilidad. Incluso, algunos paran sobre el cruceo y bloquean el cruce como se muestra en las figuras A2.3 y A2.4.



Figura A2.3: Vehículo detenido antes del cruceo peatonal



Figura A2.4: Bus recogiendo pasajeros sobre el cruceo peatonal

B.7.1. Mantenimiento de los cruceos peatonales

En general, la pintura de los cruceos se encuentra gastada. En la fotografía que se muestra a continuación, se aprecia un cruceo peatonal con la pintura muy gastada.



Figura A2.5: Cruceo peatonal despintado

B.2.2. Pavimento del cruceo peatonal con grietas

El pavimento de los cruceos N°7 y N°4 presenta grietas (ver figura 4.1).



Figura A2.6: Grietas en el pavimento del cruceo peatonal N°7



Figura A2.7: Presencia de grietas en el pavimento del cruceo N°4

Intersección 2: Av. Universitaria con la Av. Benavides

A.8.1. Señales de tránsito

En este caso, existe un elemento de apoyo, pero no la señal de tránsito. Esta señal incompleta, que se muestra en la figura A2.8, se encuentra en el giro a la derecha canalizado desde la Av. Universitaria a la Av. Benavides.



Figura A2.8: Soporte de la señal de tránsito sin el mensaje

B.4.3. Vehículos detenidos que obstruyen la visibilidad de los peatones

En la Av. Benavides, existe un paradero informal: los buses paran a recoger pasajeros sin que exista la señalización adecuada. Como se aprecia en las figuras A2.9 y A2.10, las combis se detienen antes del cruceo y sobre este. Además, bloquean a los vehículos que vienen detrás.



Figura A2.9: Vehículo detenido antes del cruceo peatonal



Figura A2.10: Vehículo detenido sobre el cruceo

B.7.1. Mantenimiento de los cruces peatonales

En general, la pintura de los cruces peatonales se encuentra gastada. En la fotografía que se muestra a continuación, se aprecia un cruce peatonal con la pintura muy gastada. Es importante que tanto los cruces peatonales como las vías para ciclistas estén visibles en la intersección, ya que esto refuerza la presencia de los usuarios vulnerables frente a los automóviles.



Figura A2.11: La ciclovía y el cruce despintados

Intersección 3: Av. Universitaria con la Av. Argentina

Acceso Sur

A.2.3 Camino no adecuado para los peatones

En las figuras A2.12 y A2.13, se observa que no existe vereda, solo un camino hacia la intersección que no es cómodo ni accesible para todos los usuarios. Algunos peatones, por eso, prefieren caminar por la ciclovía.



Figuras A2.12 y A2.13: Camino inadecuado para los peatones

A.3.1 Continuidad de la vereda

En el mismo camino que el criterio anterior, un poco más adelante, existen tramos que presentan discontinuidades. Como se observa en la figura A2.14, los arbustos bloquean el paso a los peatones.



Figura A2.14: Bloqueo de la vereda

Acceso Norte

A.2.3 Mantenimiento de la vereda

En las figuras A2.16 y A2.17, se observa que la superficie de la vereda presenta irregularidades en diversos tramos, lo cual dificulta el tránsito de los usuarios vulnerables.

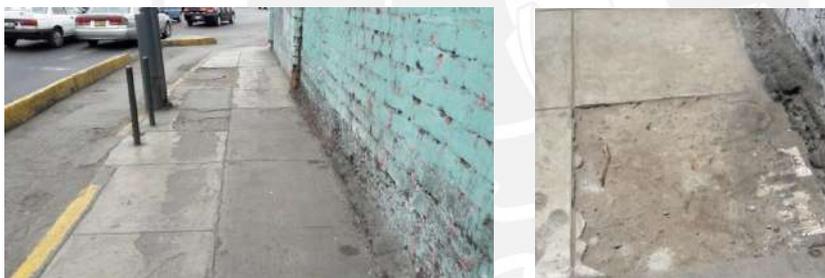


Figura A2.16 y A2.17: Vereda en mal estado

A.6.1 Señales de tránsito

En la siguiente imagen, se observa una señal de tránsito vertical incompleta, ya que solo está el soporte, pero no el mensaje.



Figura A2.18: Señal incompleta

B.6.1. Radios de giro y conflictos entre flujos

En tres cruces de la intersección, los usuarios vulnerables deben cruzar cautelosamente, ya que, no existen canalizaciones de giros ni fases especiales para los mismos. Por lo tanto, la fase que da el verde a los peatones es la misma que permite a los vehículos girar a la derecha y a la izquierda desde otros accesos. Esta condición, sumada al diseño de los radios de giro que no incentiva las velocidades bajas en los giros a la derecha, y al hecho que muchos conductores no respetan la prioridad del peatón, hace que este último no pueda cruzar de forma segura. Un ejemplo del punto de conflicto se muestra en la figura A2.19.

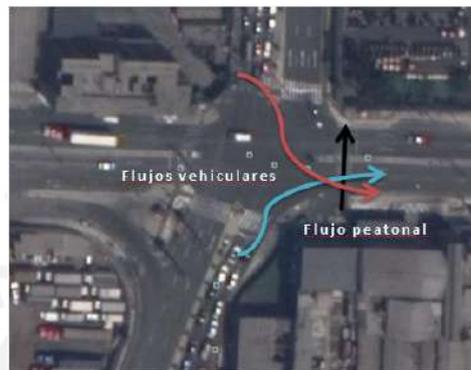


Figura A2.19: Conflictos entre flujos
Fuente: Google Earth (Adaptado)

Estos conflictos también se producen entre los flujos vehiculares, particularmente entre los vehículos que van de frente y los que giran a la izquierda desde accesos opuestos.

Aforo vehicular de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Venezuela - Acceso Oeste

INTERSECCION: AV UNIVERSITARIA - AV VENEZUELA

DIA : MIERCOLES

APROXIMACION O-E: AV VENEZUELA

FECHA: 23/05/2018
DISTRITO: CERCADO DE LIMA

HORAS DE CONTROL	AUTOS				T. INTERPROVINCIAL				T. PERSONAL				BUS				MICROS				C. RURAL.				CAMION				MOTO				MOTOTAXI				CAMION >2E				TOTAL X 1/4 HORA	suma horaria
	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A	40	41	42	42A		
7:00-7:15	23	14		86						1					1	6		3	12		13	2		1	1		1								1	167						
7:15-7:30	26	21		58											1	3		1	2	18		15	1		3	2		1								1	152					
7:30-7:45	24	29		76											2	3		6	11		22	1		5	1		3									3	183					
7:45-8:00	32	25		55											2	4		1	5	8		16	2		4	3		2								2	159	661				
8:00-8:15	39	27		94											3	3		1	4	13		20	3		4	1		9								9	225	719				
8:15-8:30	46	24		69											2	3		1	4			23	1			1	1										3	175	742			
8:30-8:45	31	22		91											3	7		4	10			20	3		2	3	1	1	3							1	202	761				
8:45-9:00	39	13		83											2	4		1	11			21	6		2	5	2	2									1	191	793			
9:00-9:15																																						0	568			
9:15-9:30																																						0	393			
9:30-9:45																																						0	191			
9:45-10:00																																						0	0			
10:00-10:15																																						0	0			
10:15-10:30																																						0	0			
10:30-10:45																																						0	0			
10:45-11:00																																						0	0			
11:00-11:15																																						0	0			
11:15-11:30																																						0	0			
11:30-11:45																																						0	0			
11:45-12:00																																						0	0			
12:00-12:15																																						0	0			
12:15-12:30																																						0	0			
12:30-12:45																																						0	0			
12:45-13:00																																						0	0			
13:00-13:15																																						0	0			
13:15-13:30																																						0	0			
13:30-13:45																																						0	0			
13:45-14:00																																						0	0			
14:00-14:15																																						0	0			
14:15-14:30																																						0	0			
14:30-14:45																																						0	0			
15:00-15:15																																						0	0			
15:15-15:30																																						0	0			
15:30-15:45																																						0	0			
15:45-16:00																																						0	0			
16:00-16:15																																						0	0			
16:15-16:30																																						0	0			
16:30-16:45																																						0	0			
16:45-17:00																																						0	0			
17:00-17:15																																						0	0			
17:15-17:30																																						0	0			
17:30-17:45																																						0	0			
17:45-18:00																																						0	0			
18:00-18:15																																						0	0			
18:15-18:30																																						0	0			
18:30-18:45																																						0	0			
18:45-19:00																																						0	0			
19:00-19:15																																						0	0			
19:15-19:30																																						0	0			
19:30-19:45																																						0	0			
19:45-20:00																																						0	0			
20:00-20:15																																						0	0			
20:15-20:30																																						0	0			
20:30-20:45																																						0	0			
20:45-21:00																																						0	0			
H.P.A.M	155	86	0	337	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	10	0	17	1	10	0	38	0	84	0	13	8	0	0	12	3	4	0	14	0	0	0	0	1	793	793		

Aforo vehicular de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Benavides - Acceso Norte y suma total

INTERSECCION: AV UNIVERSITARIA - AV BENAVIDES

DIA : MIERCOLES

APROXIMACION N-S: AV UNIVERSITARIA

FECHA: 23/05/2018
DISTRITO: CERCADO DE LIMA

HORAS DE CONTROL	AUTOS				T. INTERPROVINCIAL				T. PERSONAL				BUS				MICROS				C. RURAL.				CAMION				MOTO				MOTOTAXI				CAMION >2E				TOTAL x 1/4 HORA	suma horaria	GRAN TOTAL	SUMA HORARIA
	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13								
7:00-7:15	245	3	25	2								4				50		1					8		2	1	9	2		1				370		843								
7:15-7:30	248	5	34	11								9				47			1				4		1	3	1	18		1	1			387		970								
7:30-7:45	241		31	12								12				42		1	1				14		1		26		2	6			392		1134									
7:45-8:00	229	9	17	6							1	15				41		1					9		1		28		2	1			360	1509	1010	3957								
8:00-8:15	197	16	22							1	7				32		1		2			4		1		25		5	2			315	1454	945	4059									
8:15-8:30	249	18	25	2								10				35		1	3				7		1		30		8	3			395	1462	984	4073								
8:30-8:45	224	10	26	1							2	11				50		2		2			7		2		32		9	1			382	1452	936	3875								
8:45-9:00	266	9	25	2								16				38			2				2		1		35		7				405	1497	1043	3908								
9:00-9:15																																		0	1182	0	2963							
9:15-9:30																																		0	787	0	1979							
9:30-9:45																																		0	405	0	1043							
9:45-10:00																																		0	0	0	0							
10:00-10:15																																		0	0	0	0							
10:15-10:30																																		0	0	0	0							
10:30-10:45																																		0	0	0	0							
10:45-11:00																																		0	0	0	0							
11:00-11:15																																		0	0	0	0							
11:15-11:30																																		0	0	0	0							
11:30-11:45																																		0	0	0	0							
11:45-12:00																																		0	0	0	0							
12:00-12:15																																		0	0	0	0							
12:15-12:30																																		0	0	0	0							
12:30-12:45																																		0	0	0	0							
12:45-13:00																																		0	0	0	0							
13:00-13:15																																		0	0	0	0							
13:15-13:30																																		0	0	0	0							
13:30-13:45																																		0	0	0	0							
13:45-14:00																																		0	0	0	0							
14:00-14:15																																		0	0	0	0							
14:15-14:30																																		0	0	0	0							
14:30-14:45																																		0	0	0	0							
14:45-15:00																																		0	0	0	0							
15:00-15:15																																		0	0	0	0							
15:15-15:30																																		0	0	0	0							
15:30-15:45																																		0	0	0	0							
15:45-16:00																																		0	0	0	0							
16:00-16:15																																		0	0	0	0							
16:15-16:30																																		0	0	0	0							
16:30-16:45																																		0	0	0	0							
16:45-17:00																																		0	0	0	0							
17:00-17:15																																		0	0	0	0							
17:15-17:30																																		0	0	0	0							
17:30-17:45																																		0	0	0	0							
17:45-18:00																																		0	0	0	0							
18:00-18:15																																		0	0	0	0							
18:15-18:30																																		0	0	0	0							
18:30-18:45																																		0	0	0	0							
18:45-19:00																																		0	0	0	0							
19:00-19:15																																		0	0	0	0							
19:15-19:30																																		0	0	0	0							
19:30-19:45																																		0	0	0	0							
19:45-20:00																																		0	0	0	0							
20:00-20:15																																		0	0	0	0							
20:15-20:30																																		0	0	0	0							
20:30-20:45																																		0	0	0	0							
20:45-21:00																																		0	0	0	0							
H.P.A.M	916	43	95	20	0	0	0	0	1	1	0	0	44	0	0	0	150	0	4	0	6	0	0	0	34	0	4	0	109	17	12	0	1	2	1	1	1	0	0	0	3006		7865	

Aforo vehicular de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Argentina - Acceso Norte y suma total

INTERSECCION: AV. UNIVERSITARIA - AV. ARGENTINA

FECHA: 23/05/2018

DIA : MIERCOLES

APROXIMACION N-S: AV UNIVERSITARIA

DISTRITO: CERCADO DE LIMA

HORAS DE CONTROL	AUTOS				T. INTERPROVINCIAL				T. PERSONAL				BUS				MICROS				C. RURAL				CAMION				MOTO				MOTOTAXI				CAMION >2E				TOTAL X 1/4 HORA	suma horaria	GRAN TOTAL	SUMA HORARIA				
	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13	10	11	12	13												
7:00-7:15	39	351	11											3						7															526		1079											
7:15-7:30	37	281	9											1						7															435		1037											
7:30-7:45	32	359	15											1	1					14															542		1210											
7:45-8:00	30	304	11																	11															453	1956	1083	4409										
8:00-8:15	24	282	16											1						8															424	1854	971	4301										
8:15-8:30	29	313	16																	11															476	1895	1014	4278										
8:30-8:45	33	320	20											1						14															529	1882	1118	4186										
8:45-9:00	32	325	21											1						10															495	1924	1093	4196										
9:00-9:15																																			0	1500	0	3225										
9:15-9:30																																			0	1024	0	2211										
9:30-9:45																																			0	495	0	1093										
9:45-10:00																																			0	0	0	0										
10:00-10:15																																			0	0	0	0										
10:15-10:30																																			0	0	0	0										
10:30-10:45																																			0	0	0	0										
10:45-11:00																																			0	0	0	0										
11:00-11:15																																			0	0	0	0										
11:15-11:30																																			0	0	0	0										
11:30-11:45																																			0	0	0	0										
11:45-12:00																																			0	0	0	0										
12:00-12:15																																			0	0	0	0										
12:15-12:30																																			0	0	0	0										
12:30-12:45																																			0	0	0	0										
12:45-13:00																																			0	0	0	0										
13:00-13:15																																			0	0	0	0										
13:15-13:30																																			0	0	0	0										
13:30-13:45																																			0	0	0	0										
13:45-14:00																																			0	0	0	0										
14:00-14:15																																			0	0	0	0										
14:15-14:30																																			0	0	0	0										
14:30-14:45																																			0	0	0	0										
14:45-15:00																																			0	0	0	0										
15:00-15:15																																			0	0	0	0										
15:15-15:30																																			0	0	0	0										
15:30-15:45																																			0	0	0	0										
15:45-16:00																																			0	0	0	0										
16:00-16:15																																			0	0	0	0										
16:15-16:30																																			0	0	0	0										
16:30-16:45																																			0	0	0	0										
16:45-17:00																																			0	0	0	0										
17:00-17:15																																			0	0	0	0										
17:15-17:30																																			0	0	0	0										
17:30-17:45																																			0	0	0	0										
17:45-18:00																																			0	0	0	0										
18:00-18:15																																			0	0	0	0										
18:15-18:30																																			0	0	0	0										
18:30-18:45																																			0	0	0	0										
18:45-19:00																																			0	0	0	0										
19:00-19:15																																			0	0	0	0										
19:15-19:30																																			0	0	0	0										
19:30-19:45																																			0	0	0	0										
19:45-20:00																																			0	0	0	0										
20:00-20:15																																			0	0	0	0										
20:15-20:30																																			0	0	0	0										
20:30-20:45																																			0	0	0	0										
20:45-21:00																																			0	0	0	0										
H.P.A.M	138	1295	46	0	0	0	0	0	0	0	2	1	0	0	35	0	0	0	0	211	0	0	0	0	0	26	0	0	15	27	2	0	9	126	8	0	0	9	0	0	4	0	2	0	3880			

Aforo vehicular de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Argentina - Acceso Sur

INTERSECCION: AV. UNIVERSITARIA - AV. ARGENTINA

DIA : MIERCOLES

APROXIMACION S-N: AV UNIVERSITARIA

FECHA: 23/05/2018
DISTRITO: CERCADO DE LIMA

HORAS DE CONTROL	AUTOS			T. INTERPROVINCIAL				T. PERSONAL				BUS				MICROS				C. RURAL.				CAMION				MOTO				MOTOTAXI				CAMION >2E				TOTAL X 1/4 HORA	suma horaria
	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22	23	20	21	22		
7:00-7:15	9	168	13					1				3			31			7	6	1	3			17			2			1					262						
7:15-7:30	17	198	18					1				4			38			14	5		3	4		8			5					2			317						
7:30-7:45	23	238	19									6			33			5	7		8	2		2	12		5	1		1	1				363						
7:45-8:00	20	229	21					1	1			3			28			3	4		7			2	15	1									335	1277					
8:00-8:15	18	180	20									1			34			1			8			1	12	1		6							282	1297					
8:15-8:30	17	200	19									5			33			3	2		8	3		12			3								305	1285					
8:30-8:45	17	234	20									6			33			1			4	2		9	2		1								329	1251					
8:45-9:00	13	199	12									11			50			3			14			13						1	1				319	1235					
9:00-9:15																																			0	953					
9:15-9:30																																			0	648					
9:30-9:45																																			0	319					
9:45-10:00																																			0	0					
10:00-10:15																																			0	0					
10:15-10:30																																			0	0					
10:30-10:45																																			0	0					
10:45-11:00																																			0	0					
11:00-11:15																																			0	0					
11:15-11:30																																			0	0					
11:30-11:45																																			0	0					
11:45-12:00																																			0	0					
12:00-12:15																																			0	0					
12:15-12:30																																			0	0					
12:30-12:45																																			0	0					
12:45-13:00																																			0	0					
13:00-13:15																																			0	0					
13:15-13:30																																			0	0					
13:30-13:45																																			0	0					
13:45-14:00																																			0	0					
14:00-14:15																																			0	0					
14:15-14:30																																			0	0					
14:30-14:45																																			0	0					
14:45-15:00																																			0	0					
15:00-15:15																																			0	0					
15:15-15:30																																			0	0					
15:30-15:45																																			0	0					
15:45-16:00																																			0	0					
16:00-16:15																																			0	0					
16:15-16:30																																			0	0					
16:30-16:45																																			0	0					
16:45-17:00																																			0	0					
17:00-17:15																																			0	0					
17:15-17:30																																			0	0					
17:30-17:45																																			0	0					
17:45-18:00																																			0	0					
18:00-18:15																																			0	0					
18:15-18:30																																			0	0					
18:30-18:45																																			0	0					
18:45-19:00																																			0	0					
19:00-19:15																																			0	0					
19:15-19:30																																			0	0					
19:30-19:45																																			0	0					
19:45-20:00																																			0	0					
20:00-20:15																																			0	0					
20:15-20:30																																			0	0					
20:30-20:45																																			0	0					
20:45-21:00																																			0	0					
H.P A.M	69	833	71	0	0	0	0	0	1	3	0	0	0	16	0	0	0	29	22	0	1	21	6	0	4	52	1	0	0	12	1	0	2	3	0	0	2512				

Aforo vehicular de la intersección de la Av. Universitaria con la Av. Argentina - Acceso Este

INTERSECCION: AV. UNIVERSITARIA - AV. ARGENTINA

DIA : MIERCOLES

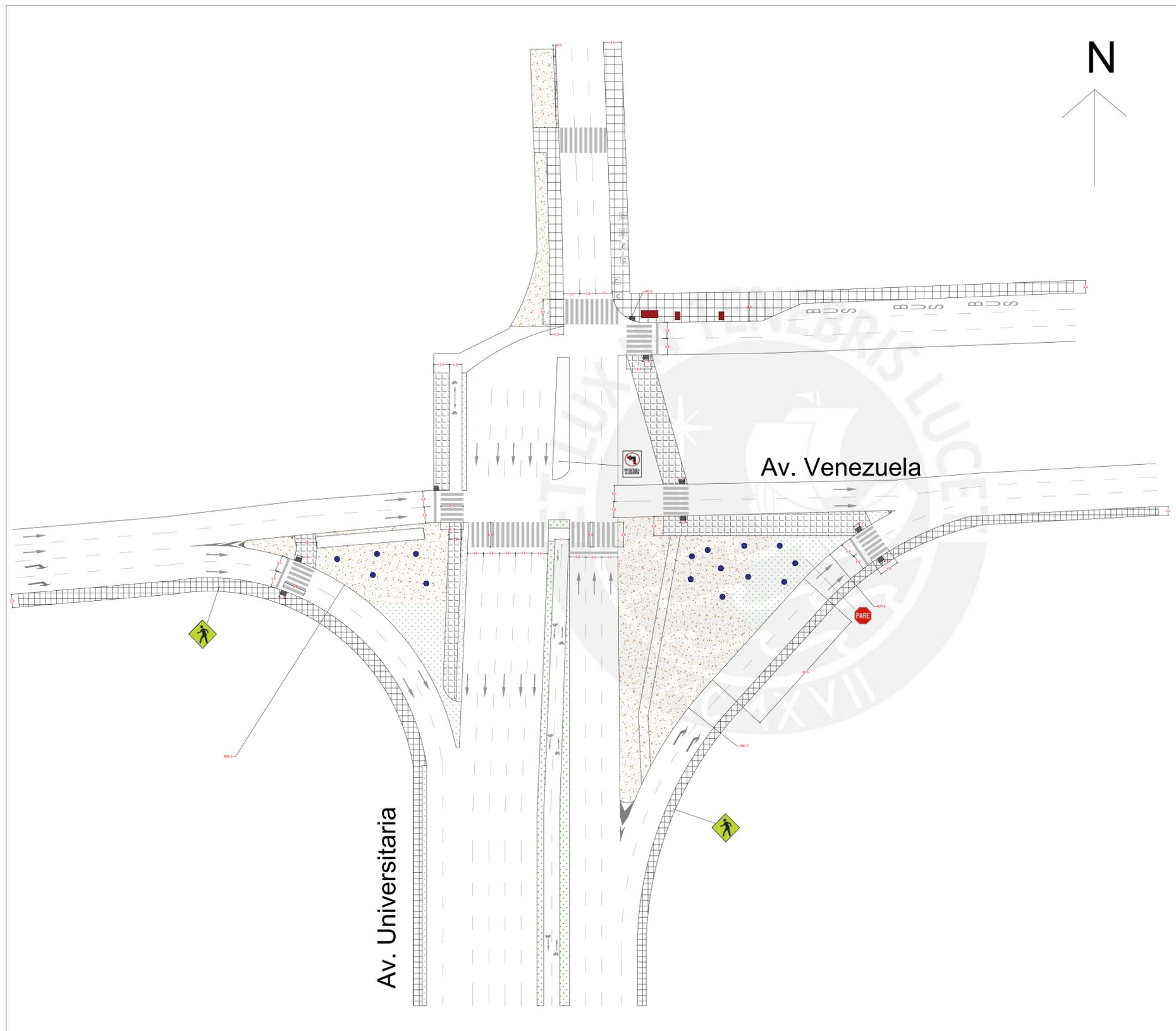
APROXIMACION E-O: AV ARGENTINA

FECHA: 23/05/2018
DISTRITO: CERCADO DE LIMA

HORAS DE CONTROL	AUTOS				T. INTERPROVINCIAL				T. PERSONAL				BUS				MICROS				C. RURAL				CAMION				MOTO				MOTOTAXI				CAMION >2E				TOTAL X 1/4 HORA	suma horaria		
	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33	30	31	32	33				
7:00-7:15	10	64	8								4							1			38			1	10	1										9			154					
7:15-7:30	7	53	6															1			41			3	10	2										7			132					
7:30-7:45	4	40	11																	51			3	11												5			132					
7:45-8:00		50	19								1									35				10	1											5	1		130	548				
8:00-8:15		37	4																	30				9	3										6			99	493					
8:15-8:30	2	36	7																	36				4											6			101	462					
8:30-8:45		49	8								1									48				4	2										7			123	453					
8:45-9:00	2	38	16																	35				13	1										7			119	442					
9:00-9:15																																						0	343					
9:15-9:30																																						0	242					
9:30-9:45																																						0	119					
9:45-10:00																																						0	0					
10:00-10:15																																						0	0					
10:15-10:30																																						0	0					
10:30-10:45																																						0	0					
10:45-11:00																																						0	0					
11:00-11:15																																						0	0					
11:15-11:30																																						0	0					
11:30-11:45																																						0	0					
11:45-12:00																																						0	0					
12:00-12:15																																						0	0					
12:15-12:30																																						0	0					
12:30-12:45																																						0	0					
12:45-13:00																																						0	0					
13:00-13:15																																						0	0					
13:15-13:30																																						0	0					
13:30-13:45																																						0	0					
13:45-14:00																																						0	0					
14:00-14:15																																						0	0					
14:15-14:30																																						0	0					
14:30-14:45																																						0	0					
14:45-15:00																																						0	0					
15:00-15:15																																						0	0					
15:15-15:30																																						0	0					
15:30-15:45																																						0	0					
15:45-16:00																																						0	0					
16:00-16:15																																						0	0					
16:15-16:30																																						0	0					
16:30-16:45																																						0	0					
16:45-17:00																																						0	0					
17:00-17:15																																						0	0					
17:15-17:30																																						0	0					
17:30-17:45																																						0	0					
17:45-18:00																																						0	0					
18:00-18:15																																						0	0					
18:15-18:30																																						0	0					
18:30-18:45																																						0	0					
18:45-19:00																																						0	0					
19:00-19:15																																						0	0					
19:15-19:30																																						0	0					
19:30-19:45																																						0	0					
19:45-20:00																																						0	0					
20:00-20:15																																						0	0					
20:15-20:30																																						0	0					
20:30-20:45																																						0	0					
20:45-21:00																																						0	0					
H.P.A.M	21	207	44	0	0	0	0	0	0	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	165	0	0	7	41	4	0	0	23	0	0	0	2	0	0	0	26	1	0	990	

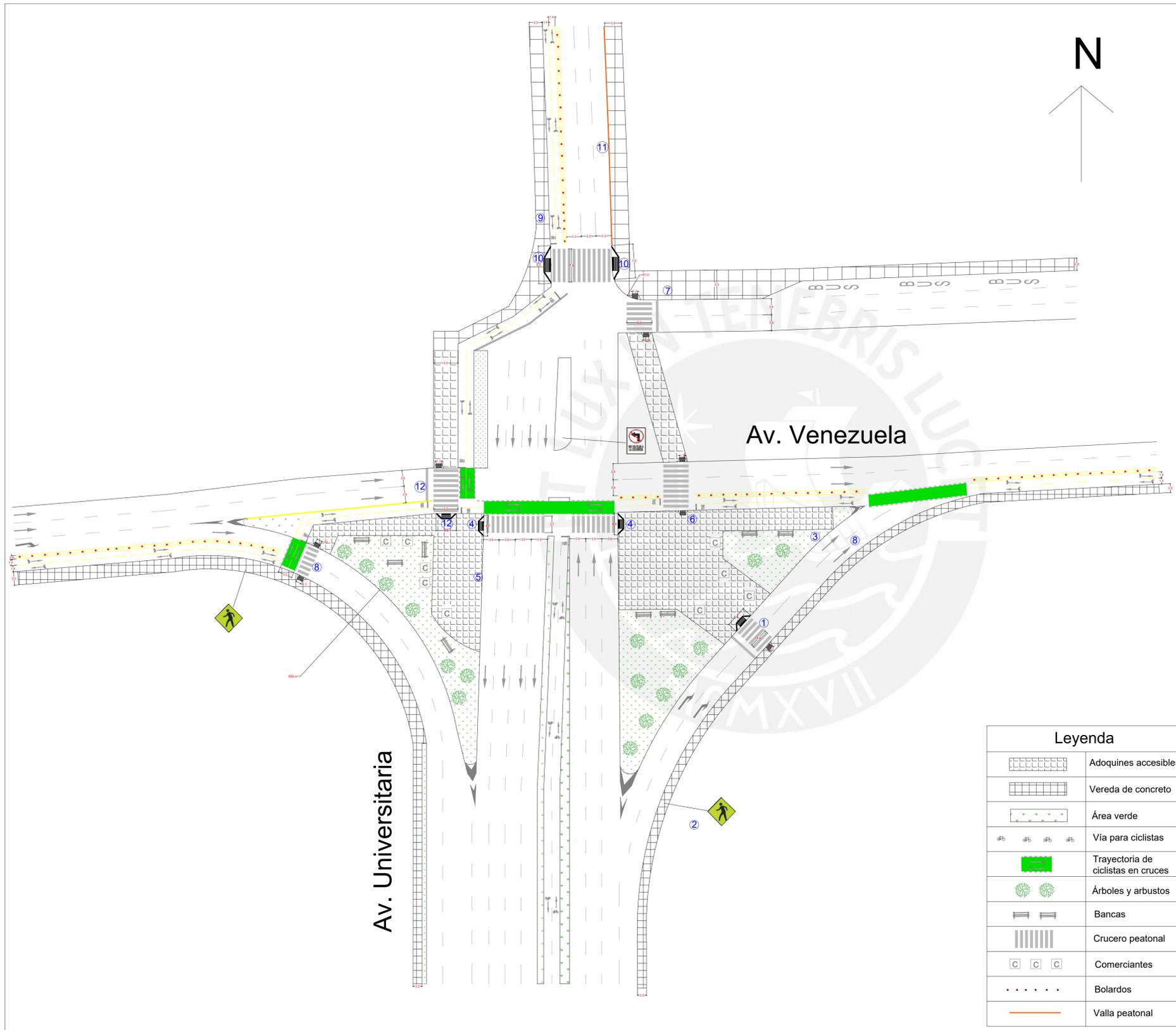
Anexo 4: Determinación de factores de ajuste por giros a la izquierda permitidos - Intersección 3

	Grupo de carriles 1	Grupo de carriles 2	Grupo de carriles 3	Grupo de carriles 4
	Acceso Sur	Acceso Este	Acceso Oeste	Acceso Norte
DATOS DE ENTRADA				
Longitud del ciclo, C (s)	170			
Tiempo de verde real para el grupo de carriles LT, G (s)	104	60	60	104
Tiempo de verde efectivo para el grupo de carriles LT, g (s)	106	62	62	106
Tiempo de verde efectivo del flujo opuesto, go (s)	106	62	62	106
Número de carriles en el grupo de carriles LT, N	2	2	2	3
Número de carriles en el acceso opuesto, No	3	2	2	2
Tasa de flujo LT ajustado, vLT (veh/h)	88	31	22	184
Proporción del volumen LT en el grupo de carriles LT, PLT	0.06	0.051	0.034	0.085
Tasa de flujo ajustada para el acceso opuesto, vo (veh/h)	2173	652	616	1451
Tiempo perdido para el grupo de carriles LT, tL	1	1	1	1
CÁLCULOS				
Volumen LT por ciclo, LTC=vLT*C/3600	4.156	1.464	1.039	8.689
Factor de utilización de carril para acceso opuesto fLUo	0.908	0.952	0.952	0.952
Flujo opuesto por carril, por ciclo volc=vo*C/(3600*No*fLUo)	37.670	16.171	15.278	35.987
$gf=G[e^{-(0.882(LTC^{(0.717)}))}]-tL$ $gf \leq g$	7.982	17.825	23.237	0.629
Relación de pelotón del acceso opuesto, Rpo	1	1	1	1
Relación de cola del acceso opuesto, qro=max[1-Rpo(go/C), 0]	0.376	0.635	0.635	0.376
$gq=[volc*qro/[0.5-(volc*(1-qro)/go)]]-tL$, volc(1-qro)/go≤0.49	50.938	25.373	23.665	46.991
$gu=g-gq$ si $gq \geq gf$, o $gu=g-gf$ si $gq < gf$	55.062	36.627	38.335	59.009
Factor de equivalencia para giros a la izquierda, EL1	14.0	2.8	2.6	5.8
$PL=PLT*[1+(N-1)g/(gf+(gu/EL1)+4.24)]$	0.454	0.141	0.084	1.283
$fmin=2*(1+PL)/g$	0.027	0.037	0.035	0.043
$fm=[gf/g]+[gu/g]*[1/(1+PL(EL1-1))]$, (fmin≤fm≤1.00)	0.151	0.759	0.920	0.084
$fLt=[fm+0.91(N-1)]/N$	0.530	0.834	0.915	0.635



Leyenda	
	Adoquines accesibles
	Vereda de concreto
	Área verde
	Vía para ciclistas
	Camino no pavimentado
	Pilares del puente
	Crucero peatonal
	Comerciantes
	Bloques de concreto

Proyecto Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina	
Anexo 5 Estado actual de la intersección de las avenidas Universitaria y Venezuela	
Autor Luis Saavedra Vásquez	E-1
Código 20130564	
Escala: 1/500	Fecha: Diciembre 2020



Resumen de las medidas de mejora

①	Traslado del cruceo peatonal a la línea de deseo.
②	Reemplazo de señal de tránsito rota.
③	Retiro de señal de Pare en cruce semaforizado.
④	Ejecución de adoquines accesibles y rampas inclusivas para acceder al cruceo peatonal.
⑤	Aumento del espacio público peatonal en la isla de refugio.
⑥	Separación de flujos peatonales en islas de refugio y flujos vehiculares en la Av. Venezuela que desincentiva el uso del paradero informal.
⑦	Retiro de bloques de concreto armado de la vereda.
⑧	Mantenimiento del pavimento de los cruceos peatonales.
⑨	Ejecución de la vereda en tramo colindante a UNMSM.
⑩	Ejecución de rampas inclusivas.
⑪	Retiro de cruceo peatonal inseguro y colocación de vallas peatonales.
⑫	Reubicación de línea de parada, así como aumento del ancho del cruceo peatonal.
⑬	Arreglar semáforos peatonales existentes en la intersección.
⑭	Implementación de tramos de ciclovía en ambas avenidas, así como facilidades en los cruces.
⑮	Reubicación de los comerciantes que ocupan la vereda al espacio público disponible en las islas canalizadoras.

Leyenda

	Adoquines accesibles
	Vereda de concreto
	Área verde
	Vía para ciclistas
	Trayectoria de ciclistas en cruces
	Árboles y arbustos
	Bancas
	Crucero peatonal
	Comerciantes
	Bolardos
	Valla peatonal

Proyecto

Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina

Anexo 6

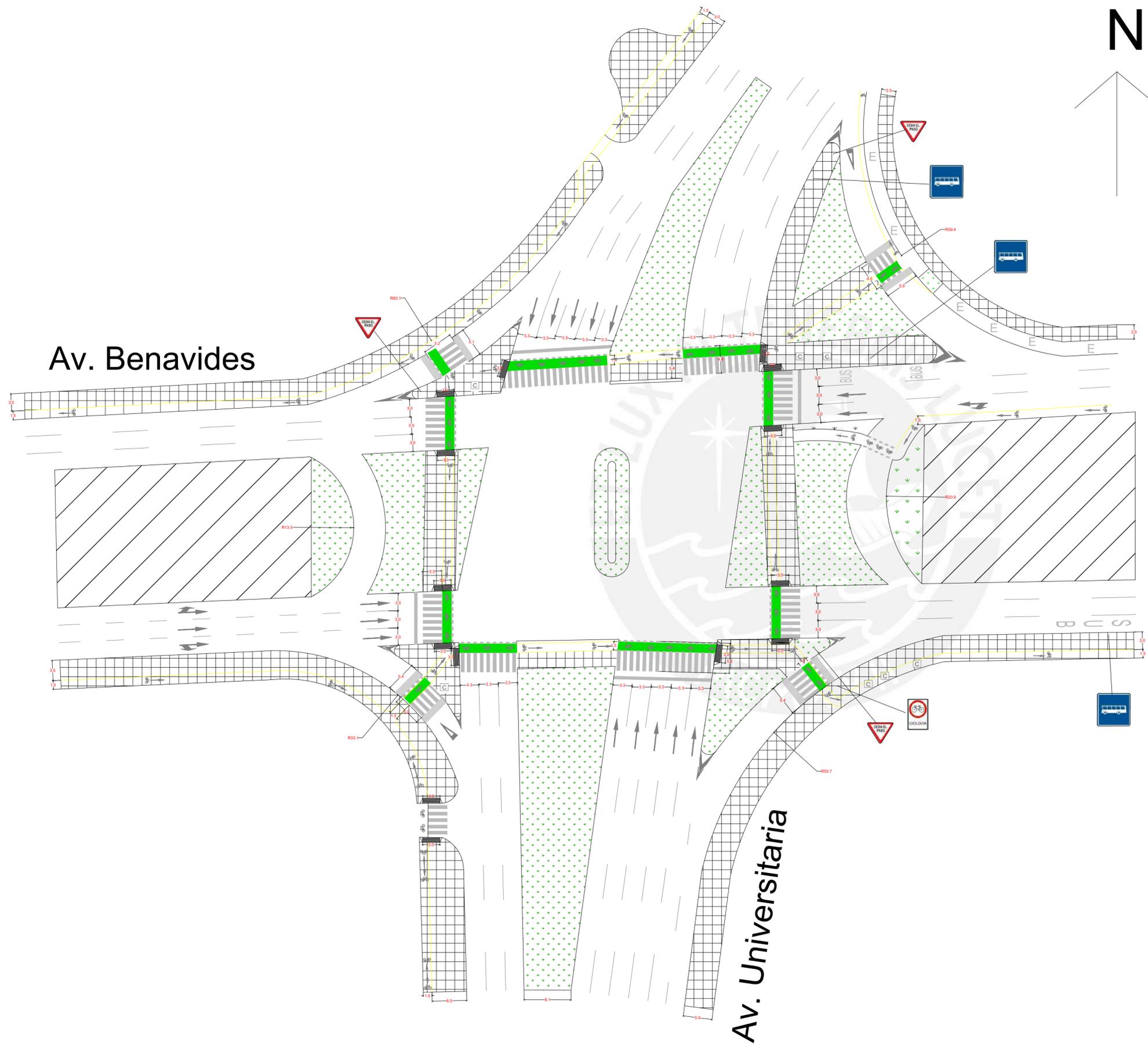
Propuesta de rediseño de la intersección de las avenidas Universitaria y Venezuela

Autor
Luis Saavedra Vásquez

D-1

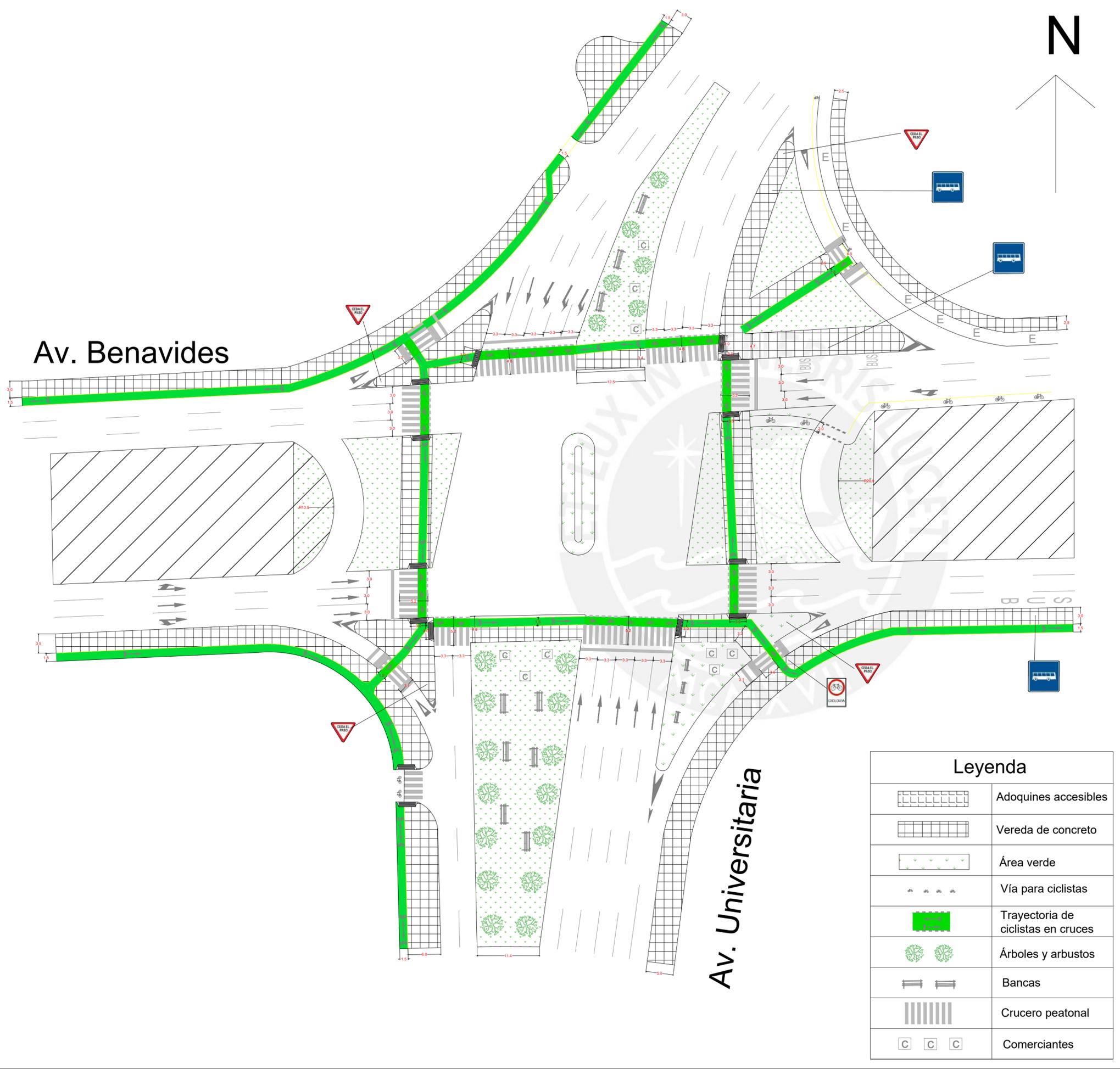
Código
20130564

Escala: 1/500 Fecha: Diciembre 2020

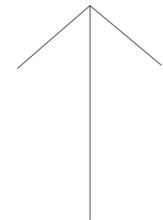


Leyenda	
	Adoquines accesibles
	Vereda de concreto
	Área verde
	Vía para ciclistas
	Trayectoria de ciclistas en cruces
	Crucero peatonal
	Comerciantes

Proyecto	
Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina	
Anexo 7	
Estado actual de la intersección de las avenidas Universitaria y Benavides	
Autor	E-2
Luis Saavedra Vásquez	
Código	
20130564	
Escala: 1/500	Fecha: Diciembre 2020



N



Av. Benavides

Av. Universitaria

Leyenda	
	Adoquines accesibles
	Vereda de concreto
	Área verde
	Vía para ciclistas
	Trayectoria de ciclistas en cruces
	Árboles y arbustos
	Bancas
	Crucero peatonal
	Comerciantes

Resumen de las medidas de mejora

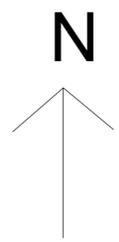
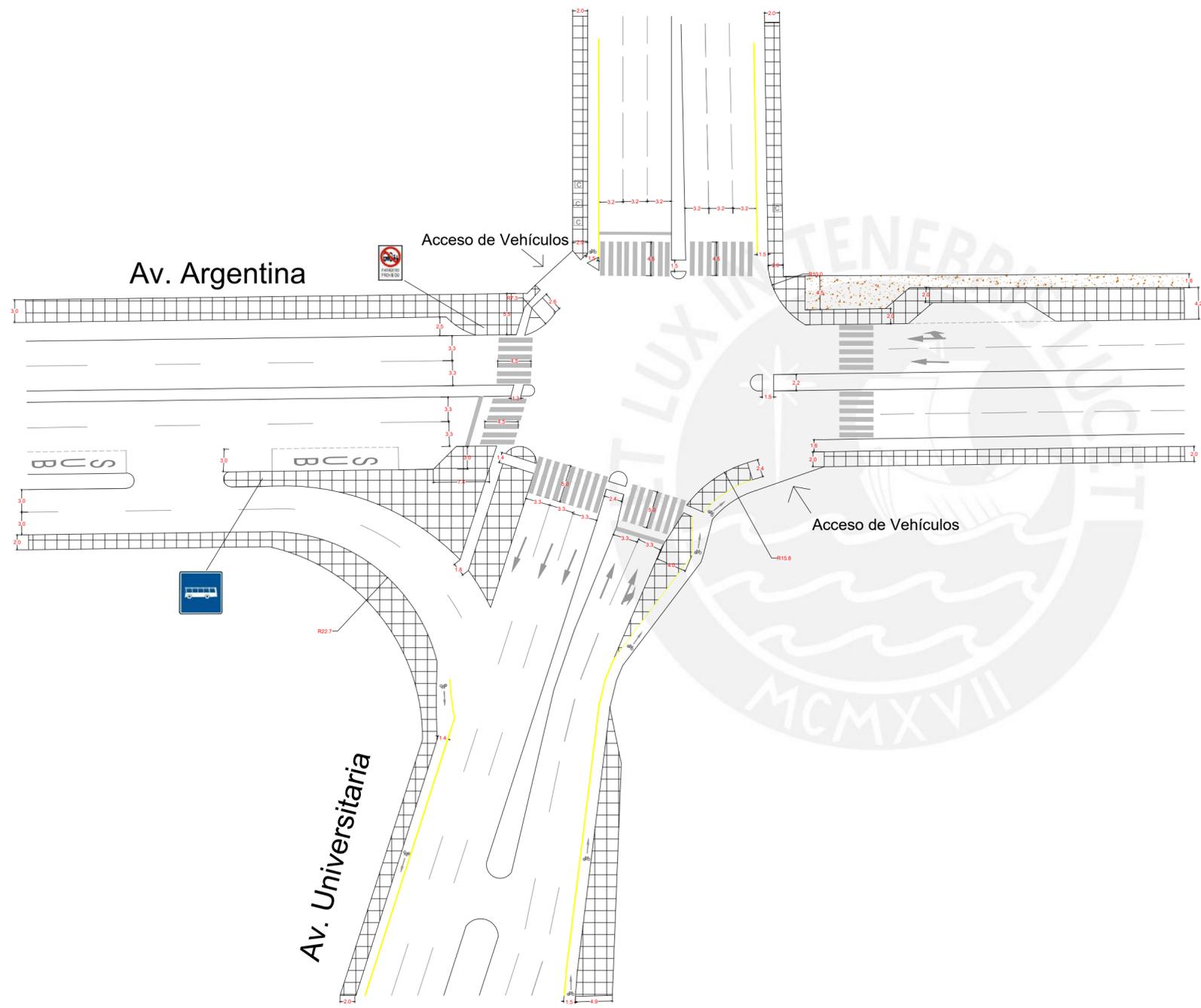
①	Reducir el ciclo del semáforo de 180 a 90 segundos.
②	Reducción del ancho de vía en los giros canalizados e implementación de línea de parada.
③	Pintar la vía para ciclistas en los tramos que sea del tipo acera-bici.
④	Retirar obstáculos cerca a las esquinas para asegurar la visibilidad de los usuarios en los cruces.
⑤	Arreglar los semáforos peatonales inoperativos.
⑥	Reubicación de los comerciantes en espacios disponibles en islas canalizadoras y aprovechamiento de espacio en bermas centrales.

Proyecto
 Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina

Anexo 8
 Propuesta de rediseño de la intersección de las avenidas Universitaria y Benavides

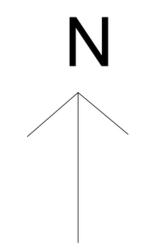
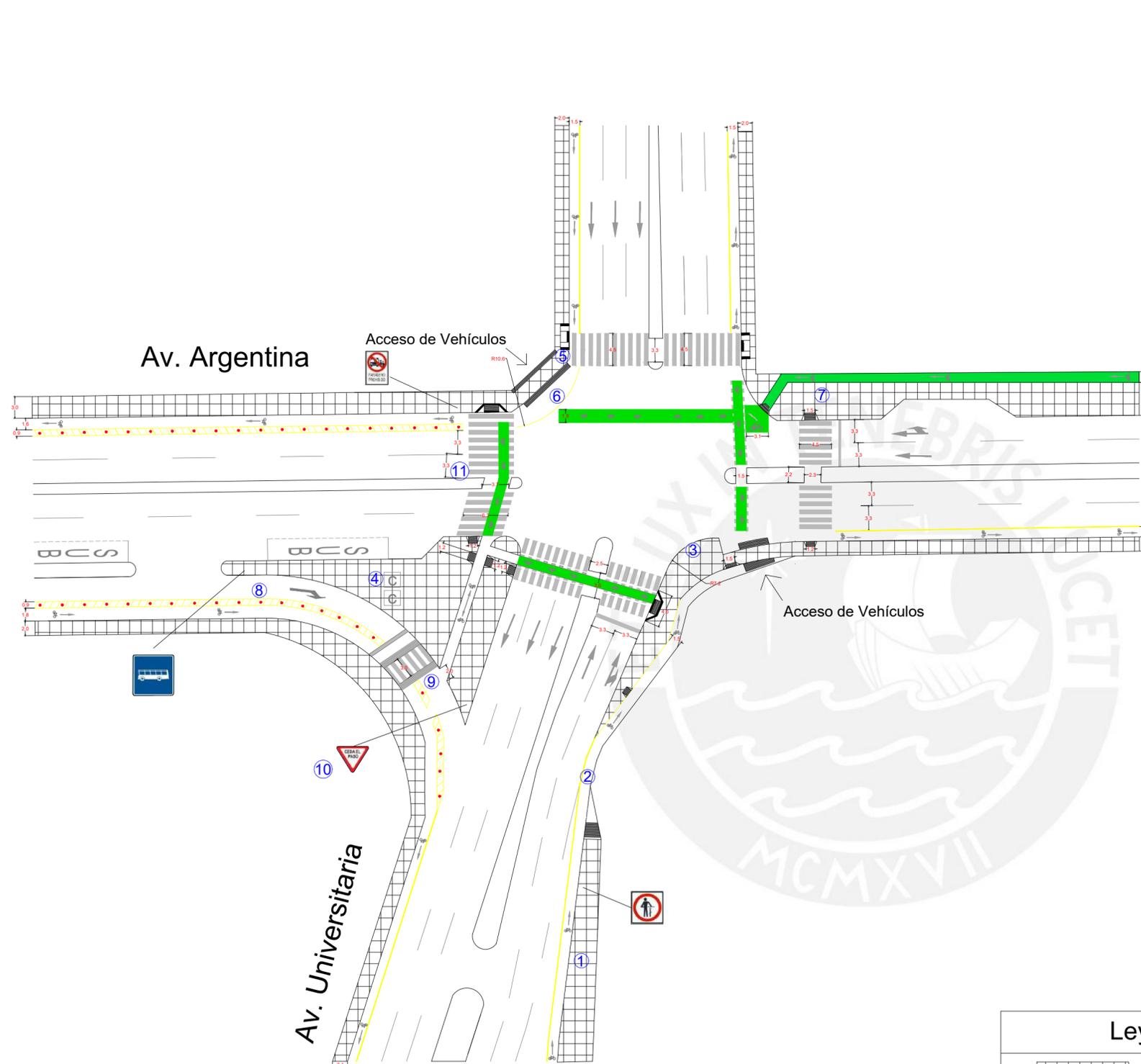
Autor Luis Saavedra Vásquez	D-2
Código 20130564	

Escala: 1/500 Fecha: Diciembre 2020



Leyenda	
	Adoquines accesibles
	Vereda de concreto
	Área verde
	Vía para ciclistas
	Camino no pavimentado
	Sardinel
	Crucero peatonal
	Comerciantes

Proyecto Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina	
Anexo 9 Estado actual de la intersección de las avenidas Universitaria y Argentina	
Autor Luis Saavedra Vásquez	E-3
Código 20130564	
Escala: 1/500	Fecha: Diciembre 2020



Leyenda	
	Vereda de concreto
	Vía para ciclistas
	Trayectoria de ciclistas en cruces
	Cruce peatonal
	Comerciantes
	Bolardos
	Sardinel

Resumen de las medidas de mejora

①	Ejecución de vereda de concreto armado en el acceso a la intersección.
②	Asegurar la continuidad de la vereda.
③	Aumentar el área de la esquina para los peatones, lo cual, también, reduce el radio de giro para los vehículos.
④	Reubicación de comerciantes que ocupan la vereda de solo 2 metros de ancho al espacio público disponible en la isla canalizadora.
⑤	Reparación de la vereda cerca a las esquinas.
⑥	Definir el radio de giro en la esquina por medio de marcas en el pavimento.
⑦	Completar la vereda en todo el ancho disponible e incluir una acera bici en el extremo derecho.
⑧	Utilizar el carril derecho del giro canalizado a la derecha para implementar un carril bici segregado del tráfico vehicular en 1 metro y proteger la vía con bolardos.
⑨	Implementar un cruce peatonal elevado.
⑩	Colocar una señal vertical de Ceda el paso.
⑪	Aumento del ancho del cruce peatonal.
⑫	Repintar las marcas en el pavimento, en particular, las de los pasos de cebra, que se encuentran muy despintados.
⑬	Ejecutar rampas en todos los cruces.
⑭	Reducir el ciclo del semáforo a 90 segundos y restringir los giros a la izquierda en la Av. Universitaria en las horas punta.
⑮	Dar continuidad a la vereda en las esquinas donde se ubican los accesos de vehículos.
⑯	Implementar facilidades para ciclistas en los cruces y tramos de ciclovia en la Av. Argentina aprovechando espacios inutilizados.

Proyecto
 Análisis y rediseño de las intersecciones de la Av. Universitaria entre las avenidas Venezuela y Argentina

Anexo 10
 Propuesta de rediseño de la intersección de las avenidas Universitaria y Argentina

Autor
 Luis Saavedra Vásquez
Código
 20130564

D-3

Escala: 1/500 **Fecha:** Diciembre 2020

Anexo 11: Presupuesto estimado para implementar las medidas de solución en la intersección de las avenidas Universitaria y Venezuela

Presupuesto

Presupuesto	REDISEÑO DE LA INTERSECCIÓN DE LAS AVENIDAS UNIVERSITARIA CON VENEZUELA				
Proyecto	ANÁLISIS Y REDISEÑO DE LAS INTERSECCIONES DE LA AVENIDA UNIVERSITARIA ENTRE LAS AVENIDAS VENEZUELA Y ARGENTINA				
Lugar	LIMA - PERÚ				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
101	OBRAS PRELIMINARES Y PROVISIONALES				9,590.00
101.1	CARTEL DE OBRA	und	1.00	590.00	590.00
101.2	MOVILIZACIÓN Y DESMOVILIZACIÓN DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	1,500.00	1,500.00
101.3	MANTENIMIENTO DE TRÁNSITO	glb	1.00	2,500.00	2,500.00
101.4	TOPOGRAFÍA PERMANENTE EN OBRA	glb	1.00	5,000.00	5,000.00
102	ACCESO SUR				2,045.41
102.A	CRUCERO PEATONAL EN LÍNEA DE DESEO				1,516.04
102.A.1	PINTURA DE CRUCERO PEATONAL	m2	18.72	18.30	342.58
102.A.2	TRASLADO DE SEMÁFORO EXISTENTE	und	1.00	200.00	200.00
102.A.3	DEMOLICIÓN DE VEREDAS DE CONCRETO	m2	8.25	11.27	92.98
102.A.4	ELIMINACIÓN DE MATERIAL DEMOLIDO	m3	1.65	30.52	50.36
102.A.5	EJECUCIÓN DE RAMPAS PEATONALES	m3	1.00	478.00	478.00
102.A.6	SEÑAL DE CRUCE PEATONAL P-48B	und	1.00	352.13	352.13
102.B	REEMPLAZO DE SEÑAL EN MAL ESTADO				440.75
102.B.1	RETIRO DE SEÑALIZACIÓN EXISTENTE	m3	1.00	88.62	88.62
102.B.2	SEÑAL DE PRESENCIA DE PEATONES	und	1.00	352.13	352.13
102.C	RETIRO DE SEÑAL PARE EN GIRO CANALIZADO				88.62
102.C.1	RETIRO DE SEÑALIZACIÓN EXISTENTE	m3	1.00	88.62	88.62
103	ACCESO ESTE				952.42
103.A	RETIRO DE OBSTRUCCIONES DE LA VEREDA				860.82
103.A.1	DEMOLICIÓN DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO	m3	6.00	112.95	677.70
103.A.2	ELIMINACIÓN DE MATERIAL DEMOLIDO	m2	6.00	30.52	183.12
103.B	REPARACIÓN DEL PAVIMENTO				91.60
103.B.1	SELLADO DE FISURAS EN EL CRUCERO PEATONAL	m	20.00	4.58	91.60
104	ACCESO NORTE				21,623.50
104.A	OBRAS DE ACCESIBILIDAD AL CRUCERO PEATONAL				7,923.50
104.A.1	VEREDA DE CONCRETO	m2	150.00	43.40	6,510.00
104.A.2	EJECUCIÓN DE RAMPAS PEATONALES	m3	2.00	478.00	956.00
104.A.3	PINTURA DE CRUCERO PEATONAL	m2	25.00	18.30	457.50
104.B	VALLA PEATONAL				13,700.00
104.B.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE VALLA PEATONAL	m	50.00	274.00	13,700.00
105	ACCESO OESTE				274.50
105.A	REUBICACIÓN DE LA LÍNEA DE PARADA				274.50
105.A.1	PINTURA DE LÍNEA DE PARADA Y CRUCERO PEATONAL	m2	15.00	18.30	274.50
106	OTRAS OBRAS				121,457.17
106.A	OBRAS EN LAS ISLAS CANALIZADORAS				85,819.17
106.A.1	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE ADOQUINES DE CONCRETO	m2	600.00	49.11	29,466.00
106.A.2	EJECUCIÓN DE RAMPAS PEATONALES	m3	3.00	478.00	1,434.00

106.A.3	DEMOLICIÓN DE PUENTE DE CONCRETO ARMADO	m3	212.00	134.29	28,469.48
106.A.4	DEMOLICIÓN DE VEREDAS DE CONCRETO	m2	125.00	11.17	1,396.25
106.A.5	REMOCIÓN DE CARPETA ASFÁLTICA	m2	32.00	21.92	701.44
106.A.6	ELIMINACIÓN DE MATERIAL DEMOLIDO	m3	225.00	30.52	6,867.00
106.A.7	SEMBRADO DE ÁRBOLES Y ÁREAS VERDES	m2	700.00	19.15	13,405.00
106.A.8	BANCAS (MOBILIARIO URBANO)	u	8.00	510.00	4,080.00
106.B	VÍA PARA CICLISTAS				33,988.00
106.B.1	PINTURA - BORDES Y LÍNEAS	m	926.00	4.88	4,518.88
106.B.2	PINTURA EN INTERSECCIÓN	m2	188.90	18.30	3,456.87
106.B.3	SUMINISTRO E INSTALACIÓN DE BOLARDOS	und	75.00	346.83	26,012.25
106.C	SEMÁFOROS PEATONALES				1,650.00
106.C.1	REPARACIÓN DE SEMÁFOROS PEATONALES	und	11.00	150.00	1,650.00
	COSTO DIRECTO				155,943.00
	GASTOS GENERALES 10%				15,594.30
	UTILIDAD 7%				10,916.01
	SUBTOTAL				182,453.31
	IGV 18%				32,841.60
	PRESUPUESTO TOTAL				215,294.91

