**UNIVERSIDAD PERUANA DE CIENCIAS
APLICADAS**

FACULTAD DE INGENIERÍA
CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**Propuesta de mejora en los niveles de servicio del
óvalo jose quiñones empleando el software vissim
7.0**

TESIS

Para optar el título profesional de : Ingeniero Civil

AUTOR

Lopez Barrios, Leoncio Enrique (0000-0001-6931-679X)

Medina Marcos, Carlos Eduardo (0000-0003-1359-0911)

ASESOR DE TESIS

Ing. Bravo Lizano, Aldo Rafael (0000-0003-4835-795X)

Lima, 17 de Agosto de 2018

RESUMEN

El crecimiento del área urbana-comercial, el incremento del parque automotor y la falta de dispositivos para el control del flujo vehicular genera que muchas infraestructuras viales colapsen o superen la capacidad para las que fueron diseñadas. Tal es el caso de la intersección vial Óvalo José Quiñones, donde en determinadas horas, a las cuales se denominará “horas punta”, el flujo vehicular se torna pesado, largas colas de espera para llegar a la intersección próxima. Por ello, en este proyecto de tesis se recolectarán datos de la intersección como aforos, distancias entre vehículos, velocidades promedio, etc. Estos parámetros recogidos en campo permitirán realizar un análisis de la situación actual, para determinar el flujo de vehículos, las colas y el tiempo de espera para cruzar esta intersección, con ayuda del software de microsimulación Vissim 7.0. Una vez creado, calibrado y validado el modelo de la situación actual en el software Vissim 7.0 se propondrán opciones de mejora que permitan tener una correcta canalización de los flujos que circulan por la intersección. Finalmente, se escogerá la propuesta que mejore considerablemente el funcionamiento del óvalo y que a su vez pueda ser implementada.

Palabras claves : óvalo, capacidad, flujos, colas, tiempo de espera y funcionamiento.

ABSTRACT

The growth of urban and commercial area, the increase of the cars fleet and the lack of devices for controlling the traffic, achieved that many road infrastructure collapse or exceed the capacity for which they were designed. Such is the case of road intersection roundabout Jose Quinones where in some hours, to which we will call "rush hour", traffic flow becomes heavy, long queues to reach the next intersection. Therefore, in this thesis project data will be collected from the intersection as a traffic density, distance between vehicles, average speeds, etc. These parameters collected in the field will enable an analysis of the current situation, to determine the flow of traffic, queues and waiting times to cross this intersection using the Vissim 7.0 microsimulation software. Once created, calibrated and validated the model of the current situation in the Vissim 7.0 software enhancement options that enable a correct channeling of flows circulating be proposed by the intersection. Finally, the proposal greatly improve performance of the roundabout and which in turn can be implemented will be chosen.

Key words: roundabout, capacity, flows, queues, delay and functioning

ÍNDICE DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO 1. GENERALIDADES.....	3
1.1 ANTECEDENTES-ESTADO DEL ARTE	3
1.2 PROBLEMÁTICA.....	4
1.3 HIPÓTESIS	4
1.4 OBJETIVOS	5
1.4.1 OBJETIVO GENERAL	5
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
1.5 JUSTIFICACIÓN	6
1.6 INDICADOR DE LOGRO	6
1.7 DELIMITACIÓN-ALCANCE DE TESIS	7
1.7.1 DELIMITACIÓN.....	7
1.7.2 ALCANCE.....	8
CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO	9
2.1 Definiciones generales	9
2.1.1 Intersección tipo óvalo	9
2.1.2 Generalidades de Calidad y Niveles de servicio según el HCM.....	12
2.1.2.1 Calidad de Servicio	12
2.1.2.2 Nivel de servicio	12
2.2 Clasificación de Óvalos.....	14
2.2.1 Mini-óvalos	14
2.2.2 Óvalos de un solo carril	15
2.2.3 Óvalos de varios carriles	15
2.2.3.1 Número de Carriles	16
2.2.3.2 Ancho de entrada.....	17
2.2.3.3 Ancho de calzada circulatoria	18
2.2.3.4 Geometría de entrada y alineación de aproximaciones.....	19
2.2.3.5 Islas de canalización.....	23
2.2.3.6 Curvas de salida	23
2.2.3.7 Consideraciones para vehículo de diseño	24

2.3 Controles de rendimiento	26
2.3.1 Camino más rápido	26
2.3.1.1 Construcción de camino de vehículos.....	27
2.3.1.2 Velocidad de los vehículos.....	28
2.3.2 Consideraciones de la alineación del camino.....	29
2.3.3 Distancia de visibilidad	30
2.3.3.1 Distancia visual de parada.....	30
2.3.3.2 Distancia visual a la intersección	32
2.3.4 Ángulos de Visibilidad.....	33
2.4 Consideraciones de diseño	34
2.4.1 Consideraciones de diseño para los peatones.....	34
2.4.2 Consideraciones para el diseño de estacionamientos.....	36
2.4.3 Consideraciones para la ubicación de paraderos de autobús	37
2.4.4 Enfoque en entornos de alta velocidad.....	37
CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA, RECOLECCIÓN DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN.....	40
3.1 Capacidad de los óvalos	40
3.1.1 Óvalos de varios carriles	41
3.1.2 Carril de derivación a la derecha.....	43
3.1.2.1 Carril de derivación tipo I	43
3.1.2.2 Carril de derivación tipo II.....	44
3.2 Procedimiento de análisis.....	45
3.2.1 Demanda de volúmenes a ratios de flujos.....	45
3.2.2 Ajuste de ratios de flujos por vehículos pesados	46
3.2.3 Determinar ratios de flujos de circulación y salida.....	46
3.2.3.1 Ratio de flujos de circulación.....	46
3.2.3.2 Ratio de flujo salida	47
3.2.4 Determinar ratios de flujos de entrada por carril	48
3.2.5 Determinar la capacidad de cada carril de entrada y carril de derivación en vehículo equivalente.....	49
3.2.6 Determinar el factor de ajuste por impedimento de los peatones	50
3.2.7 Convertir el flujo y la capacidad de un carril en vehículos por hora ...	52

3.2.8 Cálculo de la relación volumen - capacidad para cada carril.....	52
3.2.9 Cálculo de tiempo de espera por cada carril	53
3.2.10 Determinar niveles de servicio para cada carril	53
3.2.11 Cálculo de tiempo de espera y determinar los niveles de servicio para cada entrada y el óvalo	54
3.2.12 Cálculo de las colas de 95% percentil de cada carril	54
3.3 Recolección de datos.....	55
3.4 Datos de Campo	58
3.4.1 Características Geométricas del óvalo	59
3.4.2 Aforos.....	61
3.4.2.1 Aforo vehicular	61
3.4.2.2 Aforo peatonal.....	63
3.5 Análisis de la situación actual según la metodología del HCM 2010.....	64
3.5.1 Demanda de volúmenes a ratios de flujos.....	65
3.5.2 Ajuste de ratios de flujos por vehículos pesados	66
3.5.3 Determinar ratios de flujos de circulación	67
3.5.4 Determinar ratios de flujos de entrada por carril	68
3.5.5 Determinar la capacidad de cada carril de entrada.....	70
3.5.6 Determinar el factor de ajuste por impedimento de peatones	70
3.5.7 Cálculo de los flujos y capacidades en vehículos por hora.....	71
3.5.8 Cálculo de la relación Volumen – Capacidad	71
3.5.9 Cálculo de tiempo de espera y determinación del nivel de servicio por carril	72
3.5.10 Cálculo de tiempo de espera y determinación del nivel de servicio para cada entrada y óvalo.....	72
3.5.11 Cálculo de las colas de 95% percentil para cada carril	73
CAPÍTULO 4. MODELO DE MICROSIMULACIÓN	74
4.1 Simulación	74
4.1.1 Definición del modelo.....	74
4.1.2 Escenarios de simulación	75
4.1.3 Selección del software.....	75
4.2 Microsimulación	76

4.2.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico	76
4.2.2 Número de semilla	76
4.2.3 Número de Corridas	76
4.2.4 Warm Up.....	77
4.3 Construcción del modelo.....	80
4.3.1 Consideraciones del modelo	81
4.3.2 Imagen satelital de fondo	81
4.3.3 Links y conectores.....	82
4.3.4 Composición de vehículos y peatones	83
4.3.5 Datos de entrada.....	84
4.4 Verificación del modelo realizado	88
4.5 Calibración del modelo	88
4.5.1 Parámetros de evaluación.....	89
4.6 Validación del modelo	94
CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MICROSIMULACIÓN	97
5.1 Análisis de resultados.....	97
5.2 Propuestas de mejoras	100
5.3 Resultados de Mejoras	104
CONCLUSIONES	108
RECOMENDACIONES	110
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	112
ANEXOS	114
LISTA DE PLANOS	115

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico 1-1: Ubicación del Óvalo José Quiñones.....	7
Gráfico 2-1: Los elementos de la fórmula de Wardrop.....	11
Gráfico 2-2: Elementos de un mini-óvalo.....	15
Gráfico 2-3: óvalo José Quiñones	16
Gráfico 2-4: Elementos del diseño del ancho de entrada.....	17
Gráfico 2-5: Incremento progresivo del óvalo	18
Gráfico 2-6: Ancho de calzada circulatoria	19
Gráfico 2-7: Cruzamientos en la calzada circulatoria	20
Gráfico 2-8: Soluciones a los cruzamientos en la calzada circulatoria.....	21
Gráfico 2-9: Combinación de radios para una adecuada alineación	22
Gráfico 2-10: Cambio del eje de alineación en la entrada	22
Gráfico 2-11: Diseño de curvas de salida	24
Gráfico 2-12: Realineamiento de las entradas y salidas.....	24
Gráfico 2-13: Consideraciones para el vehículo de diseño.....	25
Gráfico 2-14: Radios de giros críticos en óvalos	26
Gráfico 2-15: Dimensiones de los radios para los caminos más rápidos.....	27
Gráfico 2-16: Criterio para el dimensionamiento del radio de entrada.....	28
Gráfico 2-17: Alineación del camino natural.....	29
Gráfico 2-18: Distancia de parada.....	31
Gráfico 2-19: Distancia visual de parada	31
Gráfico 2-20: Elementos de diseño de distancia visual a la intersección	32
Gráfico 2-21: Ángulos de visibilidad mínimos.....	34
Gráfico 2-22: Elementos de diseño para cruces peatonales	35
Gráfico 2-23: Cruces peatonales	36
Gráfico 2-24: Cruce peatonal	36
Gráfico 2-25: Curvas de desaceleración en óvalos	38
Gráfico 2-26: Parámetros para radios de desaceleración en entradas	39
Gráfico 3-1: Diseño por capacidad	40
Gráfico 3-2: Capacidad de dos carriles de entrada con un carril de circulación...	41
Gráfico 3-3: Capacidad de un carril de entrada con dos carriles de circulación...	42

Gráfico 3-4: Capacidad de dos carriles de entrada con dos carriles de circulación	43
Gráfico 3-5: Carril de derivación tipo I.....	44
Gráfico 3-6: Carril de derivación tipo II	45
Gráfico 3-7: Flujo de circulación hacia el norte.....	47
Gráfico 3-8: Flujo de salida hacia el sur	48
Gráfico 3-9: Vehículo de diseño	56
Gráfico 3-10: Señalización en el óvalo	57
Gráfico 3-11 : Cruces peatonales	58
Gráfico 3-12: Plano de detalle de dimensiones de carriles	60
Gráfico 3-13: Aforo vehicular.....	61
Gráfico 3-14: Distribución de estaciones de conteo	62
Gráfico 3-15: Esquema de distribución de aforo peatonal.....	64
Gráfico 3-16: Flujograma Aforo del óvalo año 2015.....	65
Gráfico 3-17: Ubicación de los flujos de circulación.....	68
Gráfico 4-1: Cantidad de vehículos vs tiempo de simulación.....	80
Gráfico 4-2: Distancia entre vehículos.....	81
Gráfico 4-3: Background.....	82
Gráfico 4-4: Configuración de la intersección	83
Gráfico 4-5: Composición de vehículos para un acceso	84
Gráfico 4-6: Asignación de rutas José Gálvez Barrenechea (dirección Oeste)	85
Gráfico 4-7: Señalización existente en el óvalo	86
Gráfico 4-8: Áreas de Prioridad en entrecruzamientos.	87
Gráfico 4-9: Volumen ingresado al software Vissim 7.0.....	89
Gráfico 5-1: Longitud de colas por acceso	98
Gráfico 5-2: Tiempos de demora promedio por acceso	100
Gráfico 5-3: Zona de cruzamientos en Av. José Gálvez Barrenechea.....	101
Gráfico 5-4: Reducción de carriles auxiliar Av. Guardia Civil	102
Gráfico 5-5: Sección actual del giro en U.....	103
Gráfico 5-6: Configuración nueva del giro en U	104
Gráfico 5-7: Vehículos en red con la propuesta de mejora.....	105
Gráfico 5-8: Variación de longitud de cola.....	106

Gráfico 5-9: Tiempo de demora promedio por vehículo	107
---	-----

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Criterios de diseño geométrico de óvalos.....	10
Tabla 3-1: Determinación de los flujos de entrada	49
Tabla 3-2: Determinación de la capacidad de los carriles de entrada.....	50
Tabla 3-3: Determinación de la capacidad de los carriles de derivación.....	50
Tabla 3-4: Factores de ajuste para los peatones para un solo carril.....	51
Tabla 3-5: Factores de ajuste para los peatones para varios carriles.....	51
Tabla 3-6: Niveles de servicio.....	53
Tabla 3-7: Dimensiones de los carriles del Óvalo José Quiñones	60
Tabla 3-8: Ubicación de estaciones.....	62
Tabla 3-9: Volúmenes vehiculares en Hora Pico del Año 2015 y 2016	63
Tabla 3-10: Volúmenes de aforo peatonal año 2015 y 2016	64
Tabla 3-11: Volúmenes de tránsito	66
Tabla 3-12: Ajuste de Flujos por Vehículo Pesado.....	66
Tabla 3-13: Flujos de circulación.....	67
Tabla 3-14: Porcentaje por Carril Asumido	68
Tabla 3-15: Flujo de entrada N° 1	69
Tabla 3-16: Flujo de entrada N° 2	69
Tabla 3-17: Flujo de entrada N° 3	69
Tabla 3-18: Flujo de entrada N° 4	69
Tabla 3-19: Flujo de entrada N° 5	70
Tabla 3-20: Capacidad de cada carril por entrada.....	70
Tabla 3-21: Factor de ajuste por peatones.....	71
Tabla 3-22: Flujos y capacidades en vehículos por hora	71
Tabla 3-23: Relación Volumen-Capacidad por carril y entrada	72
Tabla 3-24: Demoras y Niveles de Servicio por carril.....	72
Tabla 3-25: Demoras y Niveles de Servicio por entrada	73
Tabla 3-26: Demoras y Niveles de Servicio del óvalo.....	73
Tabla 3-27: Longitud de colas.....	73
Tabla 4-1: Cantidad de vehículos en la red de acuerdo al tiempo de simulación .	78
Tabla 4-2: Distribución del flujo vehicular.....	85

Tabla 4-3: Velocidades de circulación	87
Tabla 4-4: Valor de puntuación “Z” de acuerdo al nivel de confianza deseado ...	89
Tabla 4-5: Parámetros de Evaluación	90
Tabla 4-6: Parámetros de Evaluación - Intento 6	92
Tabla 4-7: Resultados de la Evaluación - Intento 6	92
Tabla 4-8: Parámetros de Evaluación - Intento 9	93
Tabla 4-9: Tiempos de Espera por Corridas	94
Tabla 4-10: Prueba de Hipótesis	95
Tabla 5-1: Longitudes de colas con la metodología del HCM 2010 y la simulación de la situación actual con el software Vissim 7.0	98
Tabla 5-2: Tiempo de demora promedio por acceso	99
Tabla 5-3: Volúmenes producto de las mejoras	104
Tabla 5-4: Longitud de cola en propuesta de mejora	105
Tabla 5-5: Demora Promedio vehículo	106

INTRODUCCIÓN

En la actualidad, en Lima, existen diferentes problemas de control para el tráfico vehicular, estos se generan por un mal estudio de la problemática y propuesta de soluciones que no contribuyen a solucionar estos. A esto se suma, la falta de dispositivos de control del flujo vehicular en zonas de congestionamiento, y la falta de educación vial tanto para los conductores como para los peatones. Este último punto es muy importante, ya que en muchas ocasiones algunas infraestructuras viales son diseñadas para operar al criterio del conductor y peatón respetando las normas de tránsito vigentes.

Existe una gran variedad de intersecciones viales las cuales tienen como principal objetivo controlar el flujo vehicular generando comodidad y seguridad en los conductores.

Las intersecciones viales más comunes en Lima son las de tres ramales tipo “T”, Intersecciones en “+” o las intersecciones tipo óvalos. Este trabajo de tesis centra su análisis en esta última, “óvalos”, que a diferencia de las intersecciones convencionales reguladas por semáforos cuando está bien proyectada y se aplica a los casos donde este indicada, logra que el tránsito circule de manera ordenada y continua con poco tiempo de espera y seguridad en los conductores.

Sin embargo, en muchas ocasiones estas se ven superadas en su capacidad, ya sea durante todo el día o solo en horas punta, generando congestionamiento, esto se debe en gran medida al crecimiento del parque automotor, al crecimiento del área urbana-comercial y a las malas condiciones de regulación y control del transporte. Algunas intersecciones pueden corregirse, tal es el caso del Óvalo José Quiñones, en el cual se propondrá un rediseño de alguno de sus elementos geométricos y la correcta canalización de los flujos que circulan a través de la intersección, permitiendo mejorar la funcionalidad el óvalo José Quiñones.

En las siguientes páginas se desarrollarán los capítulos correspondientes a esta tesis. En el primer capítulo, se presentarán los alcances y los objetivos que se plantean en este de este proyecto de tesis. En el segundo capítulo, se desarrollará

información suficiente de “óvalos”, desde los conceptos básicos hasta los parámetros de diseño a emplear y la aplicación de estos en la intersección seleccionada. En el tercer capítulo, se delimitará la situación actual del Óvalo José Quiñones y se recolectará y procesará la data necesaria para la correcta representación de la situación actual de esta intersección, así como se evaluará la capacidad de esta a través de la metodología propuesta por el HCM. En el cuarto capítulo, se modelará la situación actual del óvalo con los parámetros de diseño, recolectados en el capítulo anterior, en el programa de microsimulación Vissim 7. En el capítulo 5, se analizarán los resultados obtenidos en el capítulo anterior y se propondrán las mejoras necesarias que mitiguen el congestionamiento en esta intersección. Finalmente, se validarán estas propuestas y se presentarán las conclusiones y recomendaciones para este proyecto de tesis.

CAPÍTULO 1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES-ESTADO DEL ARTE

El transporte, en muchos países, es uno de sus principales problemas, ya que muchas veces con el crecimiento económico se genera desarrollo urbano. Por esto, es necesario que se construyan obras viales las cuales permitan que los conductores y peatones se desplacen sin problemas por cualquier vía.

En primer lugar, se tiene que, en el año 2011 fue presentado en la Universidad Politécnica de Valencia, el trabajo de curso de Estudio y mejora de la capacidad y funcionalidad de glorietas con flujos descompensados mediante micro simulación de tráfico por Martin Gasulla, María Dolores, como tesina para la obtención de una maestría.

La investigación es un estudio de la situación actual de la intersección de la CV-500 con la CV-401, en El Saler y de los parámetros de diseño para esta intersección apoyándose en experiencias desarrolladas en países europeos, ya que actualmente en estos países se construyen diferentes tipos de óvalos para aliviar el tráfico en zonas urbanas. El análisis de estos datos permitió que se formularán diferentes propuestas de mejoras para la situación que atraviesa esta intersección con la ayuda de diferentes programas determinísticos y de micro-simulación.

Esta tesina ayudó a la comprensión de los parámetros que se tienen que considerar para el diseño óptimo de un óvalo, así como de los programas que existen para el modelamiento de la problemática que vive actualmente la intersección propuesta para esta investigación Óvalo José Quiñones.

También se consultó el manual *HIGHWAY CAPACITY MANUAL* que fue publicado en el año 2010 por TRB (Transportation Research Board).

Este manual permitió identificar los parámetros de diseño para una correcta interpretación de resultados de la situación actual que se vive en el Óvalo José Quiñones. Así como la de realizar un análisis de los niveles de capacidad de la intersección en estudio.

1.2 PROBLEMÁTICA

En los últimos años la población ha sido testigo del incremento del congestionamiento vehicular en distintas partes de Lima. Es común ver que las entidades encargadas de regular el transporte intenten controlar el congestionamiento construyendo nuevas infraestructuras. Sin embargo, no siempre construir nuevas infraestructuras es la solución al caos vehicular que se vive a diario. En muchas ocasiones el congestionamiento es generado gracias a una inadecuada integración del transporte en la planificación de construcción de viviendas, áreas comerciales y oficinas.

En la actualidad, el Óvalo José Quiñones, tiene un problema en su funcionamiento, específicamente en horas de la mañana y la noche. En estas horas es donde se incrementa considerablemente el flujo vehicular superando su capacidad. Esto se debe en gran medida al crecimiento del área urbana-comercial (Véase ANEXO 1 y ANEXO 2) en los alrededores de esta intersección y a la capacidad que tiene esta intersección de conectar 5 distritos (Surquillo, San Borja, San Isidro, La Victoria y San Luis). A esto se suma la falta de señalización en determinadas zonas y al deterioro de esta intersección.

1.3 HIPÓTESIS

En la actualidad, en muchas ocasiones, el Óvalo José Quiñones se ve superado en su capacidad, durante determinadas horas, generando congestionamiento, esto se debe en gran medida al crecimiento constante del parque automotor, al crecimiento del área urbana-comercial y a las malas condiciones de regulación y control del transporte.

Según lo señalado en el párrafo anterior se pueden realizar los siguientes cuestionamientos: ¿Según la geometría actual de esta intersección es correcta su clasificación de óvalo? ¿Se mejorará el funcionamiento del óvalo cambiando algunos elementos de diseño geométrico? ¿Será necesario cambiar el tipo de intersección?

Luego de realizarse estas interrogantes se puede formular la siguiente hipótesis: “Que alternativa de solución se podrá plantear para mejorar la problemática de

congestión vehicular en el “Óvalo José Quiñones” con base en la simulación de la misma a través del software Vissim 7.0”.

Con la hipótesis planteada se espera que los niveles de servicio mejoren en las horas críticas y a su vez se escogerá la propuesta de mejora que sea viable y que obtenga mejores resultados.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo principal de esta tesis es analizar y diagnosticar la situación actual del óvalo José Quiñones mediante la metodología del HCM 2010 y en el software Vissim 7.0 luego de analizar la situación actual elaborar las propuestas de mejora necesarias que mitiguen la congestión vehicular mediante el rediseño de sus elementos geométricos y lograr una correcta canalización de los flujos vehiculares.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Describir la geometría actual del Óvalo José Quiñones.
- Identificar los volúmenes de tráfico del óvalo y establecer si la infraestructura vial actual es la correcta para los flujos actuales.
- Identificar las áreas de conflictos existentes en esta intersección.
- Estimar las velocidades promedio de los vehículos dentro de la red.
- Crear, calibrar y validar un modelo de micro-simulación que permita representar el funcionamiento actual de esta intersección.
- Verificar el parámetro de eficiencia de longitudes de colas obtenido con la metodología HCM 2010 y software Vissim 7.0
- Presentar propuestas de mejora a la situación actual de manera que se vean reflejadas en la circulación del óvalo.
- Reducir los tiempos de espera o demora para circular a través del óvalo.

1.5 JUSTIFICACIÓN

El objetivo principal de todo óvalo es lograr que el flujo vehicular que se desarrolle en este sea continuo y con pocos tiempos de espera generando comodidad y seguridad tanto para los peatones como para los conductores.

En Lima, muchas de las intersecciones que se han construido han superado la capacidad para las que fueron diseñadas como la intersección Óvalo José Quiñones. Esto se debe a los escasos conocimientos en gestión de transporte por parte de las entidades responsables, por el empleo de soluciones ineficientes y el crecimiento del parque automotor y área urbana-comercial.

Según lo mencionado, a través de esta investigación se aportaría la aplicación de los enfoques teóricos que se manejan actualmente en cuanto al diseño de óvalos. Por otro lado, la simulación de los parámetros obtenidos en campo, en el programa de microsimulación Vissim 7.0, permitirá tener un resultado real de las propuestas de mejora que se proponga para mitigar el congestionamiento en la zona de estudio.

Finalmente, el trabajo es de importancia para los propios autores, puesto que servirá para poner en práctica los conocimientos adquiridos en la universidad, en relación al diseño, control y planificación de transporte.

1.6 INDICADOR DE LOGRO

- Presentar un plano de la geometría actual del Óvalo José Quiñones.
- Desarrollar un flujograma con los volúmenes de tráfico actuales.
- Presentar resultados sobre las velocidades promedio
- Modelar la situación actual en el software Vissim 7.0
- Elaborar un cuadro para los resultados de la microsimulación de la situación actual y otro para la propuesta.
- Dibujar un plano de la geometría de la propuesta.
- Elaborar un cuadro comparativo de los tiempos de demora de la situación actual y propuesta.

1.7 DELIMITACIÓN-ALCANCE DE TESIS

1.7.1 DELIMITACIÓN

Gráfico 0-1: Ubicación del Óvalo José Quiñones

Fuente: Adaptado de Google Maps

Esta investigación analizará específicamente al “Óvalo José Quiñones” que es una típica intersección tipo óvalo. El “Óvalo José Quiñones” se ubica en el cruce de Av. Guardia Civil y Av. José Gálvez Barrenechea, en los distritos de San Borja y San Isidro, provincia y departamento de Lima (Véase Plano PMO-VS-01).

Esta intersección es importante pues permite conectar a los distritos de San Borja, San Isidro, La Victoria, Surquillo y San Luis a través de sus principales ramales que son la Avenida Guardia Civil y La Avenida José Gálvez Barrenechea. Presenta las siguientes características: Cuenta con 3 carriles en su calzada circulatoria y sus ramales de entrada y salida tienen 2 carriles. Así mismo, como la mayoría de óvalos, presenta una isla central que contribuye con el paisajismo de la zona. El óvalo presenta señales de tránsito en algunas zonas, así como también rompe muelles. Sin embargo, el cruce para los peatones en algunas ocasiones se torna difícil, puesto que

no muchos conductores respetan las normas de tránsito vigentes, como disminuya la velocidad entre otras.

1.7.2 ALCANCE

Se realizará el análisis tanto por capacidad y funcionalidad del "Óvalo José Quiñones" considerando que el estado actual en el que se encuentra cumpla con los requisitos reglamentarios vigentes. Así mismo se propondrá la solución más eficiente para mejorar la situación en la que se encuentra actualmente.

Esta investigación no incluye diseño de pavimentos ni de obras especiales por lo cual no se realizará un análisis económico de las propuestas de mejora para esta intersección.

CAPÍTULO 2. MARCO TEÓRICO

Este capítulo sirve para lograr el correcto diseño de óvalos, conocer los tipos que existen y conocer los parámetros de diseño, que permiten llevar un control adecuado sobre los niveles de servicios. Por lo tanto, líneas abajo se expone la teoría de los puntos antes señalados.

2.1 Definiciones generales

2.1.1 Intersección tipo óvalo

Los óvalos son una solución que consiste en hacer coincidir sus ramales en una circunferencia central, en el cual los vehículos giran alrededor de una isla central hasta llegar a su rama de salida. Los óvalos son usados para generar un tráfico fluido y la preferencia en este tipo de intersección la tiene el vehículo que se encuentra dentro del óvalo. Además, se usan para evitar la implementación de semáforos¹.

La implementación de este tipo de intersección es muy favorable, si las ramas de ingreso al óvalo cuentan con volúmenes parecidos y/o existen movimientos de giros predominantes que superan los rectos².

El diseño de este tipo de intersecciones debe basarse inicialmente en los estudios de tráfico, capacidad de la rotonda y el dimensionamiento de los entrecruzamientos. Para ello se debe considerar; la longitud de la sección de entrecruzamiento, la capacidad de cada sección de entrecruzamiento y la comparación de la capacidad con la demanda del entrecruzamiento³.

La capacidad de la sección de entrecruzamiento utiliza la fórmula de Wardrop:

$$Qp = \frac{160W \times \frac{1+e}{w}}{1 + \frac{w}{L}} \qquad e = \frac{e1 + e2}{2}$$

¹ Cfr.REDEVU: RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE ELEMENTOS DE INFRAESTRUCTURA VIAL URBANA 2009:246

²Cfr.DG: DISEÑO GEOMETRICO 2018:244

³Cfr.DG: DISEÑO GEOMETRICO 2018:244-245

Dónde:

Q_p : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, en veh/hr.

W : Ancho de la longitud de entrecruzamiento, en metros.

e : Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento, en metros.

L : Longitud de la sección de entrecruzamiento, en metros.

Los elementos de la fórmula de Wardrop, se muestran en el Gráfico N° 2-1

Los criterios de diseños geométricos de los óvalos, se muestran a continuación.

Tabla 0-1: Criterios de diseño geométrico de óvalos

Descripción	Unidad	Magnitud
Diámetro mínimo de la isla central	m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50
Relación W/L (Sección Entrecruzamiento)		entre 0,25 y 0,40
Ancho sección entrecruzamiento (W)	m	máximo 15
Radio interior mínimo de entrada	m	30
Radio interior mínimo de salida	m	40
Ángulo ideal de entrada		60°
Ángulo ideal de salida		30°

Fuente: Adaptado del Manual de Carreteras DG-2018

Gráfico 0-1: Los elementos de la fórmula de Wardrop

Fuente: Manual de Carreteras DG-2018

2.1.2 Generalidades de Calidad y Niveles de servicio según el HCM

En la actualidad, existen muchas maneras de medir el rendimiento de una infraestructura de transporte y a la vez diferentes puntos de vista sobre este. Es decir, por una infraestructura vial se desplazan diferentes peatones, automóviles, ciclistas, pasajeros de autobuses y cada uno de estos tiene una concepción distinta de lo que es desplazarse con una buena performance por una vía.

Según el HCM, la calidad del servicio se describe mediante qué tan bien una instalación de transporte o servicio opera desde la perspectiva del viajero y el Nivel de servicio (LOS) es una estratificación cuantitativa de una medida de rendimiento o de las medidas que representan la calidad del servicio.

Entonces los Niveles de servicio son un concepto utilizado para determinar la calidad del flujo vehicular que fluye a través de una infraestructura vial. Este nivel de servicio se ve afectado por factores internos y externos. En los internos se encuentran la variación de la velocidad, en los volúmenes, en el comportamiento del tránsito, etc. En los externos están las características geométricas, como el ancho de los carriles, la distancia libre lateral, las pendientes, etc.⁴

2.1.2.1 Calidad de Servicio

La calidad de servicio como se mencionó anteriormente está relacionada a la percepción de los viajeros que transitan por una vía. Esta percepción puede ser medida de diversas maneras por ejemplo la velocidad para transitar por la vía, el tiempo de retardo, el congestionamiento, maniobrabilidad, confort de la vía, seguridad, costo de usuario, la estética de las instalaciones, entre otros.

2.1.2.2 Nivel de servicio

El nivel de servicio es una medida cuantitativa de la calidad que se presenta en una determinada vía de transporte.

Los niveles de servicio se usan como una herramienta para traducir los resultados numéricos en una sencilla interpretación a través de los niveles. El HCM divide los niveles de servicio en seis categorías, a las cuales se les asignan las letras A, B, C,

⁴ Cfr. Cal y Mayor y Cardenas 2010:355-356

D, E y F, indicando niveles desde el más óptimo hasta el pésimo en cuanto a las percepciones de comodidad y seguridad de los viajeros.

Por otro lado, el fin de esta herramienta es simplificar la toma de decisiones sobre el rendimiento de una infraestructura vial y si en un futuro el rendimiento cambia en esta, podría percibirse significativa para el público en general.

A continuación, se detallarán que interpretación tiene cada nivel de servicio:

Nivel de servicio A

Se caracteriza por presentar un flujo libre, esto genera mayor libertad para maniobrar y realizar cambios de velocidades deseadas. Por lo tanto, el nivel de comodidad para el usuario es el esperado⁵.

Nivel de servicio B

En este nivel se observa un aumento de vehículos en la circulación, se encuentra dentro del flujo estable. La libertad para realizar los cambios de velocidades aún se mantiene, pero la libertad para maniobrar es inferior a la del Nivel A debido a la presencia de otros vehículos⁶.

Nivel de servicio C

La interacción entre los usuarios aumenta de forma significativa, manteniendo un flujo estable. Las libertades de velocidades y de maniobras empiezan a restringirse. Esto conlleva a que el nivel de comodidad del usuario descienda significativamente⁷.

Nivel de servicio D

La cantidad de vehículos en la circulación es elevada, lo que genera problemas en el funcionamiento. Los cambios de velocidad deseada y la libertad de maniobra se encuentran más restringidas.⁸

Nivel de servicio E

La capacidad de la vía se encuentra cerca de su límite, debido al aumento en el flujo vehicular que podría ocasionar el colapso de la vía. Las velocidades de los usuarios son bajas y uniformes. La maniobrabilidad de los usuarios se torna difícil y en muchos casos estos tienen que ceder el paso⁹.

⁵ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:363

⁶ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:363

⁷ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:363

⁸ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:363

⁹ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:363

Nivel de servicio F

En este nivel se observa un flujo forzado, debido a que la demanda es mayor a la oferta de la vía. Se caracteriza por la presencia de colas, tiempos de parada y arranques inestables¹⁰.

2.2 Clasificación de Óvalos

Existen diferentes tipos de óvalos los cuales se ajustan a diversas condiciones del lugar donde se emplazarán estos. Cada uno de estos tipos presenta diferentes parámetros que se tienen que considerar para su diseño.

Entre los principales tipos de óvalos, según su geometría, se tiene los óvalos de un solo carril, de dos carriles y los mini-óvalos. En las siguientes líneas se mencionarán algunos criterios importantes para el respectivo diseño de cada uno de estos tipos de óvalos.

2.2.1 Mini-óvalos

El diseño de mini-óvalos se genera con la finalidad de ayudar a controlar el flujo vehicular en intersecciones que presentan limitaciones físicas, es decir poco espacio. A diferencia de otro tipo de óvalos, que se describirán más adelante, este tiene un diámetro pequeño y una isla central transitable, es decir que camiones grandes pueden atravesar la intersección a través de su isla central¹¹.

¹⁰ Cfr. Cal y Mayor y Cárdenas 2010:364

¹¹ Cfr. NCHRP Report 672 2010: 6-46

Gráfico 0-2: Elementos de un mini-óvalo

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

2.2.2 Óvalos de un solo carril

Los óvalos de un solo carril se caracterizan por presentar un solo carril tanto en sus tramos de entrada y salida como en el carril que esta adyacente a la isla central. A diferencia de los mini-óvalos tienen un diámetro de círculo inscrito mucho mayor y las islas centrales no son totalmente transitables¹².

2.2.3 Óvalos de varios carriles

Se consideran óvalos de varios carriles a las intersecciones de este tipo que cuentan con 2 o más carriles. Este tipo de óvalo al igual que las de un solo carril maneja los mismos principios o los mismos parámetros geométricos, no obstante, en el diseño, son menos tolerantes que los mencionados, ya que cualquier error puede tener un impacto directo en la alineación del vehículo o la elección del carril, lo cual pudiese afectar la seguridad y capacidad del óvalo. Es decir que su funcionamiento óptimo depende tanto del criterio del conductor como de una buena señalización en esta intersección. Por lo cual, en un óvalo de varios carriles es fundamental que los

¹² Cfr. NCHRP Report 672 2010: 178

parámetros geométricos y de señalización se realicen de manera adecuada y en forma conjunta.

En los siguientes párrafos se detallarán algunos aspectos importantes para realizar un correcto diseño de este tipo de intersección.

Gráfico 0-3: óvalo José Quiñones

Fuente: Adaptado de Internet (2015)

2.2.3.1 Número de Carriles

En los óvalos de varios carriles es importante conocer desde el principio el número de vehículos que transitan por esta intersección, ya que de esta manera se podrá tener una idea clara del número de carriles que se necesitan para que los carriles que conforman el óvalo no excedan su capacidad.

Una de las finalidades de todo óvalo es que el diseño logre un flujo constante tanto en la entrada, circulación y salida de esta de tal manera que los conductores no vean necesario realizar cambios de carril durante su trayectoria. Por lo cual, es importante que el número de carriles que se propongan sean el mínimo necesario para la demanda existente, ya que cuando se tienen muchos carriles el tránsito se torna pesado por los giros que se pueden realizar en está reduciendo considerablemente la seguridad y efectividad de la intersección. Asimismo, se deben analizar otras variables que influyen en el tránsito del óvalo como los cuellos de botella, entre otros.

2.2.3.2 Ancho de entrada

El ancho de entrada de un óvalo de varios carriles está definido por la cantidad de carriles que se presenta en la intersección, así como el vehículo de diseño seleccionado para la intersección. Por lo general, el ancho de entrada en una intersección de dos carriles oscila entre los 7.3 y 9.1 m mientras que en una intersección de 3 carriles el ancho de entrada se encuentra entre los 11 y 13.7 m. El ancho de cada carril, ya sea un óvalo de dos carriles o más, varía entre los 3.7 a 4.6m.

Por otro lado, en lugares donde se requiera ampliar la capacidad de entrada del óvalo incrementando un carril adicional, se manejan dos opciones: la adición de un carril completo antes de llegar al óvalo, o agrandar progresivamente el ancho de la entrada. En el siguiente gráfico podemos ver estas dos opciones.

Gráfico 0-4: Elementos del diseño del ancho de entrada

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Gráfico 0-5: Incremento progresivo del óvalo

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

2.2.3.3 Ancho de calzada circulatoria

El ancho de la calzada circulatoria está en función al tipo de vehículos que van a transitar a la vez en un óvalo por lo que necesitan ser acomodados de tal manera que no se produzcan colas ni accidentes. Por ejemplo, si los vehículos que transitan por la intersección son de buses en su mayoría, de furgonetas y algunos remolques, entonces se podría diseñar un óvalo de dos carriles, uno para los buses y otro para las furgonetas y remolques, pero, si fuera el caso de que las furgonetas superaran el 10% del flujo vehicular total entonces se podría optar por diseñar un óvalo de 3 carriles, donde cada carril estaría destinado para cada tipo de vehículo.

Las dimensiones del ancho de los carriles oscilan entre los 4.3 a 4.9 m, de donde se desprende que para un óvalo de dos carriles se tendría que el ancho de calzada oscilara entre los 8.5 y 9.8 m, a diferencia de uno de tres carriles donde el ancho estará entre los 12.8 y 14.6 m. Como se mencionó anteriormente el número de carriles debe ser el mínimo requerido para satisfacer la demanda, por lo que si en algún ramal el flujo es vehicular es bajo, es conveniente que el número de carriles sea reducido. Por otro lado, si es que existe mucha demanda de giros hacia la izquierda en dos entradas consecutivas, se puede agregar un carril más en la calzada de circulación para evitar congestión.

Gráfico 0-6: Ancho de calzada circulatoria

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

2.2.3.4 Geometría de entrada y alineación de aproximaciones

El diseño de la curvatura de entrada debe proporcionar que los objetivos como control de velocidad, alineación de los caminos y línea de visibilidad sean adecuadas y a la vez trabajen conjuntamente. Generalmente, para lograr que esto se realice se tienen que seguir un procedimiento iterativo el cual permitirá identificar las dimensiones adecuadas para el óvalo que se está proyectando.

Uno de los parámetros importante en el diseño de un óvalo es la velocidad de entrada, como se mencionó anteriormente, la velocidad de entrada está determinada por el radio de entrada, es decir, radios muy grandes generan velocidades altas y en radios pequeños donde se reduce la velocidad. Sin embargo, tener radios muy pequeños puede generar superposición en los vehículos que ingresan al óvalo, ya que estos intentarán cortar ingresando a otro carril para evitar quedarse en la isla central. A su vez pequeños radios puede incrementar el riesgo de accidentes de un solo vehículo a la isla central.

Muchas veces con la finalidad de que los vehículos alcancen mayores trayectorias se proponen radios pequeños (13.7 m), pero esto puede generar congestionamiento alterando tanto en su capacidad y funcionalidad al óvalo. Por lo cual, se recomienda que las dimensiones de los radios de entrada excedan los 20 m. Los radios de mayor trayectoria deben estar en el rango de 53 a 84 m. para una velocidad promedio que

se encuentra entre los 40 y 50 km/h. La superposición de vehículos ocurre cuando el camino de los carriles adyacentes del óvalo se cruza entre sí. Por lo general, este fenómeno ocurre en las entradas, donde la geometría del carril derecho obliga a los vehículos a ir hacia la izquierda, y en las salidas, donde la geometría del carril izquierdo tiende a conducir a los vehículos hacia la derecha.

Gráfico 0-7: Cruzamientos en la calzada circulatoria

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Con la finalidad evitar la superposición en el camino que describen los vehículos en el óvalo, el diseño debe lograr que los vehículos que se desplacen a lo largo de la trayectoria de circulación estén alineados y desarrollen una velocidad adecuada. Esto se logra incrementando las dimensiones del radio de entrada, siendo esta tangente a la circunferencia inscrita del óvalo tal como se puede ver en la siguiente imagen.

Gráfico 0-8: Soluciones a los cruzamientos en la calzada circulatoria

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Otra manera de lograr una adecuada alineación es utilizando una curva compuesta o tangente a lo largo de la acera exterior. El diseño consiste exactamente en realizar una combinación de radios antes de llegar a la calzada de circulación. Para este método, se toma un radio pequeño que comúnmente se encuentra entre los 20 y 35 m y no debe encontrarse a menos de 6 m. del borde de la calzada de circulación, luego se toma un radio grande mayor a 45 m. tangente al borde de la calzada de circulación. (Véase Gráfico 2-9)

Otro método de diseño para mejorar la entrada es cambiar el eje de alineación de uno de los ramales hacia la izquierda del centro del óvalo (isla central). Este método es eficiente pues aumenta la curvatura de entrada, pero a su vez reduce las dimensiones de la curvatura de salida, donde es deseable mantener velocidades bajas para la ubicación del paso para los peatones. De esta manera, la distancia desde el centro de la isla con el de salida debe estar alineada con los objetivos de diseño ya mencionados anteriormente para garantizar la seguridad de los peatones. (Véase Gráfico 2-10)

Gráfico 0-9: Combinación de radios para una adecuada alineación

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Gráfico 0-10: Cambio del eje de alineación en la entrada

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Al igual que los óvalos de un solo carril los ángulos típicos de entrada oscilan entre los 20° y 40°.

2.2.3.5 Islas de canalización

En óvalos de varios carriles suele establecerse primero el diseño de la entrada ya que determina la velocidad que se desarrollará en la entrada por el vehículo de diseño. Entonces, la isla divisora es desarrollada en conjunto con el diseño de salida con la finalidad de proporcionar un ancho adecuado que sirva como refugio para los peatones y para la señalización. Asimismo, las dimensiones y criterios de diseños de estas islas son los mismos que se mencionaron anteriormente en el criterio de diseño para óvalos de un solo carril.

2.2.3.6 Curvas de salida

El diseño de las salidas en óvalos de varios carriles, al igual que las entradas, es compleja. Los conflictos pueden ocurrir si no se asignan el número de carriles necesarios o apropiados.

Por lo general, los radios de las curvas en las salidas suelen ser mayores que la entrada con la finalidad de evitar congestionamiento en la zona; y además un radio incorrecto podría significar superposición entre vehículos o un mal diseño de la entrada. Cuando se tiene radios grandes de salida se busca promover una correcta alineación en la trayectoria del vehículo, pero cuando los radios son grandes las velocidades que se desarrollan suelen incrementarse considerablemente. Por lo cual, se debe buscar la manera en la que el diseño de estas curvas de salida este equilibrada.

Por otro lado, un problema común en el diseño de las curvas de salida es que se tienen separaciones muy grandes entre los ramales de entrada y salida, esto logra que los vehículos que recién ingresan a la intersección se unan a los que ya están circulando en la vía e intenten ir por la salida próxima, generando conflictos y/o en el peor de los casos accidentes.

Una posible solución para evitar este tipo de conflictos entre los ramales sería de buscar un realineamiento de los ramales, de manera que los vehículos que llegan al óvalo no se unan a aquellos que se encuentren circulando, sino que se crucen entre sí y esto se podría lograr implementando bandas y algunas modificaciones físicas en las entradas tal y como se muestra en el gráfico 2-11.

Gráfico 0-11: Diseño de curvas de salida

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Gráfico 0-12: Realineamiento de las entradas y salidas

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

2.2.3.7 Consideraciones para vehículo de diseño

Según lo mencionado anteriormente, se sabe que el diseño de toda infraestructura vial (óvalo, entre otros) se hace en consideración al vehículo de diseño que, por lo general, es el más grande que transita frecuentemente la zona. Por lo que, se necesita que este vehículo pueda circular por la intersección sin problemas, es decir que la

trayectoria que el vehículo desarrolla sea eficiente y segura. Para esto se debe tener en cuenta algunas consideraciones la cuales se mencionarán a continuación.

Por un lado, como ya se mencionó anteriormente, colocar una especie de separación entre carriles con la finalidad de que los vehículos más grandes tengan un espacio libre para poder girar al momento de ingresar al óvalo. Este espacio puede tener hasta 1.8 m, esto en función al tipo de vehículo que circula en la zona. A su vez esta separación debe estar diferenciada (pintura, adoquines) de las otras para evitar confusiones en los conductores.

Gráfico 0-13: Consideraciones para el vehículo de diseño

Fuente: Adaptado de New York State Department of Transportation

Por otro lado, otra forma de acomodar el vehículo de diseño dentro de la calzada circulatoria es añadir incrementar el ancho de carril exterior y reducir el carril interior. Al realizar dicho incremento se le daría mayor capacidad de maniobrabilidad al conductor logrando que no invada otro carril reduciendo el riesgo de accidentes y evitando el congestionamiento por superposición.

2.3 Controles de rendimiento

Los controles o pruebas de rendimiento permiten determinar si el diseño de la intersección realizado fue el correcto, por lo cual realizarlo es una parte muy importante de todo proyecto vial. En los siguientes párrafos se detallarán algunos controles de rendimiento que debe realizar todo ingeniero para determinar la eficiencia de su diseño.

2.3.1 Camino más rápido

El camino más rápido que recorre un vehículo está determinado por la geometría de la intersección y a su vez esta establece la velocidad directriz que va a llevar el vehículo al entrar o salir de la vía. Asimismo, indicar que la velocidad que alcance cada vehículo también estará en función de las habilidades de los conductores y del tipo de vehículo.

Los caminos más rápidos deben ser medidos para todo tipo de enfoque y todo tipo de movimiento que se puedan realizar incluyendo los giros a la izquierda y movimientos de derecho de giro. La siguiente imagen ilustra los 5 radios de giros críticos que se pueden presentar en un óvalo.

Gráfico 0-14: Radios de giros críticos en óvalos

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

Para obtener los caminos rápidos se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

2.3.1.1 Construcción de camino de vehículos

El camino más rápido se dibuja para un vehículo que cruza a través de la entrada, alrededor de la isla central y fuera de la salida. Este camino es el más suave, posee la trayectoria plana para un solo vehículo, en ausencia de otro tipo de tráfico y hace caso omiso a todas las marcas de cualquier carril.

Para la construcción correcta del camino de entrada se debe tener en cuenta la trayectoria que desarrollaran los vehículos incluyendo la orientación sobre donde trazar caminos en relación a los bordillos con la línea de pintura. Por lo general, se recomienda que los caminos más rápidos deben generarse con un desplazamiento de 1.5 m de bordes y rayas de la línea central y un desplazamiento de 1 m hacia las otras bandas tal y como se puede ver en la siguiente imagen.

Gráfico 0-15: Dimensiones de los radios para los caminos más rápidos

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

Por otro lado, la construcción del camino más rápido debe comenzar al menos 50 m antes de las entradas. El radio R_1 debería considerarse como la curva de mejor ajuste a una distancia de 20 o 25 m antes de la línea de entrada.

Gráfico 0-16: Criterio para el dimensionamiento del radio de entrada

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

2.3.1.2 Velocidad de los vehículos

Se sabe que principalmente para obtener un flujo constante en un óvalo la velocidad debe ser controlada por lo cual es importante estimar la velocidad que se va a generar en cada movimiento que el vehículo desarrolle en el óvalo. Para ello, se utilizan radios horizontales para cada una de las rutas que los vehículos puedan desarrollar en esta vía.

Según ASSHTO, existe una relación tanto en el radio de curvatura horizontal y la velocidad de desplazamiento, y que esto a su vez está en función del peralte y el factor de fricción. La siguiente formula permite estimar la velocidad de los vehículos que transiten a través de esta intersección:¹³

$$V = 3.4415R^{0.3861}, \text{ para } e = +0.02 \quad V = 3.4614R^{0.3673}, \text{ para } e = -0.02$$

Donde:

V: velocidad estimada, mph

R: radio de la curva de entrada, ft

e: peralte ft/ft

Asimismo, se sabe que existen otras fórmulas las cuales también permiten establecer esta velocidad, sin embargo, se considera esta la más apropiada para el

¹³ Cfr. Kansas Roundabout Guide 2010 6-8

control del diseño ya que para la aplicación de otras fórmulas se tienen que tener en cuenta otros parámetros como las aceleraciones o desaceleraciones que se desarrollan en la intersección.

2.3.2 Consideraciones de la alineación del camino

Según lo comentado líneas anteriores, la geometría del camino más rápido de la intersección tipo óvalo tiene curvaturas las cuales permiten controlar las velocidades que se desarrollan en esta. Esta curvatura se dibuja asumiendo que el óvalo está libre de congestionamiento y hace caso omiso a la señalización de los carriles. Además de evaluar el camino más rápido, el ingeniero debe considerar también los caminos de los vehículos naturales. Estos caminos naturales son los caminos que se acercan a tomar los vehículos al ingresar a la geometría del óvalo suponiendo que existe tráfico en los carriles de la intersección.

Uno de los principios fundamentales en la elaboración del camino natural es que ningún vehículo que transite por la intersección puede cambiar de carril o incrementar su velocidad considerablemente de forma inmediata. Es decir, el camino natural no presenta en su desarrollo cambios repentinos en la trayectoria de los vehículos. Por otro lado, otro de los principios es que el radio de curvatura en dos curvas consecutivas no debe ser diferente, es decir deben ser similares. Si el radio de la segunda curva es muy pequeño no dará tiempo al conductor de maniobrar adecuadamente el vehículo para girar, por lo que si se dibuja el radio menor que la otra curva se deben realizar ajustes a la trayectoria.

Gráfico 0-17: Alineación del camino natural

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

2.3.3 Distancia de visibilidad

Otro control importante que se debe tener en cuenta al momento de verificar el diseño de un óvalo es la distancia de visibilidad que se tiene en la intersección. Al igual que toda carretera la distancia visual de parada debe ser proporcionada de tal manera que le dé tiempo al conductor de percibir y reaccionar frente a cualquier irregularidad que pueda presentarse en el camino. Asimismo, esta distancia de visibilidad debe permitir a los conductores que ingresan a la intersección visualizar a los vehículos que están circulando en la intersección logrando de esta manera un flujo continuo y seguro. En las siguientes líneas se detallarán algunos parámetros que se deben tomar en cuenta en el diseño de la distancia de visibilidad.

2.3.3.1 Distancia visual de parada

La distancia visual de parada es aquella distancia que le permite al conductor poder detenerse frente a cualquier irregularidad que pueda presentarse en la vía, un animal u otro objeto, sin provocar algún accidente. Esta debe proporcionarse en todos los puntos de la intersección, así como en cada entrada y salida de esta.

La distancia visual de parada puede determinarse con la siguiente ecuación que está en función a las velocidades de diseño de la intersección.

$$d = 1.468 * t * v + 1.087 * V^2/a$$

Donde:

V: velocidad inicial (mph)

t: tiempo de percepción (se considera 2.5 s)

d: distancia visual de parada

a: desaceleración (se asume 11.2 ft/s²)

Según la ASSHTO, la distancia de parada se debe considerar para una altura al ojo del conductor de 1080 mm y en el caso de un objeto de 600 mm. En los óvalos, existen tres lugares importantes donde la distancia de parada debe ser verificada: en los enfoques del óvalo, dentro de la calzada circulatoria y en las salidas para el paso

de los peatones. En el siguiente gráfico se puede notar los tres lugares principales de control de la distancia de parada.

Gráfico 0-18: Distancia de parada

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

Gráfico 0-19: Distancia visual de parada

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

2.3.3.2 Distancia visual a la intersección

La distancia visual a la intersección es la distancia para que un conductor sin derecho de paso pueda percibir y reaccionar frente a la presencia de algún conflicto en la calzada. Esta distancia se establece a través del “triángulo de visibilidad” que no es más que triángulos que permiten al conductor ver y reaccionar de forma segura ante vehículos en conflicto. Este triángulo está limitado por la longitud de la carretera y los vehículos que se aproximan al óvalo tanto por las entradas o los que ya se encuentran circulando en la intersección tal y como se muestra en el gráfico 2-20¹⁴

Gráfico 0-20: Elementos de diseño de distancia visual a la intersección

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

Se recomienda que la longitud que debe tener desde el vehículo a la entrada no exceda los 15 m, ya que de esta manera el triángulo de visibilidad funciona de manera correcta. Cualquier exceso de visión hace que los accidentes incrementen, por lo cual con esto se busca que los vehículos que ingresen cedan el paso y reduzcan la velocidad al transitar por la intersección.¹⁵

La longitud de enfoque de cada distancia (d_1 , d_2) del triángulo de visibilidad se obtiene mediante la siguiente ecuación:

¹⁴Cfr. Kansas Roundabout Guide 2010 6-16

¹⁵Cfr. NCHRP Report 672 2010:6-63

$$d_1 = (1.468) * (V_{principal\ de\ entrada}) * (t_c)$$

$$d_2 = (1.468) * (V_{principal\ de\ circulación}) * (t_c)$$

Donde:

d₁: longitud de entrada del triángulo de visibilidad

d₂: longitud del triángulo de visual (pies de circulación)

V_{principal}: velocidad de diseño de movimientos conflictivo (mph)

t_c: tiempo fundamental para entrar a la carretera principal (se asume 5s)

La velocidad principal de entrada y la velocidad principal de circulación se pueden obtener de la siguiente manera. La velocidad principal de entrada se calcula tomando el promedio de la velocidad teórica y la velocidad circulante; y La velocidad principal de circulación se obtiene tomando la velocidad de los vehículos girando a la izquierda sobre la base del camino más rápido.¹⁶

2.3.4 Ángulos de Visibilidad

El ángulo de visibilidad entre dos vehículos no deber ser muy agudo ya que de ser así el que está del lado derecho va tener dificultades para ver el otro vehículo que ingresa al óvalo.

En los óvalos, el ángulo de intersección puede medirse como el ángulo entre la alineación de un vehículo en la línea de entrada y la línea de visión necesario de acuerdo a la intersección directrices vista distancia. Asimismo, se recomienda que el Angulo de visibilidad no debe ser menor de los 75°.¹⁷

¹⁶Cfr. Kansas Roundabout Guide 2010 6-17

¹⁷ Cfr. Kansas Roundabout Guide 2010 6-19

Gráfico 0-21: Ángulos de visibilidad mínimos

Fuente: Adaptado de Kansas Roundabout Guide

2.4 Consideraciones de diseño

2.4.1 Consideraciones de diseño para los peatones

Las veredas deben ser ubicada detrás de la línea de la calzada circulatoria a una distancia deseada de 1.50 metros y un mínimo de 0.60 metros. Estos espacios generan algunos beneficios, mayor comodidad para los peatones y espacios para mobiliario urbano. Lo recomendable es sembrar césped (grass) y plantar arbustos bajos en la zona entre la acera y la línea de la calzada. Si no existiera el suficiente espacio para generar la separación, se podría usar bolardos y otro tipo de barreras que sean útiles para guiar a las personas con discapacidad hacia los cruces peatonales. También el ancho recomendable de veredas es 1.80 metros y un mínimo de 1.50 metros, el ancho de la vereda está relacionado con el volumen de personas que transitan por el lugar. En el caso que por la vereda circulen ciclistas el ancho mínimo debe ser 3.00 metros para comodidad de los peatones y ciclistas¹⁸.

¹⁸Cfr. NCHRP Report 672 2010:223-224

Gráfico 0-22: Elementos de diseño para cruces peatonales

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

La ubicación de los cruces peatonales requiere de coherencia, se basa en el equilibrio de comodidad del peatón, seguridad del peatón y operación del óvalo.

La comodidad del peatón se centra en ubicar los cruces a la distancia más corta posible del óvalo para generar menos tiempos de viaje fuera de su dirección, ya que es probable que el peatón elija la ruta más corta y esta le genere posibles accidentes. También es recomendable colocar los cruces peatonales detrás de la línea de entrada al óvalo, debido a que es el lugar donde se forman las colas, los vehículos disminuyen su velocidad y es más probable que se detengan ante el cruce.

La seguridad de los peatones se basa en dos aspectos en la distancia de cruce y la ubicación del cruce peatonal. La distancia debe ser mínima para no exponer a los peatones a los conflictos vehiculares que se generen. Como se mencionó en el párrafo anterior ubicar el cruce detrás de la línea de entrada genera que los conductores presten mayor atención a los peatones que vayan a cruzar y puedan sobre-parar o detenerse.

La operación del óvalo se puede ver afectada por la ubicación de los cruces peatonales, con mayor incidencia en las salidas del óvalo porque se generan colas. Esto conlleva a una mala circulación en la calzada central del óvalo. Se recomienda

ubicar los cruces a una distancia mayor a la de un vehículo, ya que reduce la probabilidad de generarse colas en la calzada central¹⁹.

Gráfico 0-23: Cruces peatonales

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

Gráfico 0-24: Cruce peatonal

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

2.4.2 Consideraciones para el diseño de estacionamientos

Los estacionamientos en los óvalos no son propicios para la eficiencia y seguridad de la misma, por lo que son habitualmente prohibidos. Los estacionamientos deben estar situados a una suficiente distancia de las entradas y salidas para permitir la

¹⁹Cfr. NCHRP Report 672 2010:224-225

visibilidad de los peatones y no interrumpir las operaciones del mismo óvalo. Por recomendación de la AASHTO el límite de los estacionamientos debe ser de por lo menos 6.10 metros a un cruce²⁰.

2.4.3 Consideraciones para la ubicación de paraderos de autobús

Los paraderos de ser ubicados a una distancia suficiente de las entradas y salida y por ninguna razón deben estar dentro del óvalo. Los paraderos son ubicados y diseñados en base a dos condiciones, paradas cercanas y paradas lejanas.

Si se va ubicar una parada cercana al óvalo, esta debe estar lo suficientemente lejos de la isla divisora para que si un vehículo desea sobrepasar al autobús no se genere un accidente por una maniobra forzada a consecuencia de la cercanía de la isla divisora. Se permite, en óvalos de un solo carril, ubicar los paraderos en los cruces peatonales. Sin embargo, en los óvalos de varios carriles no es recomendable esa ubicación porque el conductor de otro vehículo no tiene la suficiente visibilidad para ver a los peatones que crucen, por lo que el paradero debería estar por lo menos 15.00 metros alejado del cruce peatonal.

Los paraderos del otro lado del óvalo deben ser ubicados más allá de los cruces peatonales para aumentar la visibilidad de los peatones de los vehículos que salen del óvalo²¹.

2.4.4 Enfoque en entornos de alta velocidad

En entornos de alta velocidad la preocupación principal es la seguridad, por lo que se tiene que lograr que el conductor tome conciencia cuando se acerca a un óvalo a una distancia que le permita desacelerar a la velocidad adecuada. En el diseño de óvalos en entornos de alta velocidad se utiliza básicamente las mismas características que en el diseño de un óvalo de baja velocidad, pero con mayor atención en estos.

Entre las características principales tenemos:

²⁰Cfr. NCHRP Report 672 2010:231

²¹Cfr. NCHRP Report 672 2010:231

- Visibilidad: Debe existir una adecuada visibilidad de los elementos que componen un óvalo para reducir los posibles accidentes que se podrían generar por una mala visibilidad de algún elemento.
- Islas Divisoras: La longitud de las islas divisoras influye en la cómoda y adecuada desaceleración de los vehículos a la entrada al óvalo. Las islas van aumentando su ancho mientras más cerca se encuentren de la entrada. La longitud mínima para una adecuada desaceleración es de 60 metros antes de llegar al óvalo.

Gráfico 0-25: Curvas de desaceleración en óvalos

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

- Curva de aproximación: El diseño de las dimensiones de las curvas de aproximación al óvalo son importantes, ya que disminuyendo el radio de la curva de aproximación se reduce el choque o impacto entre los vehículos que ingresan, por otro lado, al reducir el radio también se podría generar accidentes de un solo vehículo. Un método muy usado para reducir las velocidades, a su vez los accidentes en el óvalo y de un solo vehículo; es el uso de curvas

sucesivas con límite de velocidades de ingreso a las curvas de 60 km/h lo que minimiza los accidentes²².

Gráfico 0-26: Parámetros para radios de desaceleración en entradas

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672 (2010)

²²Cfr. NCHRP Report 672 2010:232-234

CAPÍTULO 3. METODOLOGÍA, RECOLECCIÓN DE DATOS Y PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

En este capítulo se expondrá la metodología que propone el Highway Capacity Manual 2010 (HCM-2010) para determinar la capacidad de una intersección tipo óvalo y a su vez se recopilará, procesará y analizará la data necesaria para desarrollar esta metodología y determinar los niveles de servicio para esta intersección.

3.1 Capacidad de los óvalos

La capacidad de los óvalos se ve influenciado por los patrones de flujo, el flujo de entrada, el flujo de conflicto y el flujo de salida. La capacidad de acceso decrece mientras aumenta el flujo de conflicto. El principal flujo de conflicto es el flujo circulatorio que entra en conflicto con el flujo de entrada, además el flujo de salida puede afectar en la decisión del conductor para entrar al óvalo²³.

Gráfico 0-1: Diseño por capacidad

Fuente: Adaptada del Highway Capacity Manual 2010

²³ Cfr. HCM 2010: 968

3.1.1 Óvalos de varios carriles

Los óvalos de varios carriles tienen más de un carril de entrada y por lo menos uno en la calzada circulatoria. El número de carriles de entradas, salidas y circulación pueden variar a través del óvalo.

La capacidad de dos carriles de entrada en conflicto con el carril de circulación se calcula bajo la siguiente ecuación²⁴.

$$C_{e,pce} = 1,130 \times e^{(-1.0 \times 10^{-3}) \times v_{c,pce}}$$

$C_{e,pce}$ = Capacidad de los carriles de entrada ajustada por vehículos pesados (pc/h)

$v_{c,pce}$ = Ratio de flujo conflictivo (pc/h)

Gráfico 0-2: Capacidad de dos carriles de entrada con un carril de circulación

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

La capacidad un solo carril de entrada en conflicto con dos carriles de circulación se calcula con la siguiente ecuación²⁵.

$$C_{e,pce} = 1,130 \times e^{(-0.70 \times 10^{-3}) \times v_{c,pce}}$$

²⁴ Cfr. HCM 2010:970-971

²⁵ Cfr. HCM 2010:972

$C_{e,pce}$ = Capacidad del carril de entrada ajustado por vehículos pesados (pc/h)

$v_{c,pce}$ = Ratio de flujo conflictivo de los carriles (pc/h)

Gráfico 0-3: Capacidad de un carril de entrada con dos carriles de circulación

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

La capacidad de dos carriles de entrada en conflicto con dos carriles de circulación²⁶.

$$C_{e,R,pce} = 1,130 \times e^{(-0.70 \times 10^{-3}) \times v_{c,pce}}$$

$$C_{e,L,pce} = 1,130 \times e^{(-0.75 \times 10^{-3}) \times v_{c,pce}}$$

$C_{e,R,pce}$ = Capacidad del carril derecho de entrada ajustado por vehículos pesados (pc/h)

$C_{e,L,pce}$ = Capacidad del carril izquierdo de entrada ajustado por vehículos pesados (pc/h)

$v_{c,pce}$ = Ratio de flujo conflictivo de los carriles (pc/h)

²⁶ Cfr. HCM 2010:972

Gráfico 0-4: Capacidad de dos carriles de entrada con dos carriles de circulación

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.1.2 Carril de derivación a la derecha

Existen dos tipos de carriles de derivación a la derecha y son usados en los óvalos de un solo carril y varios carriles. En ambos tipos los conductores deben ceder el paso a los peatones que cruzan el carril de derivación²⁷.

3.1.2.1 Carril de derivación tipo I

El carril de derivación concluye con ángulos elevados, con giros a la derecha para salir del tráfico.

La capacidad del carril de derivación con la oposición de un carril de salida, se aproxima a:

$$C_{Bypass,pce} = 1,130 \times e^{(-1.0 \times 10^{-3}) \times v_{ex,pce}}$$

La capacidad del carril de derivación con la oposición de dos carriles de salida, se aproxima a²⁸:

$$C_{Bypass,pce} = 1,130 \times e^{(-0.70 \times 10^{-3}) \times v_{ex,pce}}$$

²⁷ Cfr. HCM 2010:973

²⁸ Cfr. HCM 2010:973-974

$C_{Bypass,pce}$ = Capacidad del carril de derivación ajustado por vehículos pesados (pc/h)

$v_{ex,pce}$ = Ratio de flujo de salida conflictivo (pc/h)

Gráfico 0-5: Carril de derivación tipo I

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.1.2.2 Carril de derivación tipo II

El carril de derivación concluye en ángulos pequeños con salida de tráfico o forma un nuevo carril adyacente para salida de tráfico. Se espera que la capacidad sea alta debido a la unión de dos flujos a velocidades similares²⁹.

²⁹Cfr. HCM 2010:974

Gráfico 0-6: Carril de derivación tipo II

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.2 Procedimiento de análisis

El procedimiento para el cálculo de capacidad se enfoca en los siguientes pasos:

3.2.1 Demanda de volúmenes a ratios de flujos

En un análisis de condiciones existentes, los periodos de 15 minutos se pueden medir en campo. Los volúmenes obtenidos en los periodos de 15 minutos se convierten en ratios de flujos de demanda multiplicando los volúmenes de los 15 minutos por 4.

Mientras que un análisis de proyección o cuando no se cuenta con datos de periodos de 15 minutos, el volumen de demanda de una hora para cada movimiento se convierte a ratios de flujos de demanda de 15 minutos en vehículos por hora. Se obtiene utilizando la siguiente ecuación³⁰.

³⁰Cfr. HCM 2010:976

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} \quad (veh/hr)$$

Donde:

v_i = Ratios de flujos de demanda para movimiento i (veh/hr)

V_i = Volumen de demanda para movimiento i (veh/hr)

PHF = Factor de hora pico

3.2.2 Ajuste de ratios de flujos por vehículos pesados

Las ratios de flujos para cada movimiento se pueden ajustar por el tipo de vehículo y usando unos factores. Los tipos de vehículos son, automóvil y vehículo pesado con factores de vehículo equivalente de 1 y 2 respectivamente. Estos valores se utilizan en la siguiente ecuación³¹:

$$v_{i, pce} = \frac{v_i}{f_{HV}}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \times (E_T - 1)}$$

Donde:

$v_{i, pce}$ = Ratio de flujo de demanda para movimiento i (pc/h)

v_i = Ratios de flujos de demanda para movimiento i (veh/hr)

f_{HV} = Factor de ajuste de vehículos pesados

P_T = Porcentaje de vehículos pesado del volumen de demanda

E_T = Vehículo equivalente de vehículos pesados

3.2.3 Determinar ratios de flujos de circulación y salida

Las ratios de flujos de circulación y salida son calculadas para cada entrada del óvalo.

3.2.3.1 Ratio de flujos de circulación

El flujo de circulación que se opone a una entrada se conoce como el flujo conflictivo con el flujo de entrada. El cálculo del ratio del flujo de circulación hacia

³¹Cfr. HCM 2010:976

el norte es como se muestra a continuación. Los flujos deben estar en vehículos equivalentes³².

$$v_{c, NB, pce} = v_{WBU, pce} + v_{SBL, pce} + v_{SBU, pce} + v_{EBU, pce} + v_{EBL, pce} + v_{EBT, pce}$$

Gráfico 0-7: Flujo de circulación hacia el norte

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.2.3.2 Ratio de flujo salida

El ratio del flujo de salida de un ramal dado es usado principalmente en el cálculo del flujo conflictivo por carriles de derivación hacia la derecha. Si el carril de derivación se encuentra en la entrada siguiente, el flujo del que circula por este carril se reduce del flujo de salida hacia el sur mediante la siguiente formula³³.

$$v_{ex, SB, pce} = v_{NBU, pce} + v_{WBL, pce} + v_{SBT, pce} + v_{EBR, pce} - v_{EBR, pce}$$

³²Cfr. HCM 2010:976-977

³³Cfr. HCM 2010:977-978

Gráfico 0-8: Flujo de salida hacia el sur

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.2.4 Determinar ratios de flujos de entrada por carril

Para un solo carril de entrada el flujo de entrada será la suma de los flujos de todos los movimientos de esa entrada. Para varias entradas o entrada con carril de derivación o ambos. Se debe considerar que, si el carril de derivación hacia la derecha es habilitado, el flujo de este carril no es usado en el cálculo del flujo de entrada del óvalo. Si solo un carril está disponible para un movimiento, el flujo se le asigna solo a ese carril.

Existen cinco casos de varios carriles que se pueden analizar con este procedimiento. Los ratios de flujos puede asignarse para cada carril utilizando las siguientes formulas³⁴.

³⁴Cfr. HCM 2010:978-979

Tabla 0-1: Determinación de los flujos de entrada

Caso	Asignación de carril asumido	Carril izquierdo	Carril derecho
1	L, TR	$v_U + v_L$	$v_T + v_{R,e}$
2	LT, R	$v_U + v_L + v_T$	$v_{R,e}$
3	LT, TR	$\%LL \times v_e$	$\%RL \times v_e$
4	L, LTR	$\%LL \times v_e$	$\%RL \times v_e$
5	LTR, L	$\%LL \times v_e$	$\%RL \times v_e$

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

Donde:

v_U = Flujo de entrada en "U"

$\%LL$ = Porcentaje de flujo en el carril izquierdo

v_L = Flujo de entrada a la izquierda

$\%RL$ = Porcentaje de flujo en el carril derecho

v_T = Flujo de entrada a través

$v_{R,e}$ = Flujo de entrada a la derecha sin carril de derivación

3.2.5 Determinar la capacidad de cada carril de entrada y carril de derivación en vehículo equivalente

El cálculo de las capacidades se realiza con las ecuaciones mostradas en los párrafos del acápite 3.1.1.

Tabla 0-2: Determinación de la capacidad de los carriles de entrada

Carriles de entrada	Carriles de circulación en conflicto	Ecuación de capacidad
1	1	Capacidad de un óvalo de un solo carril
2	1	Capacidad de dos carriles de entrada en conflicto con un carril de circulación
1	2	Capacidad de un carril de entrada en conflicto con dos carriles de circulación
2	2	Capacidad de dos carriles de entrada en conflicto con dos carriles de circulación

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

Mientras para los carriles de derivación a la derecha con las fórmulas mostradas en el acápite 3.1.2.

Tabla 0-3: Determinación de la capacidad de los carriles de derivación

Carriles de salida	Ecuación
1	Carril de derivación opuesto a un carril de salida
2	Carril de derivación opuesto a dos carriles de salida

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

3.2.6 Determinar el factor de ajuste por impedimento de los peatones

El suficiente tránsito de peatones puede reducir la capacidad de entrada a un óvalo. Normalmente estos cruzan entre las colas que se forman a las entradas por lo que

afectan directamente a la capacidad, además afecta al flujo de conflicto. Por lo que se tiene que realizar un ajuste por peatones³⁵.

Para un solo carril de entrada se realiza lo siguiente:

Tabla 0-4: Factores de ajuste para los peatones para un solo carril

Casos	Factor de ajuste por peatones
$v_{c,pce} > 881$	$f_{ped} = 1$
$n_{ped} \leq 101$	$f_{ped} = 1 - 0.000137n_{ped}$
$n_{ped} > 101$	$f_{ped} = \frac{1,119.5 - 0.715v_{c,pce} - 0.644n_{ped} + 0.00073v_{c,pce}n_{ped}}{1,068.6 - 0.654v_{c,pce}}$

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

Para dos carriles de entrada

Tabla 0-5: Factores de ajuste para los peatones para varios carriles

Casos	Factor de ajuste por peatones
$n_{ped} < 100$	$f_{ped} = \min\left[1 - \frac{n_{ped}}{100} \left(1 - \frac{1,260.6 - 0.329v_{c,pce} - 0.381 \times 100}{1,380 - 0.5v_{c,pce}}\right), 1\right]$
$n_{ped} \geq 100$	$f_{ped} = \min\left[\frac{1,260.6 - 0.329v_{c,pce} - 0.381n_{ped}}{1,380 - 0.5v_{c,pce}}, 1\right]$

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

Donde:

f_{ped} = Factor de ajuste por peatones

n_{ped} = Número de peatones en conflicto por hora (p/h)

$v_{c,pce}$ = Flujo de conflicto vehicular en la calzada de circulación (pc/h)

³⁵Cfr. HCM 2010:979-980

3.2.7 Convertir el flujo y la capacidad de un carril en vehículos por hora

Flujo de un carril en vehículos por hora:

$$v_i = v_{i,pce} \times f_{HV,e}$$

Capacidad de un carril en vehículos por hora³⁶

$$C_i = C_{i,pce} \times f_{HV,e} \times f_{ped}$$

Donde:

v_i = Flujo para el carril i (veh/hr)

$v_{i,pce}$ = Flujo para el carril i (pc/hr)

C_i = Capacidad para el carril i (veh/hr)

$C_{i,pce}$ = Capacidad para el carril i (pc/hr)

f_{ped} = Factor de ajuste por peatones

$f_{HV,e}$ = Factor de ajuste por vehículo pesado para carril de entrada

$$f_{HV,e} = \frac{f_{HV,U}v_{U,PCE} + f_{HV,L}v_{U,PCE} + f_{HV,T}v_{T,PCE} + f_{HV,R}v_{R,PCE}}{v_{U,PCE} + v_{U,PCE} + v_{T,PCE} + v_{R,PCE}}$$

3.2.8 Cálculo de la relación volumen - capacidad para cada carril

La relación volumen-capacidad de un carril es el resultado de la división del flujo de demanda entre la capacidad del carril

$$x_i = \frac{v_i}{C_i}$$

Donde:

x_i = Ratio de volumen-capacidad para un carril i

v_i = Flujo de demanda para un carril i (veh/hr)

C_i = Capacidad del carril i (veh/hr)

³⁶Cfr. HCM 2010:981-982

3.2.9 Cálculo de tiempo de espera por cada carril

El control de retardo o demoras se puede calcular de manera similar a la de otras intersecciones, mediante la siguiente ecuación³⁷.

$$d = \frac{3,600}{c_i} + 900T \times \left[x_i - 1 + \sqrt{(x_i - 1)^2 + \frac{\left(\frac{3,600}{c_i}\right) x_i}{450T}} \right] + 5 \times \min[x_i, 1]$$

Donde:

d = Control de retardo (s/veh)

x_i = Ratio de volumen-capacidad para un carril i

C_i = Capacidad del carril i (veh/hr)

T = Periodo de tiempo (hr), para 15 minutos $T=0.25$ hr

3.2.10 Determinar niveles de servicio para cada carril

La determinación de los niveles de servicio está relacionada con el control de retardo y la relación de volumen-capacidad

Tabla 0-6: Niveles de servicio

Control de retardo	Ratio volumen-capacidad	
(s/veh)	$v/c \leq 1.00$	$v/c > 1.00$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Fuente: Adaptado del Highway Capacity Manual 2010

³⁷Cfr. HCM 2010:982

3.2.11 Cálculo de tiempo de espera y determinar los niveles de servicio para cada entrada y el óvalo

El cálculo del retardo para cada entrada se realiza mediante un promedio ponderado del retardo de cada carril.

$$d_{entrada} = \frac{d_{LL}v_{LL} + d_{RL}v_{RL} + d_{Bypass}v_{Bypass}}{v_{LL} + v_{RL} + v_{Bypass}}$$

El cálculo del retardo del óvalo se obtiene un promedio ponderado del retardo de cada entrada³⁸

$$d_{óvalo} = \frac{\sum d_i v_i}{\sum v_i}$$

Los niveles de servicio de cada entrada y del óvalo se obtienen como se indicó anteriormente.

3.2.12 Cálculo de las colas de 95% percentil de cada carril

De acuerdo a la metodología presentada en el Highway Capacity Manual 2010 el cálculo de la cola de 95% percentil de cada carril de cada entrada se realiza aplicando la siguiente formula que depende de la relación volumen-capacidad y de la capacidad de cada carril

$$Q_{95} = 900T \times \left[x - 1 + \sqrt{(1 - x)^2 + \frac{\left(\frac{3,600}{c}\right)x}{150T}} \right] \times \frac{c}{3,600}$$

Donde:

Q_{95} = Colas de 95% percentil (veh)

x = Ratio de volumen-capacidad para el carril analizado

c = Capacidad del carril analizado (veh/hr)

T = Periodo de tiempo (hr), para 15 minutos $T=0.25$ hr

³⁸Cfr. HCM 2010:983-984

3.3 Recolección de datos

- **Situación Actual**

El Óvalo José Quiñones actualmente atraviesa una crisis en su funcionamiento, sobre todo en las horas punta de las mañanas (entre las 7 am. hasta las 9 am.) y de las noches (entre las 6 pm. hasta las 9 pm.), y es que en estas horas es donde el tráfico se intensifica en gran dimensión. Estos intervalos de tiempo representan el congestionamiento vehicular que se genera en ambos sentidos, es decir, en las mañanas se genera tráfico en esta intersección; esto se debe a que, según lo consultado a los conductores, gran cantidad de vehículos quieren llegar a la Av. Javier Prado, ya que esta les permite conectarse con sus lugares de destino (San Luis, San Borja, La Victoria, etc.). Mientras que, en las horas mencionadas de la noche, los pobladores regresan a sus hogares de su lugar de trabajo. En el resto de horas el día, el óvalo trabaja con normalidad, ya que en esos momentos el flujo vehicular se reduce hasta un 50%. De las visitas que se realizaron al Óvalo José Quiñones se pudo identificar lo siguiente:

- **Vehículos que transitan por la zona.**

El Óvalo José Quiñones es una intersección importante que se ubica entre los distritos de San Borja y San Isidro, ya que permite conectar diferentes distritos como San Luis, La Victoria, Surquillo, San Borja, San Isidro. Esto es fundamental, puesto a que no solo los conecta de manera privada, es decir existen vehículos públicos que transitan a través de esta vía. Por lo cual es importante identificar los vehículos que transitan a través de esta vía para poder obtener un diseño el cual permita obtener resultados reales para la situación que actualmente atraviesa esta intersección. De lo analizado en las visitas de campo se pudo identificar que los vehículos que transitan por el Óvalo José Quiñones son principalmente automóviles, sin embargo, es importante indicar que también transitan ómnibus de transporte público, ómnibus interprovinciales, y algunos camiones, pero en menor proporción, es decir que su tránsito a través de la zona no es muy seguido, pero que si se debe de tener en cuenta para el diseño adecuado de la vía.

Gráfico 0-9: Vehículo de diseño

Fuente: Imagen Propia

Señalización. En el óvalo José Quiñones, según lo analizado en la visita de campo, se pudo encontrar que tanto en la calzada como en algunos puntos convenientes se cuenta con señalización. Sin embargo, esta es limitada y no está en toda la intersección. La señalización es un factor importante en el funcionamiento de este tipo de intersección, ya que los óvalos están diseñados para ser regulados y orientados a través de estas señales de tránsito. Asimismo, indicar que en las horas punta también los municipios tanto de San Borja como San Isidro colocan algunos inspectores de tránsito en las zonas de mayor congestionamiento vehicular para controlar el tráfico.

Gráfico 0-10: Señalización en el óvalo

Fuente: Imagen Propia

Cruces peatonales. El Óvalo José Quiñones, si bien es cierto no fue en una primera instancia diseñada para considerar un flujo considerable de peatones, pero en la actualidad con el crecimiento económico-urbano de la zona se ha visto afectado este diseño. Es decir, hoy en día, se ven muchos transeúntes los cuales cruzan esta durante el día. Sin embargo, cruzar esta vía no es sencillo especialmente en las horas puntas, horas en las cuales los peatones intentan llegar a sus destinos. A esto se suma que en el diseño que existe actualmente en algunas zonas del óvalo quiñones no se ha considerado adecuadamente los cruces peatonales; por ejemplo, cruzar por la isla central es muy complicado para los peatones, ya que tiene que cruzar aproximadamente 9.5 m. para llegar a esta sin ningún dispositivo de control para los conductores, como reduzca la velocidad, ceda el paso o un rompe muelle. No obstante, no quiere decir que estas señales no existan en el óvalo, si existen, pero en el cruce de algunos carriles de entrada más no para el cruce por la isla central.

Cruce importante, ya que las personas prefieren cruzar a través de esta vía que cruzar por los canales adyacentes a la calzada circulatoria.

Gráfico 0-11 : Cruces peatonales

Fuente: Imagen Propia

Canalización. En la actualidad, el Óvalo José Quiñones, presenta un diseño deficiente en cuanto a este tema, puesto que se puede ver que muchos vehículos cambian de carril considerablemente. Al cambiar de carril los vehículos generan dos importantes consecuencias una de las principales es el congestionamiento al invadir la vía por la que transita el otro vehículo y la otra consecuencia que puede generar son los accidentes. Por ello es muy importante tener en cuenta este parámetro ya que de alguna manera permite a los conductores tener un viaje más cómodo y seguro.

3.4 Datos de Campo

Para tener un resultado que se asemeje más a la realidad se realizaron visitas a la zona de estudio con la finalidad de obtener algunos parámetros que nos permitan modelar la situación actual y real que atraviesa el Óvalo José Quiñones. En las siguientes líneas se muestran algunos resultados de los análisis realizados.

3.4.1 Características Geométricas del óvalo

Para una correcta modelación del problema se realizaron visitas a campo para obtener las dimensiones actuales y poder representar al óvalo José Quiñones, se obtuvieron los siguientes resultados (Véase Plano PMO-VS-02 y Plano PMO-VS-03):

Actualmente la isla central del óvalo tiene un área aproximada de 6,972.00 m². EL número de carriles que presenta esta intersección es de 3 carriles en la calzada circulatoria y tanto los carriles de entrada y salida están comprendidos de 2 carriles. Asimismo, indicar que en las avenidas José Gálvez Barrenechea y Guardia Civil presentan un carril auxiliar para estacionamiento. El ancho de la calzada circulatoria es de 9.30 m y cada carril tiene una dimensión aproximada de 3.10 m (véase el punto 1 de la Tabla 3-7). Para una mejor interpretación de las medidas se asignó un número a cada vía de acceso a la intersección en estudio (Véase en el gráfico 3-12). Cada número corresponde a una entrada y salida hacia el óvalo José Quiñones el número 2 representa a la entrada y salida al óvalo que viene de la avenida Tomas Marsano, distrito de Surquillo, la número 3 corresponde a la entrada y salida que viene del distrito de Surquillo y San Borja, el número 4 y el número 5 son la vías que conectan a la avenida Javier Prado y finalmente el número 6 que corresponde a la Calle Federico Remington que es una entrada que llega al óvalo desde el Distrito de San Borja.

Gráfico 0-12: Plano de detalle de dimensiones de carriles

Fuente: Imagen Propia

En la siguiente tabla se adjuntan las dimensiones de cada entrada y salida al óvalo.

Tabla 0-7: Dimensiones de los carriles del Óvalo José Quiñones

DESCRIPCIÓN	ENTRADA (m)	SALIDA (m)	ANCHO DE CARRIL DE ENTRADA(m)	ANCHO DE CARRIL DE SALIDA(m)
1	9.30	9.30	3.10	3.10
2	8.85	6.55	4.77	3.20
3	7.66	8.52	3.55	4.14
4	8.77	6.12	4.24	3.05
5	9.2	7.18	3.96	4.13
6	6.20	-	3.20	

Fuente: Elaboración Propia

3.4.2 Aforos

La Municipalidad de San Isidro en octubre del año 2015 realizó el aforo vehicular y peatonal del Óvalo José Quiñones, utilizaron el método manual a través de plantillas de conteo (Véase ANEXO 3), el cual fue brindado para esta investigación. Para lo cual se realizó un aforo para validar el trabajo realizado por la Municipalidad de San Isidro (Véase ANEXO 4). Además, en octubre del año 2016 se realizó otro aforo (Véase ANEXO 5) para tener la data necesaria para la modelación.

Gráfico 0-13: Aforo vehicular

Fuente propia

3.4.2.1 Aforo vehicular

Para el procedimiento de validación del aforo se realizó 3 aforos en la intersección y a partir de estos resultados se pudo concluir que los datos proporcionados por la Municipalidad de San Isidro eran correctos. El procedimiento que realizaron para realizar el aforo fue contar con cinco estaciones de conteo con 6 personas en cada una. El esquema de las localizaciones se presenta en el gráfico 3-14, de donde se puede observar que cada estación está ubicada en cada entrada al óvalo José Quiñones.

Gráfico 0-14: Distribución de estaciones de conteo

Fuente propia

En la siguiente tabla se puede apreciar en que acceso se encuentra cada localización:

Tabla 0-8: Ubicación de estaciones

Punto de Aforo	Ubicación
Estación 1	Ca. Remington
Estación 2	Av. José Gálvez Barrenechea (San Borja)
Estación 3	Av. Guardia Civil (San Isidro)
Estación 4	Av. José Gálvez Barrenechea (San Isidro)
Estación 5	Av. Guardia Civil (San Borja)

Fuente: Tabla Propia

En la siguiente tabla se observa los conteos del aforo del año 2015 proporcionado por la municipalidad de San Isidro y los aforos del año 2016:

Tabla 0-9: Volúmenes vehiculares en Hora Pico del Año 2015 y 2016

Descripción	Volumen(veh/hora)	
	Año 2015	Año 2016
Turno Mañana	6062	6645
Turno Tarde	3559	-
Turno Noche	3884	-
Total	13353	6645

Fuente: Adaptado del aforo proporcionado de la Municipalidad de San Isidro

De esta información se pudo precisar que la hora pico de esta intersección se genera en el turno de la mañana, comprendido entre las horas de 8:00 a 9:00 am. Asimismo, se pudo identificar el porcentaje de incidencia de cada giro y el porcentaje de vehículos según la clase de vehículo (auto, camión, bus, moto, etc.) que se desplaza en la intersección, datos que se emplearan más adelante para realizar la simulación del óvalo en el software Vissim 7.0.

Sin embargo, luego de analizar esta intersección se requirió realizar un aforo adicional de un giro en U que está dentro de la zona de influencia del óvalo José Quiñones y es uno de los puntos críticos que genera congestionamiento en esta intersección. Este aforo fue realizado para la hora pico ya establecida.

En los siguientes párrafos se analizará más a detalle cómo afecta la operatividad de esta intersección el exceso de vehículos en determinadas horas, es decir, se evaluará la capacidad del óvalo.

3.4.2.2 Aforo peatonal

Para el análisis por capacidad propuesto por el HCM 2010 (Highway Capacity Manual) es necesario determinar el número de peatones que transitan por la vía.

Para realizar los conteos peatonales se tuvo en consideración los accesos con los que cuenta la intersección actualmente y también se estimó el flujo peatonal que realiza el cruce de la intersección a través de la calzada circulatoria. El esquema de distribución de las estaciones de conteo se muestra en la siguiente imagen (gráfico 3-15).

Gráfico 0-15: Esquema de distribución de aforo peatonal

Fuente propia

Los volúmenes obtenidos producto de los aforos peatonales para las horas más críticas (turno mañana, el cual comprende el período de 8 am a 9:30 am) identificada en nuestro proyecto se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 0-10: Volúmenes de aforo peatonal año 2015 y 2016

Peatones	A		B		C		D		E		F		G	
Año	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016	2015	2016
Hombres	97	88	40	46	13	28	59	53	15	34	87	114	61	76
Mujeres	49	63	170	215	5	17	41	78	11	16	57	47	24	19
Niños	2	5	0	3	0	2	0	0	0	0	0	6	0	0
Sub-total	148	156	210	264	18	47	100	131	26	50	144	167	85	95

Fuente: Elaboración Propia

3.5 Análisis de la situación actual según la metodología del HCM 2010

Con la metodología planteada en la sección 3.2, el aforo del 2015, brindado por la Municipalidad de San Isidro, y el aforo del 2016 se elaboró los diagramas de los flujos del óvalo, para más detalle ver ANEXO 6 y 8. Además en los ANEXOS 7 y 9 se presenta la composición vehicular. En los siguientes párrafos se mostrará el

análisis de con el aforo del 2015 y el análisis con el aforo del 2016 se presentará en el ANEXO 10.

Gráfico 0-16: Flujograma Aforo del óvalo año 2015

Fuente: Elaboración Propia

3.5.1 Demanda de volúmenes a ratios de flujos

Con el aforo del 2015 se calcula los flujos con la expresión mencionada a continuación.

$$v_i = \frac{V_i}{PHF} (veh/hr)$$

En la siguiente tabla podemos apreciar los flujos, por giros y sentidos, de la aplicación de la fórmula con el aforo esquematizado en el gráfico 3.16.

Tabla 0-11: Volúmenes de tránsito

Sur - Norte								
11	12	13	14	15	11A	12A	13A	14A
0	128	398	15	320	0	103	1,050	414

Norte - Sur									
20	21	22	23	24	20A	21A	22A	23A	24A
5	347	612	0	308	0	135	1,092	47	1,127

Este - Oeste			
41	42	43	44
0	405	635	213

Fuente: Elaboración Propia

3.5.2 Ajuste de ratios de flujos por vehículos pesados

Los factores de ajuste por vehículo pesado tanto para sur y norte son de 0.99 y para el caso de este y oeste es 1.

Con la siguiente fórmula se realizan los cálculos correspondientes y se obtienen los siguientes resultados:

$$v_{i, pce} = \frac{v_i}{f_{HV}}$$

$$f_{HV} = \frac{1}{1 + P_T \times (E_T - 1)}$$

Tabla 0-12: Ajuste de Flujos por Vehículo Pesado

Sur - Norte								
Vnbu	Vnbl	Vnbt	Vnbr(1)	Vnbr(2)	Vnbu(1)	Vnbu(2)	Vnbl	Vnbt
11	12	13	14	15	11A	12A	13A	14A
0	129	401	15	323	0	104	1,059	417

Norte - Sur									
Vsbu	Vsbt(1)	Vsbt(2)	Vsbr(1)	Vsbr(2)	Vnbu(1)	Vnbu(2)	Vnbl	Vnbt	
20	21	22	23	24	20A	21A	22A	23A	24A
5	350	617	0	311	0	136	1,101	47	1,136

Este - Oeste			
Vwbl(1)	Vwbl(2)	Vwbt	Vwbr
41	42	43	44
0	405	635	213

Fuente: Elaboración Propia

3.5.3 Determinar ratios de flujos de circulación

Con los flujos calculados en el paso anterior se procede a calcular los flujos de circulación, para lo cual se calcularon los flujos de circulación de las cinco ubicaciones, los cuales se muestran en la siguiente tabla y gráfico.

Tabla 0-13: Flujos de circulación

1	12	+	13	+	20	+	21A			
Vc,Nb1,pce =	129.00	+	401.00	+	5.00	+	136.00	=	671.00	pc/h

2	20	+	21	+	21A	+	22A			
Vc,Nb2,pce =	5.00	+	350.00	+	136.00	+	1,101.00	=	1,592.00	pc/h

3	12	+	13	+	12A	+	13A	+	14A	+	20	+	21A			
Vc,Wb,pce =	129.00	+	401.00	+	104.00	+	1,059.00	+	417.00	+	5.00	+	136.00	=	2,251.00	pc/h

4	12	+	12A	+	13A	+	42	+	43			
Vc,Sb1,pce =	129.00	+	104.00	+	1,059.00	+	405.00	+	635.00	=	2,332.00	pc/h

5	12A	+	20	+	21	+	22	+	42			
Vc,Sb2,pce =	104.00	+	5.00	+	350.00	+	617.00	+	405.00	=	1,481.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 0-17: Ubicación de los flujos de circulación

Fuente: Elaboración Propia

3.5.4 Determinar ratios de flujos de entrada por carril

Para obtener los flujos de entrada por cada carril se tiene en consideración los parámetros mencionados ya anteriormente en el subcapítulo 3.2 y en la siguiente tabla de los porcentajes asumidos para cada carril, de ser el caso.

Tabla 0-14: Porcentaje por Carril Asumido

Configuración	% Carril Izquierdo	% Carril Derecho
LT, LR	47%	53%
LTR, R	47%	53%
L, LTR	53%	47%

Fuente: Elaboración Propia

Así mismo cabe mencionar que para las entradas N° 2 y N° 5 se asumió el porcentaje respectivo para el carril asumido. En las siguientes tablas se muestra los resultados:

Tabla 0-15: Flujo de entrada N° 1

Entrada N° 1 - Gálvez Barrenechea (Hacia el Norte)		
Carril Derecho	417.00	pc/h
Carril Izquierdo	1,163.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-16: Flujo de entrada N° 2

Entrada N° 2 - Guardia Civil (Hacia el Norte)		
¿Qué carril usará el factor		Carril Derecho
¿Qué factor de usará		0.53
Flujo Derecha	15.00	pc/h
Flujo De frente	401.00	pc/h
Flujo Izquierda	129.00	pc/h
Total	545.00	pc/h
Carril Derecho	289.00	pc/h
Carril Izquierdo	256.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-17: Flujo de entrada N° 3

Ingreso 3 - Guardia Civil (Hacia el Sur)		
Carril Derecho	617.00	pc/h
Carril Izquierdo	355.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-18: Flujo de entrada N° 4

Entrada 4 - Gálvez Barrenechea (Hacia el Sur)		
Carril Derecho	47.00	pc/h
Carril Izquierdo	1,237.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-19: Flujo de entrada N° 5

Entrada 5 - Remington (Hacia el Oeste)		
¿Qué carril usará el factor		Carril Derecho
¿Qué factor de usará		0.53
Flujo Derecha	213.00	pc/h
Flujo De frente	635.00	pc/h
Flujo Izquierda	405.00	pc/h
	1,253.00	pc/h
Carril Derecho	664.00	pc/h
Carril Izquierdo	589.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

3.5.5 Determinar la capacidad de cada carril de entrada

Con la aplicación de las fórmulas descritas en el subcapítulo 3.2 se obtuvieron los siguientes resultados.

Tabla 0-20: Capacidad de cada carril por entrada

	Entradas					
	N° 1	N° 2	N° 3	N° 4	N° 5	
Carril Derecho	706.00	371.00	221.00	401.00	234.00	pc/h
Carril Izquierdo	683.00	342.00	197.00	372.00	209.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

3.5.6 Determinar el factor de ajuste por impedimento de peatones

El suficiente tránsito de peatones puede reducir la capacidad de entrada a un óvalo. Normalmente estos cruzan entre las colas que se forman a las entradas por lo que podría afectar directamente a la capacidad, además afecta al flujo de conflicto. Por lo que se tiene que verificar si es necesario realizar un ajuste por peatones, en la siguiente tabla 3-21 se presenta el factor de ajuste por peatones de cada entrada calculado con las fórmulas descritas en el subcapítulo de procedimiento de análisis.

Tabla 0-21: Factor de ajuste por peatones

	Entradas					
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5	
Flujo de Circulación	671.00	1,592.00	2,332.00	1,481.00	2,251.00	pc/h
Nº Peatones	100.00	44.00	148.00	210.00	144.00	pc/h
Factor peatones	0.91	1.00	1.00	1.00	1.00	pc/h

Fuente: Elaboración Propia

3.5.7 Cálculo de los flujos y capacidades en vehículos por hora

Con las capacidades, factores de ajuste por peatones y los flujos calculados en los acápites anteriores y las fórmulas descritas en el subcapítulo 3.2 se procede al cálculo de flujos y capacidades en unidades de vehículos por hora. Estos se presentan en la siguiente tabla.

Tabla 0-22: Flujos y capacidades en vehículos por hora

	Entradas										
	Nº 1		Nº 2		Nº 3		Nº 4		Nº 5		
	Vi	Ci	Vi	Ci	Vi	Ci	Vi	Ci	Vi	Ci	
Carril Derecho	414.00	635.00	287.00	368.00	612.00	219.00	47.00	398.00	664.00	234.00	veh/h
Carril Izquierdo	1,154.00	615.00	254.00	339.00	352.00	195.00	1,227.00	369.00	589.00	209.00	veh/h

Fuente: Elaboración Propia

3.5.8 Cálculo de la relación Volumen – Capacidad

En base a los flujos (volúmenes) y capacidades obtenidas, calculamos la relación volumen-capacidad con la siguiente fórmula

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

Los resultados son los siguientes por cada carril de cada entrada:

Tabla 0-23: Relación Volumen-Capacidad por carril y entrada

	Entradas				
	Nº 1	Nº 2	Nº 3	Nº 4	Nº 5
	Xi	Xi	Xi	Xi	Xi
Carril Derecho	0.65	0.78	2.79	0.12	2.84
Carril Izquierdo	1.88	0.75	1.81	3.33	2.82

Fuente: Elaboración Propia

3.5.9 Cálculo de tiempo de espera y determinación del nivel de servicio por carril

Con la metodología presentada en el acápite 3.2.9, la tabla 3-6 de los niveles de servicio, las capacidades y las relaciones volumen-capacidad se obtuvo los siguientes resultados que se muestra en la siguiente tabla:

Tabla 0-24: Demoras y Niveles de Servicio por carril

			Ci	Xi	d (s/veh)	N.S
ENTRADA	Nº 1	Carril Derecho	635.00	0.65	18.91	C
		Carril Izquierdo	615.00	1.88	417.40	F
	Nº 2	Carril Derecho	368.00	0.78	40.88	E
		Carril Izquierdo	339.00	0.75	40.19	E
	Nº 3	Carril Derecho	219.00	2.79	853.81	F
		Carril Izquierdo	195.00	1.81	423.28	F
	Nº 4	Carril Derecho	398.00	0.12	10.84	B
		Carril Izquierdo	369.00	3.33	1,074.87	F
	Nº 5	Carril Derecho	234.00	2.84	870.42	F
		Carril Izquierdo	209.00	2.82	866.29	F

Fuente: Elaboración Propia

3.5.10 Cálculo de tiempo de espera y determinación del nivel de servicio para cada entrada y óvalo

En base a la metodología del acápite 3.2.11 y con los tiempos de espera de cada carril se procede a calcular los tiempos de espera de cada entrada y del óvalo en general. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 0-25: Demoras y Niveles de Servicio por entrada

	d (s/veh)	N.S
Entrada N° 1	312.19	F
Entrada N° 2	40.55	E
Entrada N° 3	696.60	F
Entrada N° 4	1,035.61	F
Entrada N° 5	868.48	F

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 0-26: Demoras y Niveles de Servicio del óvalo

	d (s/veh)	N.S
Óvalo J. Quiñones	641.17	F

Fuente: Elaboración Propia

3.5.11 Cálculo de las colas de 95% percentil para cada carril

Con la metodología del acápite 3.2.12, con las capacidades y relación volumen-capacidad de cada carril se procede a calcular las colas de cada carril de cada entrada, cabe mencionar que el resultado de formula aplicar esta en unidades de vehículos para lo cual se determinó una distancia de 4.50 mts. en promedio por auto para obtener la longitud de colas en metros. Los resultados se presentan a continuación.

Tabla 0-27: Longitud de colas

			Ci	Xi	Q 95th (veh)	Q 95th (m)
ENTRADA	N° 1	Carril Derecho	635.00	0.65	5.00	22.50
		Carril Izquierdo	615.00	1.88	74.00	333.00
	N° 2	Carril Derecho	368.00	0.78	7.00	31.50
		Carril Izquierdo	339.00	0.75	6.00	27.00
	N° 3	Carril Derecho	219.00	2.79	54.00	243.00
		Carril Izquierdo	195.00	1.81	25.00	112.50
	N° 4	Carril Derecho	398.00	0.12	1.00	4.50
		Carril Izquierdo	369.00	3.33	112.00	504.00
	N° 5	Carril Derecho	234.00	2.84	59.00	265.50
		Carril Izquierdo	209.00	2.82	52.00	234.00

Fuente: Elaboración Propia

CAPÍTULO 4. MODELO DE MICROSIMULACIÓN

Este capítulo presenta información referente al software seleccionado para la correcta modelación de esta intersección, Vissim 7.0. Asimismo, se presentarán los procesos de creación, verificación, calibración y validación de esta intersección en estudio para su posterior análisis de resultados e implementación de las propuestas de mejora al congestionamiento vehicular de esta.

4.1 Simulación

Se planteó el modelo y el tipo de software a utilizar que refleje con mayor exactitud la situación actual de esta intersección con la información disponible recolectada en el trabajo de campo.

4.1.1 Definición del modelo

Para tener una correcta representación de la realidad se siguió la estructuración básica de los modelos de simulación en los cuales se define lo siguiente:

- Sistema: La intersección óvalo José Quiñones que conforma y conduce el flujo vehicular de los distritos San Borja y San Isidro principalmente.
- Sub-sistema: Los accesos y salidas de esta intersección que influyen en la capacidad del óvalo.
- Componentes: Características geométricas, de tráfico y señalización existentes en esta intersección.

A partir de estos elementos evaluados, del tamaño y las condiciones de análisis planteadas en este proyecto de tesis se determinó que el tipo de simulación que permitiría obtener valores representativos sería la micro-simulación. Este tipo de simulación es la más adecuada pues considera en su análisis la interacción directa entre los elementos que conforman y describen el sistema analizado, mediante modelos matemáticos que consideran los movimientos y características operativas

de las unidades de estudio (vehículos, peatones, etc.) describiéndolos de manera individual y analizando su comportamiento al interactuar con determinada vía de tránsito.

4.1.2 Escenarios de simulación

Para realizar una correcta representación de la situación actual del óvalo se plantearon los siguientes escenarios:

- Escenario 1: En este primer escenario se realiza la situación actual del óvalo con la finalidad de validar que los datos obtenidos permitan representar con precisión la realidad de la intersección.
- Escenario 2: Luego de validar la situación actual del óvalo se implementarán correcciones geométricas las cuales permitan mejorar el funcionamiento del óvalo.

4.1.3 Selección del software

La elección del software se determinó en función a la disponibilidad, compatibilidad con la metodología elegida para el desarrollo, análisis y diseño de esta intersección.

PVT VISSIM fue seleccionado, ya que permite modelar el tránsito urbano y operaciones del transporte público. Este programa puede analizar: configuración de carriles, composiciones del tránsito, semaforización, señales de tránsito, etc. Por lo cual se considera al VISSIM una herramienta útil para la evaluación de diversas opciones basadas en el diseño y planeación del tránsito y transporte. También su elección estuvo determinada por su disponibilidad gratuita a través de una licencia que se obtuvo por un período de 3 meses del proveedor del programa.

Por otro lado, gracias a que el nivel de precisión que de los resultados que otorga el VISSIM 7.0 es elevado, el grado de complejidad para cumplir los objetivos es muy alto. Por lo cual, es necesario desarrollar un sistema de acumulación y explotación de resultados estadísticos que recopilen con exactitud cada variable que se desee medir en la simulación. Por ello, se debe realizar lo siguiente para representar con precisión el modelo en estudio:

- Calibrar el modelo: la calibración del modelo se obtiene a través de la experimentación y análisis de diferentes modelos.
- Verificación del modelo: Establecer si la realización del modelo es acorde a la especificación del diseño.
- Validación del modelo: esta se ejecuta a través de las diferentes pruebas que acompañan a cada uno de los modelos de comportamiento de los que se tiene.
- Documentación: Se almacena y explota la información necesaria para la mejora del modelo en estudio.

4.2 Microsimulación

Se realizará un análisis del funcionamiento del tráfico a través del software Vissim, por lo que es importante tener en cuenta ciertos conceptos fundamentales para lograr el objetivo, entre ellos la aleatoriedad del modelo, el warm up, etc.

4.2.1 Nivel de aleatoriedad en el flujo del tráfico

En un modelo de microsimulación el nivel de aleatoriedad se presenta de dos formas estocástica y determinista. En un nivel determinista no se presenta variaciones en las características de los conductores como el estilo de manejo de los conductores. Sin embargo, en un nivel estocástico se asigna una determinada característica en base a unas distribuciones estadísticas.

4.2.2 Número de semilla

Esto genera un número aleatorio, el cual será representado a través del tipo de vehículo y comportamiento de los conductores con una determinada característica. Esto se puede ver reflejado en la toma de decisiones en situaciones específicas. Por ejemplo, el conductor puede mostrar conductas agresivas en su estilo de manejo o viceversa.

4.2.3 Número de Corridas

Para determinar el número mínimo de corridas será necesario realizar un estudio estadístico el cual deberá emplear parámetros como la media, desviación estándar y un tipo de distribución.

La FWHA recomienda que la distribución a emplear para determinar el número de corridas es la distribución T student.

Por lo tanto:

$$CI_{(1-\alpha\%)} = 2xt_{(\alpha/2)-1}x\frac{S}{\sqrt{N}}$$

Donde:

C: Intervalo de Confianza

$t_{(\frac{\alpha}{2})}$: t-student con N-1 grados de libertad

N: Número de corridas

S: Desviación estándar

Entonces el número de corridas se evalúa de la siguiente manera:

$$N = (t_{(\alpha/2)}x\frac{S}{e})^2$$

Donde:

N: Número de corridas

$t_{(\frac{\alpha}{2})}$: t-student con N-1 grados de libertad

S: Desviación estándar

e: Margen de error

La FWHA recomienda el siguiente proceso de análisis para determinar el número de corridas. En primer lugar, se deberá evaluar el modelo desarrollado con un mínimo de 4 corridas y luego comparar estos datos obtenidos en la ecuación mostrada en el párrafo anterior versus las corridas realizadas. Si el número de corridas determinado por la ecuación antes descrita es mayor al número de corridas realizadas se deberá trabajar con otra cantidad de corridas y volver a medir los parámetros estadísticos hasta que se cumpla la condición.

4.2.4 Warm Up

El tiempo de estabilidad o warm up es el punto donde el flujo vehicular alcanza el equilibrio. Cuando la simulación llega a este punto es cuándo los resultados del modelamiento son representativos para el análisis.

Según la Federal Highway Administration (FHWA), si el volumen de vehículos y la velocidad media no llegan a estabilizarse en los primeros 15 minutos es posible que

el volumen ingresado para el sistema exceda la capacidad de este. Por lo que, en este escenario nunca se podrá alcanzar la estabilidad del sistema y se obtendrán resultados estadísticos de congestión menos precisos. Por lo cual, se deberá considerar extender los tiempos de inicio y fin de la simulación de tal manera que se pueda incorporar períodos de mayor volumen antes y después de la hora pico identificada.

Por otro lado, la FHWA en su reporte N° FHWA-HRT-04-040 titulado “Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines for Applying Traffic Microsimulation Software” en el apéndice C estipula que, si no fuera posible extender el período de simulación a períodos de tiempo no congestionados, se deberá elegir un período de calentamiento que sea igual por lo menos al doble del tiempo de viaje estimado en condiciones de flujo libre para atravesar la longitud total de la red.

La hora pico identificada para el proyecto está definida desde las 08:00 am hasta las 09:00 am, sin embargo, en función a los análisis realizados para determinar el período de calentamiento no se llegó a nivelar los volúmenes como la velocidad en el intervalo de análisis definido líneas arriba. Por lo tanto, se decidió extender el tiempo de inicio y fin de la simulación a 25 min para alcanzar la estabilidad del sistema, entonces se determinó que el intervalo de análisis es desde las 7:35 has las 9:25. Si al realizar este análisis no se hubiera llegado a alcanzar el equilibrio se hubiera optado por duplicar el tiempo de viaje del vehículo a través de la red en condiciones de flujo libre.

A continuación, en la siguiente tabla se muestran los volúmenes obtenidos necesarios para calcular el tiempo de calentamiento del software.

Tabla 0-1: Cantidad de vehículos en la red de acuerdo al tiempo de simulación

Código	TIEMPO			Descripción	#Vehículos
001	07:35	-	07:37	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-3: G.civil(SALIDA)@112.0	0
002	07:37	-	07:39	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-4: G.civil(Salida)@85.6	50
003	07:39	-	07:41	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-10: JGB(SALE PTE. QUIÑONES)@117.3	150
004	07:41	-	07:43	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-10013@12.8	200
005	07:43	-	07:45	1-5: JGB(2) entrada@95.4-3: G.civil(SALIDA)@112.0	350
006	07:45	-	07:47	1-5: JGB(2) entrada@95.4-4: G.civil(Salida)@85.6	400
007	07:47	-	07:49	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-4: G.civil(Salida)@85.6	700

008	07:49	-	07:51	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	1100
009	07:51	-	07:53	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-38: Calle 21@21.5	1500
010	07:53	-	07:55	1-2: JGB(ENTRADA)@114.8-10013@12.8	2000
011	07:55	-	07:57	1-5: JGB(2) entrada@95.4-3: G.civil(SALIDA)@112.0	2500
012	07:57	-	07:59	1-5: JGB(2) entrada@95.4-4: G.civil(Salida)@85.6	3000
013	07:59	-	08:01	1-5: JGB(2) entrada@95.4-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	3500
014	08:01	-	08:03	1-5: JGB(2) entrada@95.4-38: Calle 21@21.5	4500
015	08:03	-	08:05	1-5: JGB(2) entrada@95.4-10013@12.8	5500
016	08:05	-	08:07	1-7: JGB(1-entrada)@73.8-3: G.civil(SALIDA)@112.0	6000
017	08:07	-	08:09	1-7: JGB(1-entrada)@73.8-4: G.civil(Salida)@85.6	6061
018	08:09	-	08:11	1-7: JGB(1-entrada)@73.8-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	6062
019	08:11	-	08:13	1-7: JGB(1-entrada)@73.8-38: Calle 21@21.5	6063
020	08:13	-	08:15	1-7: JGB(1-entrada)@73.8-10013@12.8	6061
021	08:15	-	08:17	1-15: salida(GC3)@52.1-3: G.civil(SALIDA)@112.0	6061
022	08:17	-	08:19	1-15: salida(GC3)@52.1-4: G.civil(Salida)@85.6	6061
023	08:19	-	08:21	1-15: salida(GC3)@52.1-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	6065
024	08:21	-	08:23	1-15: salida(GC3)@52.1-17: est@32.9	6061
025	08:23	-	08:25	1-15: salida(GC3)@52.1-18: est@33.3	6061
026	08:25	-	08:27	1-15: salida(GC3)@52.1-38: Calle 21@21.5	6066
027	08:27	-	08:29	1-15: salida(GC3)@52.1-10013@12.8	6070
028	08:29	-	08:31	1-15: salida(GC3)@52.1-10017@0.1	6061
029	08:31	-	08:33	1-20: F.Remington@62.5-3: G.civil(SALIDA)@112.0	6061
030	08:33	-	08:35	1-20: F.Remington@62.5-4: G.civil(Salida)@85.6	6061
031	08:35	-	08:37	1-20: F.Remington@62.5-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	6081
032	08:37	-	08:39	1-20: F.Remington@62.5-38: Calle 21@21.5	6061
033	08:39	-	08:41	1-20: F.Remington@62.5-10013@12.8	6061
034	08:41	-	08:43	1-15: salida(GC3)@52.1-38: Calle 21@21.5	6060
035	08:43	-	08:45	1-15: salida(GC3)@52.1-10013@12.8	6061
036	08:45	-	08:47	1-15: salida(GC3)@52.1-10017@0.1	6061
037	08:47	-	08:49	1-20: F.Remington@62.5-3: G.civil(SALIDA)@112.0	6068
038	08:49	-	08:51	1-20: F.Remington@62.5-4: G.civil(Salida)@85.6	6061
039	08:51	-	08:53	1-20: F.Remington@62.5-10: JGB(SALE PTE.QUINONES)@117.3	6061
040	08:53	-	08:55	1-20: F.Remington@62.5-38: Calle 21@21.5	6067
041	08:55	-	08:57	1-20: F.Remington@62.5-10013@12.8	6061
042	08:57	-	08:59	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.27	6061
043	08:59	-	09:01	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.28	6061
044	09:01	-	09:03	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.29	6061
045	09:03	-	09:05	1-20: F.Remington@62.5-3: G.civil(SALIDA)@112.0	6061
046	09:05	-	09:07	1-20: F.Remington@62.5-4: G.civil(Salida)@85.6	6061

047	09:07	-	09:09	1-20: F.Remington@62.5-10: JGB(SALE PTE. QUIÑONES)@117.3	6061
048	09:09	-	09:11	1-20: F.Remington@62.5-38: Calle 21@21.5	6061
049	09:11	-	09:13	1-20: F.Remington@62.5-10013@12.8	6061
050	09:13	-	09:15	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.27	6061
051	09:15	-	09:17	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.28	6061
047	09:17	-	09:19	1-20: F.Remington@62.5-10: JGB(SALE PTE. QUIÑONES)@117.3	6061
048	09:19	-	09:21	1-20: F.Remington@62.5-38: Calle 21@21.5	6061
049	09:21	-	09:23	1-20: F.Remington@62.5-10013@12.8	6061
050	09:23	-	09:25	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.27	6061
051	09:25	-	00:00	4-20: F.Remington@91.1-20: F.Remington@102.28	6061

Fuente: Adaptado de los resultados de la simulación en el Vissim

Gráfico 0-1: Cantidad de vehículos vs tiempo de simulación

Fuente: Elaboración Propia

4.3 Construcción del modelo

Con base en la recopilación de información que se registró en campo se configuró el modelo de micro-simulación en el software seleccionado para este proyecto de tesis VISSIM 7.0. A continuación, se presentarán los pasos más relevantes en la creación del modelo:

4.3.1 Consideraciones del modelo

El software Vissim tiene como base el funcionamiento de los parámetros psicofísicos de Wiedemann. Este tiene en cuenta los umbrales de percepción y reacción del conductor de cada vehículo en el transcurso de la ruta en que se encuentre. Además, tiene en consideración los submodelos de seguimiento vehicular. El cambio de carril, el comportamiento lateral y el control semaforizado son los más influyentes para el software. Mediante la ecuación que se muestra líneas abajo se puede expresar la distancia requerida en la interacción entre un par de vehículos.

Gráfico 0-2: Distancia entre vehículos

Fuente: Adaptado del Modelo de Wiedemann

$$d = ax + (bx_{add} + bx_{mul} \times z) \times \sqrt{v}$$

Donde:

ax: Distancia promedio deseada entre vehiculos detenidos.

bxadd: Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad.

bxmul: Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad.

Z: Valor entre 0 y 1, obtenido de una distribución normal ($\mu=0.5$ y $\sigma=0.15$)

V: Velocidad (m/s)

4.3.2 Imagen satelital de fondo

Para elaborar la configuración de la intersección se utiliza una imagen de fondo que proporciona el Google Earth. Esta imagen sirve de referencia para la creación de la red vial, el cual se puede observar en la siguiente figura.

Gráfico 0-3: Background

Fuente: Elaboración Propia

4.3.3 Links y conectores

Estas herramientas que presenta el software permiten desarrollar la configuración de la geometría de las vías de la intersección. Estas están definidas por el número de carriles, dirección de carriles, ancho de cada carril. Por otro lado, los conectores sirven para unir links para poder enlazar las diferentes calles existentes en la red vial. En el gráfico 6.2 se puede apreciar la configuración de toda la red vial del proyecto en estudio. Cabe resaltar que los datos que se ingresarán en este punto son producto de la recolección de información en campo (dimensiones de cada carril).

Gráfico 0-4: Configuración de la intersección

Fuente: Elaboración Propia

4.3.4 Composición de vehículos y peatones

En función de los aforos registrados se define los tipos de vehículos y peatones que circulan en campo, la velocidad que estos desarrollan en la intersección en estudio y el porcentaje según la participación en el flujo por tipo de vehículo. Para este proyecto se configuraron diferentes tipos de composiciones de vehículos, ya que no circulan el mismo tipo de vehículos por las calles de entrada al óvalo. En el gráfico siguiente se muestra la configuración de la composición de vehículos de la intersección en estudio.

Gráfico 0-5: Composición de vehículos para un acceso

Fuente: Elaboración Propia

4.3.5 Datos de entrada

Al finalizar la configuración geométrica de la vía se procede a ingresar los datos recopilados en campo que permitan simular la situación actual de esta intersección como volúmenes tanto vehiculares como peatonales, señalización, configuración de áreas de prioridad, etc.

- **Flujos y Distribución de Flujos**

Con los datos de los aforos realizados se elaboró una tabla donde se determina la cantidad de vehículos que ingresan o salen del óvalo y de esta manera poder ingresar al software estos volúmenes expresados como un porcentaje del total de vehículos registrados 6062 vehículos/hora en los accesos principales más 1097 vehículos/hora en el Giro en U en José Gálvez Barrenechea. Esto con la finalidad de asignar la proporción de volúmenes que ingresan hacia cada destino, a este procedimiento se le conoce como asignación de rutas. En la siguiente tabla se muestra estos volúmenes estimados en porcentaje por cada acceso.

Tabla 0-2: Distribución del flujo vehicular

Entrada/Destino	1	2	3	4	5	6	Total
1	0.46%	7.00%	55.00%	31.00%	0.00%	7.00%	1238
2	10.35%	0.40%	4.00%	83.00%	0.00%	2.00%	1239
3	46.30%	3.00%	0.00%	39.00%	0.00%	12.00%	839
4	26.43%	33.00%	7.00%	0.00%	0.00%	34.00%	1525
5	17.04%	21.00%	32.00%	0.00%	0.00%	30.00%	1221
6	0.00%	60.00%	3.00%	0.00%	0.00%	38.00%	1097

Fuente: Elaboración Propia

Los valores mostrados en la tabla 4-1 se ingresaron al software para cada acceso del óvalo en este caso Guardia Civil Sur (1), José Gálvez Barrenechea Este (2), Guardia Civil Norte (3), José Gálvez Barrenechea Oeste (4), Federico Remington (5) y Guardia Civil Auxiliar (6(1)). La distribución de estos flujos ingresados en el software se puede observar en la siguiente imagen y en el Plano PMO-VS-04.

Gráfico 0-6: Asignación de rutas José Gálvez Barrenechea (dirección Oeste)

Fuente: Propia

- **Señalización**

En la intersección en estudio se observó que existen muchas zonas en las cuales la señalización es escasa y en otros donde producto de la extensa área verde que existe en esta quita visibilidad de algunas señales de tránsito, lo cual puede producir muchos accidentes y congestionamiento. En la siguiente imagen se puede ver las marcas existentes en el óvalo José Quiñones.

Gráfico 0-7: Señalización existente en el óvalo

Fuente: Elaboración Propia

- **Áreas de Prioridad**

Para este modelo se reconocieron las zonas de entrecruzamiento en el plano PMO-VS-05, el cual permitió establecer puntos de inspección para determinar las áreas de prioridad. Se observó cada zona de conflicto alrededor de 45 min, en la hora pico identificada, para identificar las reglas de prioridad que se tienen en la intersección y así ingresarlas al software para tener resultados que reflejen la situación actual del óvalo.

Las áreas de prioridad establecidas para este proyecto se muestran en la siguiente imagen.

Gráfico 0-8: Áreas de Prioridad en entrecruzamientos.

Fuente: Imagen Propia

En la imagen se puede notar que existen resaltadas unas líneas de color verde y rojo, las cuales indican la prioridad que tienen los vehículos para acceder a la vía. El verde indica que la prioridad la tiene el carril en la dirección de las líneas y el color rojo indica que los vehículos deberán esperar que disminuya el flujo del carril con prioridad para que puedan cruzar.

- **Velocidad de vehículos**

La velocidad del vehículo se halló mediante la fórmula física, distancia de recorrido entre el tiempo que demora en realizar ese recorrido, por lo tanto, se tomaron los datos necesarios en campo con el uso de cronómetros y asignando una distancia de recorrido, en este caso fueron 150 metros.

Tabla 0-3: Velocidades de circulación

Distancia	Tiempo (s)	Velocidad
150.00	13.00	11.50
150.00	18.00	8.30
150.00	11.00	13.60
150.00	15.00	10.00

Fuente: Elaboración Propia

A partir de los datos obtenidos se optó por utilizar una velocidad promedio de 11 m/s convirtiéndolo a kilómetros por hora sería 40 km/h.

4.4 Verificación del modelo realizado

Esta etapa de la simulación del proyecto consiste en verificar si los datos de entrada fueron los correctos y establecer si los registros de campo son lógicos tales como los aforos, longitudes de cola.

Durante la revisión, se encontró que las longitudes de cola de la Calle Guardia Civil hacia Tomás Marsano y Calle Guardia Civil hacia San Isidro eran variables. Esto se debe a que en estas vías los buses de transporte urbano se detenían para recoger o dejar pasajeros interrumpiendo el tránsito en tiempos variables.

Por ello, se eligió como parámetro de eficiencia para calibrar el modelo, el tiempo de viaje en un intervalo de la intersección estudiada; ya que se pudo grabar detenidamente esta ubicación con una de las filmadoras usadas.

4.5 Calibración del modelo

Luego de realizar los dos pasos mencionados líneas anteriores se procede a realizar la calibración del modelo que se puede llevar a cabo empleando el modelo de Wiedemann 74 o 99. Al ser una intersección ubicada en una zona urbana, se utilizó el modelo de Wiedemann 74. Entonces, la calibración se basa en conseguir que el modelo presentado refleje la realidad mediante la modificación de los parámetros de Wiedemann. En este estudio se determinó como parámetro de eficiencia el tiempo de viaje promedio en un tramo de 150 m ubicado en la calle Remington con su salida al óvalo Quiñones.

El número de muestras recolectadas en campo necesarias para obtener resultados representativos se estimó con la siguiente fórmula:

$$\text{Tamaño de la Muestra} = \frac{\frac{z^2 xp(1-p)}{e^2}}{1 + \frac{z^2 xp(1-p)}{e^2}}$$

Donde:

N: Tamaño de la población 6062 vehículos

E: Margen de Error (5%)

Z: Puntuación definida para el nivel de confianza definido en 95% (ver tabla)

Tabla 0-4: Valor de puntuación “Z” de acuerdo al nivel de confianza deseado

Nivel de confianza deseado	Puntuación z
80%	1.28
85%	1.44
90%	1.65
95%	1.96
99%	2.58

Fuente: Elaboración Propia

Empleando la fórmula descrita en el párrafo anterior se obtuvo que se debe recopilar 362 registros como tamaño de muestra en campo, con ello se garantiza que la muestra es representativa. El tiempo promedio que se registro fue de 3.84 min. con una desviación estándar de 0.62 min.

En la siguiente imagen se muestra el tramo evaluado, limitado por el área sombreada.

Gráfico 0-9: Volumen ingresado al software Vissim 7.0

Fuente: Elaboración Propia

4.5.1 Parámetros de evaluación

La FHWA (2004) recomienda que el número mínimo de corridas debe ser 15 veces, por lo que, en función a esta recomendación se realizaron 15 corridas por cada

intento, superando a lo mínimo establecido. Para comenzar la calibración se empleó en el primer intento los parámetros de Wiedemann que vienen por defecto en el software y de acuerdo a los resultados obtenidos se iteraron estos parámetros. En la tabla 4-3 se muestran los resultados de esta iteración.

Para el Intento 1, los parámetros de ax, bx add y bx mult fueron 2, 3 y 3 respectivamente, con los cuales se obtuvo una media muestral de 3.63 min. y una desviación estándar de 0.30 min frente a los valores obtenidos en campo de 3.82 min y 0.59. De los resultados obtenidos se podría concluir que el modelo esta calibrado, sin embargo, no se puede aceptar estos parámetros, pues se considera una distancia vehicular que este alrededor de 2m, cuyo valor entre vehículos detenidos no resulta lógico para el estilo de manejo en el Perú.

Tabla 0-5: Parámetros de Evaluación

INTENTO	Parámetros de Wiedemann			Valores Vissim	
	ax	bx_add	bx_mult	Media	Desv.Estd
1	2	3	3	3.63	0.3
2	2	2	3	3.53	0.28
3	1.25	3	3	3.68	0.27
4	1.5	4	4	3.63	0.25
5	1.5	3.5	3.5	3.52	0.29
6	1	5	4	3.89	0.33
7	1	5	3	3.71	0.25
8	1	4.75	4.25	3.75	0.28
9	1	4.75	4	3.91	0.50
10	1	4.25	4.75	3.73	0.29
11	1	4.5	4.75	3.59	0.24
12	1	4.5	4.5	3.55	0.26
13	1	4.25	4.25	3.93	0.30
14	1	3	5	4.50	0.53
15	1	2	2	3.60	0.27
16	1	3	4.5	3.62	0.19
17	1	3	4	3.65	0.27
18	1	3	3	3.48	0.39
19	1	3	2	3.72	0.25
20	0.5	2	2	3.54	0.25

Fuente: Elaboración Propia

Entonces, a partir de los resultados se seleccionaron los 2 intentos (6 y 9) con una media muestral más cercana a la obtenida en campo, tal como se detalla en la tabla 4-3, que a simple vista podrían ser el conjunto de parámetros requeridos. Sin embargo, se les debe de verificar mediante un análisis estadístico (prueba de hipótesis) que cuenta con un nivel de confiabilidad del 95% y margen de error permitido.

A continuación, se presenta las consideraciones para esta hipótesis, con las cuales se podrá rechazar o aceptar los valores obtenidos:

Hipótesis nula: Si $u_1 = u_2$

$$(X_1 - X_2) - t_{(\frac{\alpha}{2})} \times \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times S_{p^2}} < (U_1 - U_2)$$

$$(U_1 - U_2) < (X_1 - X_2) + t_{(\frac{\alpha}{2})} \times \sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times S_{p^2}}$$

$$S_{p^2} = \frac{(N_1 - 1) \times S_1^2 + (N_2 - 1) \times S_2^2}{N_1 + N_2 - 2}$$

Nivel de confianza: 95%

Grados de libertad (Gdl): $N_1 + N_2$

Donde:

X_1 : media muestral de campo

X_2 : media muestral de Vissim

N_1 : cantidad de datos considerados para la muestra de campo

N_2 : cantidad de datos considerados para la muestra de Vissim

S_1 : desviación estándar muestral de campo

S_2 : desviación estándar muestral de Vissim

$t_{(\alpha/2)}$: valor obtenido mediante la distribución t-student, grados de libertad y nivel de confianza

Dadas las consideraciones de la Hipótesis Nula, se analizarán los parámetros de los intentos 6 y 9, debido a que estos resultados son los más cercanos a la media muestral de campo.

1. Intento 6 ($a_x=1$, $b_{xadd}=4.75$, $b_{xmult}=4.25$)

En la siguiente tabla se muestran los datos necesarios para realizar el análisis estadístico.

Tabla 0-6: Parámetros de Evaluación - Intento 6

Parámetros Estadísticos	
a_x	1
b_{x_add}	4.75
b_{x_mult}	4.25
$T_{a/2}$	1.96
X_1	3.84
x_2	3.89
N_1	362
N_2	20
S_1	0.62
S_2	0.33
Margen de Error	0.25
Nivel de confianza	0.95
GDL	382

Fuente: Elaboración Propia

Número mínimo de corridas: $N^o = \left(\frac{1.96 \times 0.36}{0.25}\right)^2 = 8.00$, por lo tanto 15 corridas son suficientes.

La tabla presenta los resultados del análisis realizado.

Tabla 0-7: Resultados de la Evaluación - Intento 6

Prueba de Hipótesis		
Secuencia	Expresión	Valor numérico
1	$X_1 - X_2$	-0.05
2	$N_1 - 1$	361
3	$N_2 - 1$	19
4	$N_1 + N_2$	382
5	S_1^2	0.384

6	s_2^2	0.13
7	$1/N_1$	0.003
8	$1/N_2$	0.05
9	$1/N_1+1/N_2$	0.053
10	$(N_1-1) \times S_1^2 + (N_2-1) \times S_2^2$	141.231
11	S_p^2	0.372
12	$\sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times S_p^2}$	0.140
13	Expresión “12” x $t_{a/2}$	0.274
14	extremo negativo: 1-13	-0.324
15	Extremo positivo:	0.224

Fuente: Elaboración Propia

Luego de calcular el intervalo de confianza, se tiene que (u1-u2) se encuentra entre los valores de -0.324 y 0.224. Por ello, la hipótesis nula se acepta, debido a que el intervalo de confianza contiene el CERO.

2. Intento 9 ($a_x=1, b_{xadd}=4.75, b_{xmult}=4$)

En la siguiente tabla se muestran los datos necesarios para realizar el análisis estadístico.

Tabla 0-8: Parámetros de Evaluación - Intento 9

Parámetros Estadísticos	
a_x	1
b_{x_add}	4.75
b_{x_mult}	4
$T_{a/2}$	1.96
X_1	3.84
x_2	3.91
N_1	362
N_2	20
S_1	0.62
S_2	0.5
Margen de Error	0.25
Nivel de confianza	0.95
GDL	382

Fuente: Elaboración Propia

Número mínimo de corridas: $N^{\circ} = \left(\frac{1.96 \times 0.5}{0.25}\right)^2 = 16$, por lo tanto 15 corridas no son suficientes.

Luego de haber realizado el análisis para estos dos intentos se selecciona el intento 6, ya que este cumple con lo requerido previamente.

4.6 Validación del modelo

Finalmente, como último paso para poder analizar los resultados de la simulación se debe validar lo realizado a través de un análisis de la simulación con otros datos de entrada, cuya obtención fue posible de un último aforo realizado a esta intersección el cual se presenta en el ANEXO 5.

Por lo tanto, en la siguiente evaluación se verificará que los resultados obtenidos para los parámetros de eficiencia seleccionados sean similares a los obtenidos en campo y el modelo realizado.

En la siguiente tabla se presenta los resultados del nuevo registro, cabe mencionar que los números de semillas evaluadas fueron los mismos para la calibración, ya que se debe evaluar en las mismas condiciones para garantizar una correcta validación. Se realizó el mismo cálculo que en la calibración para determinar el tamaño de muestra necesario para que sea representativo, obteniendo 364 datos a registrar en campo con un tiempo promedio de 4.23 min y una desviación estándar 0.47 min. Por otro lado, que los resultados obtenidos en el software VISSIM se muestran en la siguiente tabla.

Tabla 0-9: Tiempos de Espera por Corridas

VISSIM Corridas	T. Esp.
1	3.75
2	3.67
3	4.00
4	4.53
5	3.92
6	3.67
7	4.08
8	3.92
9	4.17
10	4.57

11	4.75
12	4.68
13	4.42
14	4.70
15	4.33
Media	4.21
Desviación	0.39

Fuente: Elaboración Propia

De igual manera que los resultados obtenidos en la calibración, esta sección también debe verificar los resultados mediante una prueba de hipótesis nula, el cálculo se aprecia en la siguiente tabla.

Tabla 0-10: Prueba de Hipótesis

Prueba de Hipótesis		
Secuencia	Expresión	Valor numérico
1	$X_1 - X_2$	0.07
2	$N_1 - 1$	363
3	$N_2 - 1$	19
4	$N_1 + N_2$	384
5	S_1^2	0.12
6	s_2^2	0.14
7	$1/N_1$	0.003
8	$1/N_2$	0.05
9	$1/N_1 + 1/N_2$	0.05
10	$(N_1 - 1) \times S_1^2 + (N_2 - 1) \times S_2^2$	44.71
11	S_p^2	0.117
12	$\sqrt{\left(\frac{1}{N_1} + \frac{1}{N_2}\right) \times S_p^2}$	0.079
13	Expresión “12” x $t_{\alpha/2}$	0.154
14	extremo negativo: 1-13	-0.354
15	Extremo positivo:	0.212

Fuente: Elaboración Propia

En este análisis el (u1-u2) varía entre valores -0.354 y 0.212, por lo tanto, se valida la hipótesis nula, puesto a que el intervalo de confianza incluye al valor numérico

cero. Por lo tanto, se puede concluir que el modelo ha sido satisfactoriamente validado y está listo para el análisis correspondiente en otros escenarios.

CAPÍTULO 5. EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS DE LA MICROSIMULACIÓN

En este capítulo se analizarán los resultados de la simulación que representa la situación actual y se implementarán y evaluarán las propuestas de mejora que mitiguen el congestionamiento vehicular existente en esta intersección de estudio.

5.1 Análisis de resultados

Luego de validar el modelo se analizará los parámetros de eficiencias necesarios para determinar la calidad del funcionamiento del tráfico en la intersección estudiada y presentar propuestas de mejora, en caso fuera necesario, con el fin de optimizar el diseño vial y verse reflejado en la circulación de los usuarios. Por otro lado, se debe recordar que los resultados que se presentarán a continuación son producto de la evaluación de 15 corridas en Vissim 7.0.

- **Longitudes de colas**

Para determinar las longitudes de cola se designó a dos personas por acceso con la finalidad de que una pueda verificar que las condiciones de libre flujo se mantengan y la otra realice el marcado de la longitud de cola en la acera para luego, con el flexómetro, medir la longitud promedio.

El gráfico presenta las longitudes registradas por cada acceso. En este gráfico se puede observar que, en el acceso a la intersección, la Av. Federico Remington, es donde se produce la menor formación de longitud de cola con un valor de 165 m, cuyo valor podría representar la agrupación de 35 vehículos aproximadamente; mientras la máxima longitud de cola se produce en una de las vías principales, Av. José Gálvez Barrenechea (2), con un valor de 300 m, el cual puede representar a 60 vehículos aproximadamente. Por lo tanto, se puede deducir que este es el principal responsable en las acumulaciones de demoras del funcionamiento de la red. Sin embargo, resulta lógico obtener este valor en este acceso, debido a que en este

acceso se ubica un giro en U el cual ha sido identificado anteriormente como un cuello de botella de la presente intersección.

Gráfico 0-1: Longitud de colas por acceso

Fuente: Elaboración propia

Una vez obtenida esta información de la simulación de la situación actual del óvalo José Quiñones, se realizará un análisis de los resultados obtenidos en la metodología planteada en el HCM 2010 y los obtenidos en esta simulación, con respecto a longitudes de colas. Por tal motivo presentamos el siguiente cuadro.

Tabla 0-1: Longitudes de colas con la metodología del HCM 2010 y la simulación de la situación actual con el software Vissim 7.0

Descripción	Metodología HCM 210 - Q95		Software VISSIM 7.0
	AFORO 2015 (m)	AFORO 2016 (m)	Simulación Situación Actual (m)
AV. Guardia Civil (1)	243.00	171.00	220.00
Av. José Gálvez Barrenechea (2)	504.00	423.00	280.00
Av. Guardia Civil (3)	31.50	27.00	200.00
Av. José Gálvez Barrenechea (4)	333.00	171.00	185.00
Calle Federico Remington (5)	265.50	270.00	150.00

Fuente: Elaboración propia

En base a los resultados presentados en la tabla anterior, se observa que las longitudes de colas obtenidas tanto por la metodología del HCM 2010 y la simulación en el Software Vissim 7.0 son cercanas en algunos casos y otros no, esto debido a que la metodología planteada en el HCM 2010 tiene algunas limitaciones, ya que no toma en cuenta el comportamiento del conductor, las velocidades, las áreas de prioridad, entre otras; mientras que el Software Vissim 7.0 si considera estos parámetros y se asemeja con mayor afinidad a la realidad del óvalo José Quiñones. A pesar de esto los valores obtenidos no son exageradamente distantes.

- **Tiempo de demora promedio de viaje por vehículo**

Este parámetro de eficiencia es el más importante para esta tesis ya que este nos permitirá determinar la calidad y el funcionamiento de la intersección en estudio. En la siguiente tabla se muestran los tiempos de demora promedio por vehículo en cada acceso.

Tabla 0-2: Tiempo de demora promedio por acceso

Descripción	Campo	Nivel de Servicio
AV. Guardia Civil (1)	254	F
Av. José Gálvez Barrenechea (2)	195	F
Av. Guardia Civil (3)	85	F
Av. José Gálvez Barrenechea (4)	201	F
Calle Federico Remington (5)	255	F

Fuente: Elaboración propia

Gráfico 0-2: Tiempos de demora promedio por acceso

Fuente: Elaboración propia

De la tabla y gráfico se puede concluir que todos los accesos tienen un nivel de servicio alto. Sin embargo, las Avenidas. Guardia Civil, José Gálvez Barrenechea (2) y (4) están a punto del colapso por una mala canalización del flujo vehicular y un ineficiente sistema de control de tránsito existente.

5.2 Propuestas de mejoras

Al haber realizado el análisis de la red, y con el propósito de obtener una mejora en su funcionamiento se presentarán dos propuestas, las cuales puedan ser tomadas en cuenta según la preferencia y comodidad.

Como primera propuesta se pretende realizar el rediseño de uno de los puntos de conflictos críticos (cuello de botella) encontrados en esta intersección y en la salida de la Av. José Gálvez Barrenechea (4). Entonces, se implementará la construcción de un carril de derivación con la finalidad de canalizar el flujo vehicular que proviene de la Av. José Gálvez Barrenechea (2) y de la Calle Auxiliar de la Av. Guardia Civil (1) en dirección al giro en U (giro en dirección a la calle 21) identificado como un punto crítico en esta intersección.

La propuesta consiste en la reducción a un carril de la vía auxiliar que pertenece a la Av. Guardia Civil (1), esto en medida de reducir las zonas de entrecruzamiento,

ya que actualmente la incorporación del flujo que proviene de esta vía auxiliar entra en conflicto al acoplarse al flujo que ingresa por la Av. José Gálvez Barrenechea (2). Además, se reducirá el ancho de la salida de la Av. José Gálvez Barrenechea (4), de esta manera se canalizará el flujo de los vehículos que deseen transitar por esa salida, evitando los entrecruzamientos entre los carriles de la calzada circulatoria. En la siguiente imagen se muestra el diseño actual de esta zona de conflicto mencionada inicialmente.

Gráfico 0-3: Zona de cruzamientos en Av. José Gálvez Barrenechea

Fuente: Elaboración Propia

En la zona resaltada se puede verificar que la vía de descarga es de 2 carriles y los que ingresan son 4. Entonces, según lo planteado en la teoría de entrecruzamientos los carriles de entrada deben ser menores o igual a los carriles de salida. Por ello, en la siguiente imagen se plantea la mejora para mitigar y ordenar el flujo de ingreso a esta salida .

Gráfico 0-4: Reducción de carriles auxiliar Av. Guardia Civil

Fuente: Elaboración Propia

Como se mencionaba anteriormente con esta mejora se estaría regulando la zona de conflicto existente por superposición de vehículos del carril auxiliar al ingresar a la Av. José Gálvez Barrenechea. Las dimensiones de las reducciones de los carriles se pueden apreciar en el Plano PMO-VS-07

Por otro lado, como segunda propuesta de mejora se tiene que trasladar el giro en U existente entre 15-20 m de su posición actual. Esto en medida a que la distancia (d) de este giro en U a la zona donde se intersectan la auxiliar que proviene de Guardia Civil y la vía que ingresa del óvalo es muy corta. En el gráfico 5-5 se muestra el actual diseño del giro en U que tiene las distancias mínimas de acuerdo al manual REDEVU³⁹ (5 m), sin embargo, genera conflictos en la vía.

³⁹ Cfr: Manual de viabilidad urbana recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana : 315-317

Gráfico 0-5: Sección actual del giro en U.

Fuente: Elaboración Propia

Por ello, se trasladará este giro entre 15-20 m de la zona de conflicto y se generará un carril derivación exclusivo para este giro en U (Véase Plano PMO-VS-06). De esta manera se ordenará y mitigará el congestionamiento de este giro identificado como punto crítico en la situación actual del óvalo José Quiñones, ya que el conductor tendrá más espacio para desarrollar las maniobras para incorporarse al carril de giro. En el gráfico 5-6 se muestra la nueva configuración de este giro crítico.

Gráfico 0-6: Configuración nueva del giro en U

Fuente: Elaboración Propia

5.3 Resultados de Mejoras

- **Vehículos en la red**

En los capítulos anteriores se validaron el número de vehículos que transitan por esta intersección de igual forma manteniendo los mismos volúmenes de ingreso se propusieron las mejoras y los resultados fueron los siguientes el número de vehículos que circularon en la red y salieron de esta fue de 6801 vehículos. En la siguiente tabla se presenta los resultados que se obtuvieron en la modelación de estas mejoras.

Tabla 0-3: Volúmenes producto de las mejoras

AVENIDAS	Simulación Situación Actual	Propuesta De Mejora
AV. Guardia Civil (1)	1610	1755
Av. José Gálvez Barrenechea (2)	1459	1605
Av. Guardia Civil (3)	890	992
Av. José Gálvez Barrenechea (4)	1393	1380
Calle Federico Remington (5)	1293	1262
Calle 21	1361	1883

Fuente: Elaboración Propia

Gráfico 0-7: Vehículos en red con la propuesta de mejora

Fuente: Elaboración Propia

En el gráfico 5-7 se puede apreciar que la mayoría de los volúmenes que ingresan incrementaron, ya que se logró ordenar y mitigar el congestionamiento que existe en esta intersección.

- **Longitud de cola**

Los resultados de la propuesta de mejora en función a la longitud de cola se pueden verificar en la siguiente tabla 5-3.

Tabla 0-4: Longitud de cola en propuesta de mejora

Descripción	Simulación Situación Actual (m)	Simulación P. Mejora
AV. Guardia Civil (1)	220	164
Av. José Gálvez Barrenechea (2)	280	142
Av. Guardia Civil (3)	200	104
Av. José Gálvez Barrenechea (4)	185	186
Calle Federico Remington (5)	150	175

Fuente: Elaboración Propia

De donde se puede verificar que la cola más larga en el modelo real ha disminuido considerablemente tal como se puede verificar en el siguiente gráfico.

Gráfico 0-8: Variación de longitud de cola

Fuente: Elaboración Propia

- Tiempo de Demora Promedio por vehículo**

En este punto se logró reducir notoriamente los tiempos de espera que se producían en esta intersección específicamente en el cuello de botella que se había identificado como uno de los principales contribuyentes del caos vehicular que existe en esta intersección. Los resultados en función a este parámetro se presentan a continuación.

Tabla 0-5: Demora Promedio vehículo

AVENIDAS	SITUACIÓN ACTUAL	PROPUESTA DE MEJORA	NIVEL DE SERVICIO
AV. Guardia Civil (1)	254	124	F
Av. José Gálvez Barrenechea (2)	195	100	F
Av. Guardia Civil (3)	85	82	F
Av. José Gálvez Barrenechea (4)	201	91	F
Calle Federico Remington (5)	255	150	F

Fuente: Elaboración Propia

En base a los datos mostrado en la tabla 5-4 se elaboró la siguiente grafica que representa la demora promedio por vehículo en la intersección.

Gráfico 0-9: Tiempo de demora promedio por vehículo

Fuente: Elaboración Propia

De estos datos se puede verificar que los niveles de servicio se mantienen en el nivel de la condición actual (F), sin embargo, se ha logrado ordenar y mitigar en gran medida el funcionamiento y congestionamiento de la intersección.

CONCLUSIONES

En base a los resultados obtenidos luego de haber modelado las condiciones actuales del tráfico vehicular en la intersección Óvalo José Quiñonez por medio del software Vissim 7.0 se pudo proponer alternativas de mejora a esta intersección, se presentan las siguientes conclusiones:

Luego de haber identificado el punto crítico o “cuello de botella” se tuvieron dos propuestas de mejora para este proyecto las cuales en conjunto obtienen buenos resultados. En la primera propuesta se reduce el número de carriles con la finalidad de evitar el traslape de rutas y posibles accidentes logrando ordenar los flujos de ingreso de los vehículos a esta vía. Por otro lado, una segunda propuesta la cual busca canalizar el flujo que se dirige hacia el Giro en U a través de la implementación de un carril de derivación único para el Giro. Estas dos propuestas buscan mitigar y ordenar el flujo vehicular a través de mejoras en el diseño actual, por lo tanto, un estudio vial detallado del área total de influencia del proyecto permitiría obtener comportamientos muy eficientes con muchas alternativas de mejora a esta problemática. Con respecto a las dos propuestas presentadas, a pesar de reducir considerablemente los parámetros de eficiencia considerados para el análisis de resultados no logra mejorar los niveles de servicio, pero si logra canalizar los flujos vehiculares lo cual le da mayor fluidez y movilidad a los vehículos que transitan a través de esta intersección.

En función a los resultados obtenidos para las longitudes de colas con la metodología HCM 2010 y con el software Vissim 7.0, se determina que los datos obtenidos del software Vissim 7.0 son los más cercanos a la realidad del óvalo José Quiñones, ya que este software a diferencia de la metodología HCM 2010 considera los parámetros de velocidad, áreas de prioridad, comportamiento del conductor, geometría de la intersección, entre otras. Mientras que la metodología del HCM 2010 es una idealización del óvalo José Quiñones.

La longitud de cola y tiempo de demora de viaje se logra reducir, en la mayoría de sus accesos, en un 50% aproximadamente.

En las visitas a campo se observó la poca señalización vertical y horizontal en la intersección, esto influye en el comportamiento de los conductores, ya que estas señales son dispositivos de control y sirven para orientar al conductor durante su trayectoria en la intersección.

En base a los resultados obtenidos, se puede concluir que, si no se cuenta con un correcto estudio (aforos, encuestas, mediciones, etc.), podría generar deficiencias en el funcionamiento de la intersección, a pesar de contar con un excelente diseño vial (número de carriles, longitudes, distancias de visibilidad) y arquitectónico. Se concluyó que un problema en la planificación de cualquier red vial puede generar complicaciones en la circulación de los vehículos en el transcurso de los años.

Finalmente, la aplicación del software Vissim resulta ser muy eficiente para el estudio del funcionamiento de una determinada intersección, ya que evita una alta demanda de tiempo en la ubicación de algunos detalles necesarios para el estudio. Asimismo, logra representar de manera correcta y efectiva la red vial requerida, permite obtener resultados con gran precisión y permite modificar los datos ingresados para implementar cualquier mejora en un determinado proyecto.

RECOMENDACIONES

En base a la aplicación del software Vissim para la construcción del modelo microscópico, el análisis y los resultados obtenidos, se presentan las siguientes recomendaciones:

La información en el país sobre el diseño de óvalos es escasa por lo cual se recomienda revisar las consideraciones que se tienen en el HCM, Green Book de ASSHTO y el manual de dispositivos de tránsito de KANSAS.

La metodología que se siguió en este proyecto para el análisis del funcionamiento y capacidad del óvalo José Quiñones puede ser una guía para otros tipos de redes viales en donde el objetivo principal sea mejorar el funcionamiento de una red vial de flujo libre.

Al realizar la construcción del modelo, muy aparte de reunir la información que requiere el software como aforo vehiculares, peatonales, características geométricas que permitan realizar una correcta simulación se debe tener identificado los parámetros con los cuales se va a validar la situación actual para de esta manera poder conseguir un trabajo en conjunto de estos componentes con el fin de poder realizar un adecuado funcionamiento.

En el desarrollo del proyecto es importante tener un adecuado registro de los datos de campo, ya que es información fundamental para la calibración y validación de la situación actual del proyecto. Además, esta información determina el correcto funcionamiento de la red vial analizada. También es importante organizar los resultados que arroja el software por cada corrida de tal manera que se pueda tener una data adecuada para las posibles soluciones que se planteen.

Se recomienda la correcta implementación de señalización horizontal y vertical, ya que estos dispositivos orientan a los conductores durante su trayectoria en la

intersección mejorando su comportamiento y la funcionalidad de la misma. Además, se debe realizar un programa de mantenimiento preventivo y correctivo de la infraestructura vial, sobre todo la calzada, ya que esta tiene gran influencia en la funcionalidad de la intersección y seguridad de la misma.

Finalmente, se debe analizar constantemente los valores obtenidos durante la construcción del modelo con la finalidad de evitar la acumulación de errores los cuales pueden ser notorios en el análisis de resultados y finalizar en conclusiones erróneas para el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ✓ AMERICAN ASSOCIATION OF STATE HIGHWAY AND TRANSPORTATION OFFICIALS. (2011). A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 6° edition. Washington D.C.
- ✓ CAL Y MAYOR, Rafael† y CÁRDENAS, James (2010). Ingeniería de tránsito. Fundamentos y aplicaciones. 8° edición. Editorial Alfa Omega, México D.F.
- ✓ FEDERAL HIGHWAY ADMINISTRATION. (2009). Manual on Uniform Traffic Control Devices. Washington D.C.
- ✓ KITTELSON AND ASSOCIATES, INC. (2014). Kansas Roundabout guide. (2° ed.).Kansas.
- ✓ LABORATORY DEPARTMENT OF CIVIL AND ENVIRONMENT ENGINEERING UNIVERSITY OF WISCONSIN (2012). Calibration of VISSIM Roundabout Model: A Critical Gap and Follow-up Headway Approach. Wisconsin.
- ✓ MARTÍN, Mariló (2012) ESTUDIO Y MEJORA DE LA CAPACIDAD Y FUNCIONALIDAD DE GLORIETAS CON FLUJOS DE TRAFICO DESCOMPENSADOS MEDIANTE MICROSIMULACION DE TRAFICO (Tesina para optar para el IX Premio Abertis) Catalunya: Universidad Politécnica de Catalunya (Consulta: 22 de Agosto del 2015). http://www.catedrasabertis.com/material/premio/media/LLIBRE_Premi_Abertis_Ga_sulla_2012.pdf
- ✓ MARTINEZ ESTUPIÑAN, Yerly. (2012). Determinación de la viabilidad en la implementación de una intersección tipo diamante en ciudades colombianas . (Tesis Magíster). Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras. Lima: MTC – DGC (Consulta: 18 de Agosto del 2017).
http://transparencia.mtc.gob.pe/idm_docs/normas_legales/1_0_3730.pdf

- ✓ MINISTERIO DE TRANSPORTES Y COMUNICACIONES Manual de carreteras Diseño Geométrico de Carreteras DG 2018. Lima: MTC – DGC (Consulta: 10 de Mayo del 2018).
http://www.mtc.gob.pe/transportes/caminos/normas_carreteras/documentos/manuales/Manual.de.Carreteras.DG-2018.pdf

- ✓ MINISTERIO DE VIVIENDA Y URBANISMO (2009). Manual de viabilidad urbana recomendaciones para el diseño de elementos de infraestructura vial urbana. Chile.

- ✓ NATIONAL COOPERATIVE HIGHWAY RESEARCH PROGRAM 2010 NCHRP REPORT 672: Roundabouts: An Informational Guide. Second Edition Washington D.C.: Transportation Research Board. (Consulta: 21 de Agosto del 2015) http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_rpt_672.pdf

- ✓ PTV VISSIM. (2015). Getting Started VISSIM 6. Version 1.2. Karlsruhe.

- ✓ RODRÍGUEZ, Rony; CUBILLO, Miguel (2011) Análisis Funcional y Optimización Rotonda La Bandera. Costa Rica: Ministerio de Obras Públicas y Transporte (Consulta: 21 de Agosto del 2015).
http://procurement-notice.undp.org/view_file.cfm?doc_id=33135

- ✓ TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. (2010). Highway capacity manual. Washington D.C.

- ✓ TRUEBLOOD, Michael; DALE, Jim (2003). Simulating Roundabouts with VISSIM. California.

- ✓ VISUAL SOLUTION, INC. (2010). Vissim user's guide. Massachusetts.

ANEXOS

- Anexo 1:** Plano de zonificación del Distrito de San Borja.
- Anexo 2:** Plano de zonificación del Distrito de San Isidro.
- Anexo 3:** Aforo vehicular realizado por la Municipalidad de San Isidro.
- Anexo 4:** Aforo de validación del aforo realizado por la Municipalidad de San Isidro.
- Anexo 5:** Aforo vehicular 2016.
- Anexo 6:** Flujograma aforo 2015
- Anexo 7:** Composición vehicular y porcentajes de giros aforo 2015
- Anexo 8:** Flujograma aforo 2016
- Anexo 9:** Composición vehicular y porcentajes de giros aforo 2016
- Anexo 10:** Análisis de la situación actual según la metodología del HCM 2010 con data el aforo del año 2016
- Anexo 11:** Output Vissim - Calibración
- Anexo 12:** Output Vissim - Validación
- Anexo 13:** Output Vissim – Simulación con propuestas de mejora

LISTA DE PLANOS

Plano PMO-VS-01: Plano de Ubicación.

Plano PMO-VS-02: Plano de Geometría Actual.

Plano PMO-VS-03: Plano de Geometría Actual - Componentes.

Plano PMO-VS-04: Plano de Distribución de giros vehiculares.

Plano PMO-VS-05: Plano de Zonas de conflicto.

Plano PMO-VS-06: Plano de Propuesta de Mejora N° 1.

Plano PMO-VS-07: Plano de Propuesta de Mejora N° 2 y N° 3.