

Universidad Católica De Santa María

Facultad De Arquitectura E Ingeniería Civil Y Del Ambiente

Escuela Profesional De Ingeniería Civil



ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM

Tesis presentada por el bachiller:

Walter Nick Condori Aguilar

Para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Ing. Juan Carlos Tejada Calderón

Arequipa - Perú

2018

FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERÍAS CIVIL Y DEL AMBIENTE
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

DICTAMEN DE BORRADOR DE TESIS

VISTO

El BORRADOR DE TESIS Titulado:

"ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TIENDÓN EN EL
OVDLO QUINONES, HACIENDA LISO DEL SRF. JUAREZ PTV
VISSIM"

Presentado por el (la) (los) Bachiller (es):

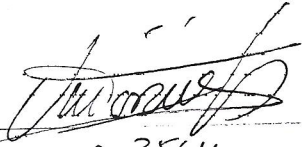
WALTER NICK CANDORI AGUIAR

Nuestro DICTAMEN es:

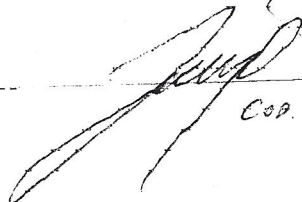
APROBADO SIN OBSERVACIONES

OBSERVACIONES:

Arequipa, 15 de DICIEMBRE del 2017


COD 2564


COD 2530


COD 1938

Dedicatoria



A mi madre, Julia Aguilar Huarachi, por el
amor y apoyo incondicional que me ha entregado.

Agradecimientos

A Dios, por toda la fortaleza que me da, y a todas las personas que me acompañaron durante el desarrollo de la presente tesis.

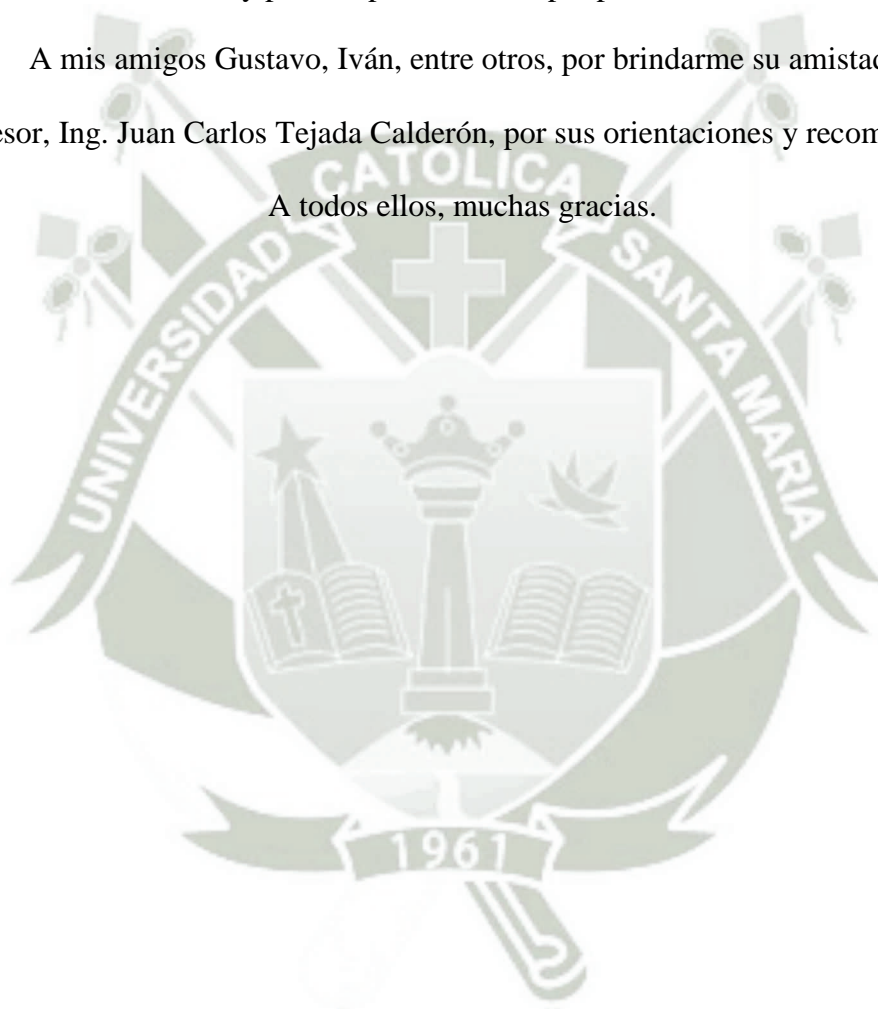
A Yessy, por todo el apoyo que me proporcionó.

A mis tías y primas, por estar siempre pendientes de mí.

A mis amigos Gustavo, Iván, entre otros, por brindarme su amistad.

A mi asesor, Ing. Juan Carlos Tejada Calderón, por sus orientaciones y recomendaciones.

A todos ellos, muchas gracias.



Resumen

La presente investigación analiza el tránsito existente en la rotonda denominada Óvalo Quiñones, situada en la ciudad de Arequipa - Perú. Para ello, se realizó un repaso acerca de los diferentes métodos existentes que permiten entender y analizar el tránsito en este tipo de intersecciones (rotondas). Sin embargo, es preciso resaltar que estos métodos fueron desarrollados en otros países, por lo tanto, su aplicación, en entornos distintos a estos, no garantiza que los resultados obtenidos sean del todo satisfactorios, por presentar diferencias en diversos aspectos como, por ejemplo, el comportamiento de los conductores. Debido a esto es que el uso de simuladores, como lo es el software PTV Vissim, para el análisis del tránsito en entornos complejos, resultan ser los más adecuados; gracias a la versatilidad que presentan, la cual permite que se adapte a cualquier sistema, por involucrar a todos los elementos contenidos dentro de fenómenos asociados al tránsito y porque permite experimentar, dentro del entorno del programa, con diferentes alternativas de solución sin que se tenga que intervenir físicamente en el área de estudio. Para llevar a cabo la simulación, se realizaron diversos estudios como: aforos, velocidades, brechas, entre otros; los cuales sirvieron como parámetros de entrada al modelo, esto con el fin de obtener una simulación que recree, de una manera real, el comportamiento del sistema. A través de esta simulación, calibrada y validada, se pudo determinar los principales factores que intervienen en la formación de congestionamientos vehiculares dentro del área de estudio; esto permitió entender y diseñar una alternativa de solución adecuada. Finalmente, se concluye que el uso de este tipo de software es conveniente para el estudio del tránsito y el planteamiento de soluciones eficientes.

Palabras clave: Rotondas, Tráfico, Microsimulación, PTV Vissim.

Abstract

The present investigation analyzes the existing traffic in the roundabout called Óvalo Quiñones, located in the city of Arequipa - Peru. For this, a review was made about the different existing methods that allow to understand and analyze the traffic in this type of intersections (roundabouts). However, it should be noted that these methods were developed in other countries, therefore, their application, in environments other than these, does not guarantee that the results obtained are entirely satisfactory, as they present differences in various aspects, such as, for example, the behavior of drivers. Due to this, the use of simulators, such as the PTV Vissim software, for the analysis of traffic in complex environments, turns out to be the most appropriate; thanks to the versatility they present, which allows it to adapt to any system, to involve all the elements contained within phenomena associated with traffic and because it allows experimenting, within the program environment, with different solution alternatives without having that physically intervene in the study area. To carry out the simulation, several studies were carried out such as: gauging, speeds, gaps, among others; which served as input parameters to the model, this in order to obtain a simulation that recreates, in a real way, the behavior of the system. Through this simulation, calibrated and validated, it was possible to determine the main factors that intervene in the formation of vehicular congestion within the study area; this allowed us to understand and design an alternative of adequate solution. Finally, it is concluded that the use of this type of software is convenient for the study of traffic and the approach of efficient solutions.

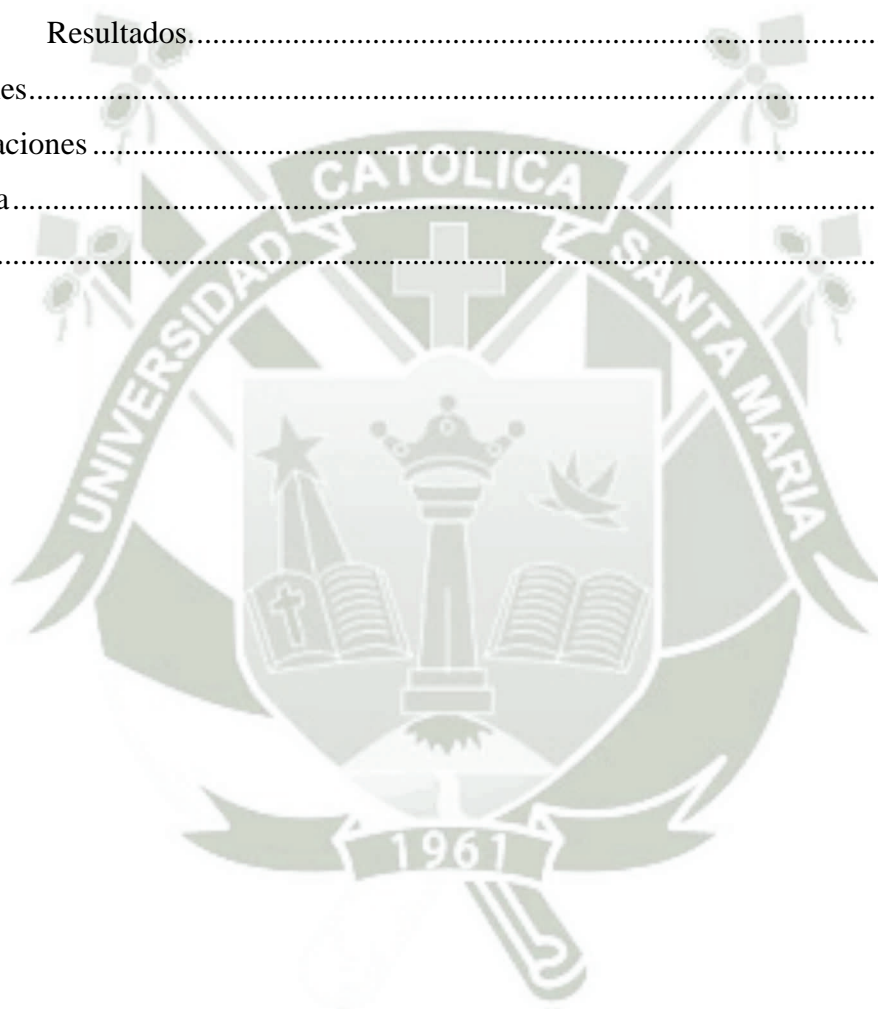
Keywords: Roundabouts, Traffic, Microsimulation, PTV Vissim.

Índice

Resumen	iv
Abstract.....	v
Capítulo 1 Introducción	1
1.1. Antecedentes	3
1.2. Objetivos	5
1.2.1. Objetivo general.	5
1.2.2. Objetivos específicos.....	5
1.3. Justificación	6
1.4. Hipótesis	7
1.5. Alcances	7
1.6. Limitaciones.....	7
Capítulo 2 Marco teórico.....	8
2.1. Rotondas modernas.....	8
2.1.1. Elementos.	9
2.1.2. Clasificación.	10
2.2. Funcionamiento	12
2.2.1. Flujo vehicular.....	13
2.3. Capacidad.....	18
2.3.1. Fórmula de Wardrop.....	19
2.3.2. Fórmula de Kimber (<i>Reino Unido</i>).....	21
2.3.3. Fórmula de Troutbeck (<i>Australia</i>).....	23
2.3.4. Fórmula del HCM (<i>Estados Unidos</i>).....	27
2.4. Niveles de servicio.....	29
2.4.1. Relación volumen-capacidad.....	29
2.4.2. Demoras.....	29
2.4.3. Calidad y niveles de servicio.....	33
2.5. Modelos de Simulación del tránsito.....	34
2.5.1. Sistema.	34

2.5.2.	Modelo.....	35
2.5.3.	Simulación.....	36
2.6.	PTV Vissim.....	38
2.6.1.	Parámetros de entrada del modelo.....	38
2.6.2.	Sub modelos.	40
Capítulo 3 Estudios y microsimulación del tránsito.....		43
3.1.	Características generales de la intersección.....	45
3.1.1.	Ubicación.....	45
3.1.2.	Área de estudio.....	46
3.1.3.	Zonificación.....	47
3.1.4.	Clasificación vial.....	48
3.1.5.	Geometría.....	49
3.1.6.	Señalización.....	51
3.1.7.	Semáforos.....	52
3.1.8.	Circulación.....	53
3.2.	Características del flujo vehicular.....	55
3.2.1.	Recolección de datos.....	55
3.2.2.	Volúmenes de tránsito.....	56
3.2.3.	Brechas.....	63
3.2.4.	Velocidades.....	70
3.2.5.	Longitud de colas.....	82
3.3.	Análisis operacional.....	83
3.3.1.	Capacidad.....	83
3.3.2.	Relación volumen-capacidad.....	87
3.3.3.	Control de demora.....	87
3.3.4.	Niveles de servicio.....	88
3.4.	Modelo de simulación microscópica.....	89
3.4.1.	Construcción del modelo.....	89
3.4.2.	Calibración del modelo.....	96
3.4.3.	Validación del modelo.....	100

3.4.4. Simulación del modelo.....	101
Capítulo 4 Análisis y evaluación de resultados.....	102
Capítulo 5 Propuesta de mejora.....	106
5.1. Condiciones de diseño.....	108
5.2. Desarrollo de la propuesta.....	108
5.2.1. Diseño.....	108
5.2.2. Análisis.....	110
5.2.3. Resultados.....	115
Conclusiones.....	119
Recomendaciones.....	122
Bibliografía.....	124
Anexos.....	126



Lista de tablas

Tabla 1. Comparación categórica de rotondas.....	11
Tabla 2. Parámetros de circulación vehicular.....	14
Tabla 3. Métodos empíricos.	15
Tabla 4. Métodos analíticos.....	16
Tabla 5. Criterios de diseño geométrico de rotondas.	20
Tabla 6. Proporción de vehículos agrupados.....	24
Tabla 7. Tiempo complementario en la corriente dominante (en segundos).....	25
Tabla 8. Tiempo complementario en la corriente subordinada.	25
Tabla 9. Ratio entre el hueco crítico y el tiempo complementario.....	26
Tabla 10. Tiempos de ajuste para el intervalo complementario de la corriente dominante.	26
Tabla 11. Relación brecha entre vehículos del flujo anular y el número de carriles del anillo.	26
Tabla 12. Intervalos críticos y de seguimiento.....	27
Tabla 13. Modelos de capacidad para diferentes configuraciones.	28
Tabla 14. Niveles de servicio en rotondas.....	33
Tabla 15. Área de influencia de la intersección.....	46
Tabla 16. Parámetros geométricos de los ramales.....	49
Tabla 17. Parámetros geométricos de la rotonda.....	50
Tabla 18. Señalización horizontal.	51
Tabla 19. Ciclo semafórico Trinidad Morán – Chullo.	52
Tabla 20. Ciclo semafórico José Abelardo Quiñones – Emel.....	52
Tabla 21. Empresas de transporte público.....	54
Tabla 22. Equivalencias de vehículos.	56
Tabla 23. Clasificación vehicular.	57
Tabla 24. Aforo vehicular por cada día.	58
Tabla 25. Factor horario de máxima demanda.	60
Tabla 26. Composición vehicular en hora de máxima demanda.....	62
Tabla 27. Intervalos promedio para el acceso Trinidad Morán.....	64
Tabla 28. Intervalos para el acceso Trinidad Morán.	65

Tabla 29. Brechas en el acceso V. Andrés Belaunde.	66
Tabla 30. Intervalos para el acceso V. Andrés Belaunde.	67
Tabla 31. Intervalos promedio para el acceso J. Abelardo Quiñones.....	68
Tabla 32. Intervalos para el acceso J. Abelardo Quiñones.	69
Tabla 33. Desviación estándar de velocidades instantáneas.....	71
Tabla 34. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.....	71
Tabla 35. Número de intervalos de clase por tamaño de muestra.	72
Tabla 36. Ancho de intervalo para cada acceso y tipo de velocidad.	73
Tabla 37. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/TM.....	74
Tabla 38. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/TM.....	75
Tabla 39. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/VAB.	76
Tabla 40. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/VAB.	77
Tabla 41. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/JAQ.	78
Tabla 42. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/JAQ.....	79
Tabla 43. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VAN/OQ.....	80
Tabla 44. Datos estadísticos del análisis de frecuencias de velocidad de punto.	81
Tabla 45. Longitud de colas.	82
Tabla 46. Equivalencias de vehículos de pasajeros.....	83
Tabla 47. Vehículos dentro de la hora pico.	84
Tabla 48. Tasa de flujos de la demanda de movimiento.	84
Tabla 49. Flujos conflictivos y flujos entrantes.....	85
Tabla 50. Capacidad de cada acceso – valores del HCM 2010.....	86
Tabla 51. Capacidad de cada acceso – valores de campo.	86
Tabla 52. Relación volumen – capacidad.....	87
Tabla 53. Control de demora dentro de la HMD.....	87
Tabla 54. Niveles de servicio en el Óvalo Quiñones.....	88
Tabla 55. Parámetros del comportamiento del conductor.	97
Tabla 56. Longitudes de cola máximas.	98
Tabla 57. Estadístico GEH - calibración.	99
Tabla 58. Estadístico GEH - validación.	100

Tabla 59. Reporte del escenario actual.....	103
Tabla 60. Valores de las variables para el cálculo del tránsito futuro.....	111
Tabla 61. Parque vehicular estimado, para Arequipa: 2006-2015	111
Tabla 62. Proyección de crecimiento del parque automotor en Arequipa.....	112
Tabla 63. Volúmenes vehiculares – año 2017.....	113
Tabla 64. Volúmenes vehiculares – año 2022.....	113
Tabla 65. Reporte del escenario propuesto - 2017	115
Tabla 66. Reporte del escenario propuesto – 2022 - 1.	116
Tabla 67. Reporte del escenario propuesto con restricción – 2022 - 2.....	118

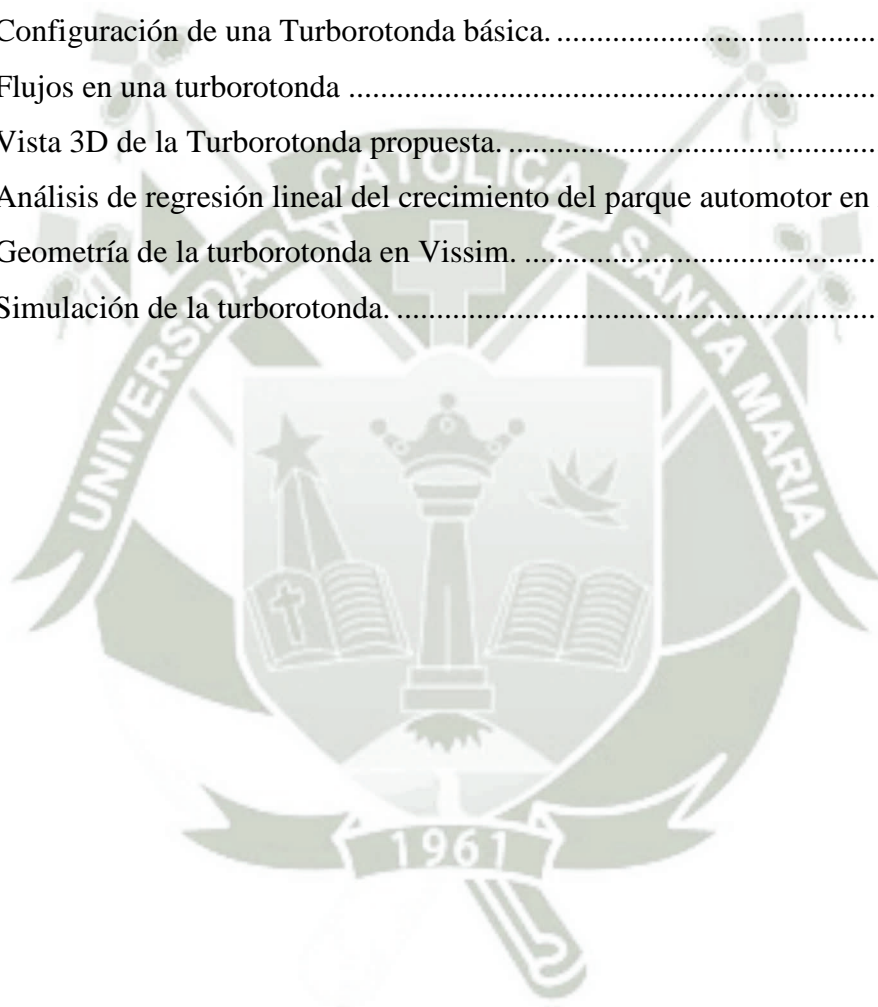


Lista de figuras

Figura 1. Elementos de las rotondas.....	9
Figura 2. Puntos de conflicto en intersecciones.....	13
Figura 3. Parámetros temporales y espaciales.....	13
Figura 4. Intervalo crítico y de seguimiento.....	17
Figura 5. Distribución de vehículos libres y agrupados en una vía.....	18
Figura 6. Parámetros de la fórmula de Wardrop.....	19
Figura 7. Parámetros geométricos de una rotonda - TRRL.....	22
Figura 8. Curvas de capacidad del carril de entrada, HCM 2010.....	28
Figura 9. Diagrama espacio – tiempo.....	30
Figura 10. Relación del flujo anular y demoras.....	31
Figura 11. Patrón de velocidades en una rotonda.....	32
Figura 12. Niveles de simulación del tráfico.....	36
Figura 13. Fases del modelo de Wiedemann 74.....	41
Figura 14. Modelo de cambio de carril.....	42
Figura 15. Esquema metodológico del trabajo de investigación.....	44
Figura 16. Ubicación del Óvalo Quiñones.....	45
Figura 17. Área de influencia.....	46
Figura 18. Zonificación del área de estudio.....	47
Figura 19. Clasificación vial de las avenidas que convergen en el Óvalo Quiñones.....	48
Figura 20. Sección transversal típica de vía.....	49
Figura 21. Geometría del Óvalo Quiñones.....	50
Figura 22. Semáforo en la intersección Trinidad Morán – Chullo.....	52
Figura 23. Semáforo en la intersección J. Abelardo Quiñones – Emel.....	52
Figura 24. Sentidos de circulación.....	53
Figura 25. Rutas del transporte público.....	54
Figura 26. Distribución de campos visuales.....	55
Figura 27. Volúmenes de tránsito diario.....	58
Figura 28. Volúmenes de tránsito horario.....	59

Figura 29. Variación horaria - Trinidad Moran.....	60
Figura 30. Variación horaria – V. Andrés Belaunde.	61
Figura 31. Variación horaria – J. Abelardo Quiñones.....	61
Figura 32. Flujograma periodo 12:45 pm – 01:45 pm.....	61
Figura 33. Composición vehicular en la HMD.	62
Figura 34. Medición de intervalos entre vehículos.	63
Figura 35. Curva de regresión lineal del acceso Trinidad Morán.	65
Figura 36. Curva de regresión lineal del acceso V. Andrés Belaunde.	67
Figura 37. Curva de regresión lineal del acceso J. Abelardo Quiñones.....	69
Figura 38. Tipos de velocidades.....	70
Figura 39. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/TM.....	74
Figura 40. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/TM.....	75
Figura 41. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/VAB.....	76
Figura 42. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/VAB.....	77
Figura 43. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/JAQ.....	78
Figura 44. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/JAQ.....	79
Figura 45. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VAN/OQ.....	80
Figura 46. Flujos del tráfico.	85
Figura 47. Parámetros de simulación.	89
Figura 48. Edición de velocidades en Vissim.	90
Figura 49. Clases y tipos de vehículos en Vissim.	90
Figura 50. Composiciones vehiculares en Vissim.....	91
Figura 51. Links (enlaces).	91
Figura 52. Connector (conectores).	92
Figura 53. Geometría de la red.	92
Figura 54. Volúmenes vehiculares en Vissim.	93
Figura 55. Rutas asignadas a los vehículos que parten de la av. V. Andrés Belaúnde.....	93
Figura 56. Áreas de reducción de velocidad.....	94
Figura 57. Controladores semafóricos.....	95
Figura 58. Ingreso de semáforos en la intersección J. A. Quiñones - Emel.....	95

Figura 59. Áreas de conflicto.	96
Figura 60. Seguimiento vehicular.....	96
Figura 61. Comparativa entre longitudes de cola promedio de campo y simulados.	98
Figura 62. Comparativa entre los volúmenes de campo y simulados.	100
Figura 63. Simulación de la rotonda.....	101
Figura 64. Nodo polígono.....	102
Figura 65. Reporte del escenario actual.....	102
Figura 66. Configuración de una Turborotonda básica.	106
Figura 67. Flujos en una turborotonda	107
Figura 68. Vista 3D de la Turborotonda propuesta.	109
Figura 69. Análisis de regresión lineal del crecimiento del parque automotor en Arequipa. .	112
Figura 70. Geometría de la turborotonda en Vissim.	114
Figura 71. Simulación de la turborotonda.....	114



Capítulo 1

Introducción

Arequipa es una de las regiones con más habitantes del Perú, también, es una de las regiones que presenta un mayor porcentaje de población urbana respecto a la población rural¹; esto debido a la constante migración de personas que experimenta la ciudad desde hace ya varias décadas. Si bien esto ofrece muchas ventajas, ya que permite que el desarrollo de proyectos se maneje de manera más eficiente, beneficiando a una mayor parte de la población; también trae consigo la aparición de diversos, y cada vez más complejos, problemas para la ciudad. El PDM Arequipa 2016 – 2025², resume y clasifica a estos problemas en seis categorías, que son: vialidad y transporte, crecimiento urbano desordenado y no planificado, centralismo y concentración de actividades de intercambio en el área central de la ciudad, baja densidad urbana, baja calidad ambiental y la falta de institucionalidad que haga cumplir la regulación sobre el uso del suelo urbano rural de la ciudad.

Las congestiones vehiculares, que están relacionadas con los problemas anteriormente mencionados, son uno de los principales problemas que aquejan diariamente a la población arequipeña, y se presentan, cada vez de manera más frecuente, en diversos puntos de la ciudad. El origen de estas -congestiones- se debe a factores tales como: déficit de corredores viales, la ausencia de un sistema integrado de transporte y multimodal, que trae como consecuencia la proliferación de empresas de transporte público (que de acuerdo al PDM Arequipa 2016 – 2025, abarcan un total de 243 rutas), semáforos que operan de manera inadecuada o que no funcionan,

¹ De acuerdo al documento “Arequipa: Compendio Estadístico Regional 2008-2009”, elaborado por el INEI (pág. 21), para el año 2007 la población urbana en la región representaba el 90.6%, mientras que la rural tan sólo el 9.4%.

² Plan de desarrollo metropolitano de Arequipa 2016 – 2025, capítulo I, pág. 9.

el constante crecimiento del parque automotor³, avenidas y calles cerradas por reparación o por el inicio de construcciones nuevas, y en algunos casos se da por el mal diseño de vías, las cuales presentan niveles de servicio bajos, ya que no pueden soportar el volumen de tráfico que actualmente existe en algunos puntos de la ciudad. Todo esto crea un ambiente propicio que permite la formación de congestionamientos vehiculares.

Las circunstancias anteriormente descritas, son un reflejo de las deficiencias que tiene actualmente la ciudad en materia de transporte, infraestructura vial y sobre todo en el desarrollo de proyectos de investigación, a mediano y largo plazo, que permitan encontrar soluciones adecuadas; ya que muchas veces estos proyectos se elaboran mediante la aplicación de métodos que no contemplan a todos los factores asociados a este tipo de problemas, por ejemplo, la relación entre el comportamiento de los conductores y las congestiones vehiculares; debido, principalmente, a la complejidad de estos, y que como consecuencia tiene que este tipo de problemas no sólo persistan, sino, que se agraven con el paso del tiempo. Estos aspectos, de no ser atendidos, podrían llevar al colapso del sistema vial existente en algunos puntos de la ciudad.

La realización de investigaciones relacionadas, entre otros aspectos, al transporte, empleando metodologías modernas, como los modelos de microsimulación del tráfico, es de vital importancia, ya que permiten que el análisis de los problemas se realice de una manera acorde al entorno donde se realiza el estudio, que es una condición primordial para que el planteamiento de soluciones se aplique de una manera efectiva, mejorando las condiciones en las que se encuentran actualmente varias avenidas e intersecciones de la ciudad.

³ La tabla: “Parque Vehicular Estimado, Según Departamento: 2006-2015“, de la página web del MTC, especifica que para el año 2015 se estimaron 176,315 unidades vehiculares en Arequipa.

1.1. Antecedentes

Para la elaboración de la presente investigación titulada, “Análisis y Evaluación Microscópica Del Tráfico En El Óvalo Quiñones, Haciendo Uso Del Software PTV Vissim”, es necesario revisar estudios realizados previamente que se relacionen con los objetivos aquí planteados; en ese sentido, es importante mencionar las conclusiones más importantes a las que llegaron las siguientes investigaciones:

Como primer antecedente tenemos a la investigación realizada por la magister Mariló Martín Gasulla (2011), de la Universidad Politécnica de Valencia; quien a través de su tesis: “Estudio Y Mejora De La Capacidad Y Funcionalidad De Glorietas Con Flujos De Tráfico Descompensados Mediante Microsimulación De Trafico. Aplicación A La Intersección De La CV-500 Con La CV-401, El Saler (T.M. Valencia)”, pudo concluir, principalmente, dos cosas: primero, que para el cálculo de la capacidad en rotondas, los métodos analíticos, al depender del comportamiento del conductor y del lugar donde se realizó el estudio, no son los más idóneos para aplicarlos, pues estos no se ajustan correctamente a los valores de otras regiones, por ejemplo, la del Perú; los modelos empíricos, por otra parte, brindan resultados más aproximados. Y segundo, y en relación a lo comentado anteriormente, menciona que los modelos de simulación microscópica resultan más adecuados, ya que brindan resultados mucho más ajustados a los valores del lugar donde se realiza el estudio.

Como segundo antecedente está la investigación realizada por el ingeniero Jesús Arturo Guzmán Balcázar (2015), de la Pontificia Universidad Católica del Perú; que a través de su tesis: “Rediseño del Óvalo de Naranjal”, pudo concluir que el uso de programas determinísticos no brindan resultados satisfactorios; distintos a los resultados obtenidos por modelos estocásticos, como los modelos de simulación microscópica; respecto a esto último el autor

comenta: “en éste tipo de programas, se pudo analizar de forma detallada el comportamiento de los vehículos a través de varias simulaciones”, reafirmando la conclusión a la que llegó la primera investigación mencionada.

Como tercer antecedente está la investigación realizada por la ingeniera Ana Torres Alzamora, de la Universidad de Piura; quien a través de su tesis: “Análisis Y Comparación De Criterios De Diseño Geométrico En Las Rotondas Modernas”, concluyó que el diseño geométrico de rotondas en el Perú no es adecuado, ya que la norma peruana solo hace referencia a estas de manera muy general, utilizando, para el cálculo de la capacidad en rotondas, la fórmula de Wardrop, que hace un análisis mediante secciones de entrecruzamiento, la cual dejó de ser utilizada hace muchos años; por tal motivo, países como: Australia, Reino Unido, Estados Unidos, Alemania, Francia, entre otros, mediante investigaciones realizadas, pudieron obtener métodos más adecuados, para el cálculo de capacidades; en ese sentido la autora recomienda utilizar el método propuesto por el HCM 2010, para el cálculo de capacidad en rotondas.

Y por último tenemos a la investigación realizada por el ingeniero Luis Mauricio Villalba Linares (2015), de la Universidad Católica de Santa María; quien a través de su tesis: “Análisis De La Interconexión Vial Del Ovalo Sector Cayma Del Puente Chilina En La Provincia De Arequipa”, pudo demostrar que el periodo de diseño del óvalo sector Cayma, era de cero años, con un nivel de servicio “F”; él óvalo presentaba un serio problema de congestión vehicular, que era producido por la gran demanda que tiene el puente Chilina y el mismo óvalo; respecto a esto el autor recomienda la realización de estudios que puedan determinar la capacidad con la que vienen operando los óvalos e intersecciones más importantes en nuestra ciudad.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo general.

El objetivo principal de la presente investigación, es realizar un Análisis y Evaluación Microscópica Del Tráfico En El Ovalo Quiñones, Haciendo Uso Del Software PTV Vissim, que permita optimizar la circulación del flujo vehicular en este punto de la ciudad.

1.2.2. Objetivos específicos.

- Realizar un estudio de tránsito (aforos vehiculares, brechas, velocidades de operación, longitud de colas, etc.), que permita determinar las características del flujo vehicular en el Óvalo Quiñones.
- Determinar, mediante un análisis operacional, la capacidad y los niveles de servicio que presenta actualmente el Óvalo Quiñones en periodos de máxima demanda, mediante la metodología propuesta por el HCM 2010.
- Construir un modelo de simulación microscópico, calibrado y validado, que permita reproducir, de una manera real, el comportamiento de los vehículos que circulan por el Óvalo Quiñones.
- Evaluar, a partir del modelo de simulación microscópico desarrollado, el desempeño del Óvalo Quiñones, dentro de la hora de máxima demanda.
- Desarrollar una propuesta que permita corregir y optimizar las condiciones de circulación de los vehículos en el Óvalo Quiñones.
- Determinar las ventajas que supone el uso de microsimuladores para la realización de estudios de tránsito.

1.3. Justificación

El crecimiento de las ciudades trae consigo la necesidad de contar con proyectos que permitan brindar a la población, soluciones a los problemas que constantemente aparecen, entre ellos tenemos al tránsito; es así que, para poder lograr este objetivo, uno de los aspectos más importantes a considerar, es el de contar con una adecuada infraestructura vial, que permita a los usuarios movilizarse desde y hacia cualquier punto de la ciudad de una manera rápida, cómoda y económica. La ejecución de nuevos proyectos viales que permitan corregir este problema es importante, pero también es necesario la evaluación de vías ya existentes, y de este modo encontrar e implementar soluciones de una manera más rápida y económica.

En ese sentido se tiene que, considerando las condiciones actuales del tráfico en el Óvalo Quiñones, y de acuerdo a lo mencionado en el párrafo anterior, se hace necesario el desarrollo de un Análisis Y Evaluación Microscópica Del Tráfico En El Ovalo Quiñones, Haciendo Uso Del Software PTV Vissim, que permitirá identificar y corregir todas las causas que hacen que se generen congestiones vehiculares en este punto de la ciudad. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, tenemos que:

Desde un punto de vista teórico, esta investigación permitirá conocer las ventajas que supone el uso de modelos de microsimulación, y ayudará a entender cómo y porque se originan las congestiones vehiculares.

Desde un punto de vista práctico, esta investigación permitirá desarrollar alternativas de solución que contribuyan a mejorar las condiciones de circulación de los vehículos que transitan por el Óvalo Quiñones.

Desde un punto de vista metodológico, esta investigación permitirá el desarrollo de nuevas investigaciones, a partir de la problemática aquí señalada.

1.4. Hipótesis

Actualmente los niveles de servicio en el Óvalo Quiñones no son adecuados en periodos de máxima demanda (HMD), debido a que la cantidad de vehículos que atraviesan esta intersección (volumen), excede la oferta vial (capacidad); esto hace que constantemente se generen congestiones vehiculares, que, como consecuencia, trae la formación de largas colas de vehículos, prolongados tiempos de espera o accidentes vehiculares, en el peor de los casos.

La realización de un Análisis y Evaluación Microscópica Del Tráfico En El Óvalo Quiñones, Haciendo Uso Del Software PTV Vissim, permitiría identificar las causas que contribuyen a la formación de congestiones vehiculares, de esta manera se podrá desarrollar propuestas que ayuden a corregir y mejorar los niveles de servicio que se presentan actualmente en esta intersección.

1.5. Alcances

- La construcción del modelo de simulación microscópico se realizará a través del software PTV Vissim, versión 9.0.
- Para desarrollo de los aforos, no se tomará en consideración la presencia de los peatones.
- El desarrollo de la investigación abarca únicamente al área de influencia (área de estudio) comprendida por el Óvalo Quiñones (ver anexo 4, plano U-01).

1.6. Limitaciones

- El periodo de recolección de información se limita a tres días representativos de la semana (lunes, viernes y sábado), y en los siguientes periodos: mañana (07:00 am. – 09:00 am.), tarde (12:00 pm. – 02:00 pm.) y noche (05:00 pm. – 07:00 pm.).

Capítulo 2

Marco teórico

La ingeniería de tránsito es considerada como una rama de la ingeniería de transporte, la que a su vez se considera como una rama de la ingeniería civil; se define como aquella ciencia que mide el tráfico y los viajes a través del estudio de las leyes básicas relativas a la generación de flujo de tráfico, y aplica este conocimiento a la planificación, diseño y operación de los sistemas de transporte, con el fin de brindar seguridad y eficiencia en el transporte de los usuarios (Homburger, 2001).

Este capítulo conceptualiza los temas más relevantes concernientes a la ingeniería de tránsito y a la problemática aquí planteada, todos ellos necesarios e importantes para el entendimiento y desarrollo de la presente investigación.

2.1. Rotondas modernas

Las rotondas modernas, también conocidas como óvalos o glorietas, son un tipo de intersección circular⁴, que tiene la particularidad de que a través de un anillo central, confluyen y se conectan tres o más tramos de vías (también llamados ramales), y en el cual se establece una circulación rotatoria en sentido anti horario que tiene prioridad sobre el tráfico entrante, y que está gobernado por la regla de Ceda el Paso.

Las rotondas⁵ se desarrollaron en Gran Bretaña, entre los años 50 y 60, mediante el estudio de círculos de tránsito, los cuales presentaban serias deficiencias en su funcionamiento.

⁴ El reporte 672 de la NCHRP, pág. 1-4, clasifica a las intersecciones circulares en: círculos semaforizados, círculos de tránsito barrial, rotatorias y rotondas; y las denomina como “círculos de tránsito”.

⁵ La presente tesis adoptará la denominación de Rotonda, para referirnos únicamente a las Rotondas Modernas Urbanas, quedando fuera del estudio los otros tipos de intersecciones circulares.

Este nuevo tipo de intersección tiene como norma principal el principio de *Ceda el Paso*, el cual establece que los vehículos que intentan ingresar a la rotonda desde cualquier ramal, deben ceder el paso a los vehículos que transitan por la calzada de circulación. El análisis de este tipo de rotondas se realiza considerando a estas como una serie de intersecciones en “T”, y no como una sucesión de tramos de trenzado, como se creía anteriormente; esto permitió que las dimensiones de las rotondas disminuyan considerablemente, aumentando su capacidad y reduciendo las demoras y accidentes.

Las ventajas que supuso el uso de rotondas, bajo las consideraciones anteriormente descritas, permitieron que países como Francia, Australia, Estados Unidos, entre otros, adopten e inicien estudios a fin de hallar métodos que permitieran determinar la capacidad de estas.

2.1.1. Elementos.

Las rotondas están conformadas principalmente por cinco elementos, que son:

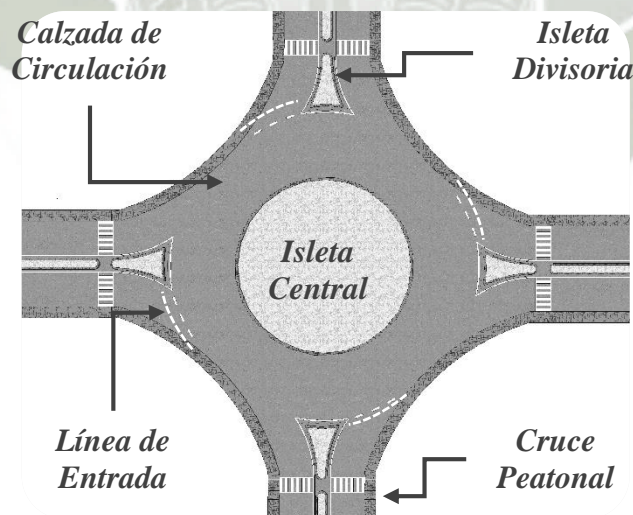


Figura 1. Elementos de las rotondas.
Fuente: Elaboración propia

Isleta central. Es el área central de la rotonda respecto a la cual circulan los vehículos, ésta no necesariamente es circular.

Isleta divisoria. Es una zona elevada (o pintada), que sirve para separar el tráfico de entrada y el de salida, desviar y lentificar flujo vehicular; también permite que los peatones puedan cruzar la vía en dos etapas.

Calzada de circulación. Es la ruta circular utilizada por los vehículos para transitar alrededor de la isleta central en sentido anti horario.

Línea de entrada. Es la señal marcada en la vía que establece el límite del borde de la calzada y el punto de entrada a la rotonda, actuando como control para el acceso de los vehículos; ésta indica a los vehículos que intentan ingresar a la rotonda, ceder el paso a los vehículos que transitan por la calzada de circulación.

Cruces peatonales. Permite que los peatones crucen una vía, y se ubican atrás de la línea de entrada; estos deben ser accesibles para todo tipo de usuarios y deben estar demarcados apropiadamente.

2.1.2. Clasificación⁶.

Según el tamaño y número de carriles, se distinguen tres categorías básicas de rotondas: las minirotondas, rotondas de un solo carril y rotondas multicarriles; estas poseen características particulares, como se puede ver en la tabla 1. A continuación haremos una descripción breve de cada una de ellas.

⁶ Adaptación del reporte 672 de la NCHRP, pág. 1-10

Tabla 1. Comparación categórica de rotondas.

Elemento	Minirotonda	Rotonda de un carril	Rotonda de varios carriles
Velocidad de entrada máxima deseable	25 a 30 km/h	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h
Número de entradas	1	1	>2
Diámetro del círculo inscrito típico	13 a 27 m	27 a 55 m	46 a 91 m
Tratamiento de la isleta central	Totalmente Transitable	Elevada (Puede ser atravesable)	Elevada (Puede ser atravesable)
Volumen de servicio en rotondas de 4 ramales. (veh./día)	Hasta 15000	Hasta 25000	Hasta 45000

Fuente: NCHRP, reporte 672, anexo 1-9, pág. 1-12

Minirotondas. Son rotondas pequeñas, cuya principal característica es que posee una isleta central totalmente transitable, son utilizadas sobre todo en zonas urbanas y operan a una velocidad máxima de 30 km/h.

Rotondas de un solo carril. Son rotondas en la que las entradas son de un solo carril en todos los ramales que conforman la rotonda, se diferencian de las anteriores por que poseen un diámetro mayor, permitiendo velocidades de circulación ligeramente mayores.

Rotondas de varios carriles. Este tipo de rotondas poseen por lo menos una entrada con dos o más carriles, requieren calzadas de circulación más anchas que permitan la circulación de vehículos de lado a lado; las velocidades de operación en la entrada, calzada y salida son similares.

2.2. Funcionamiento

El tránsito de vehículos en rotondas, como ya se mencionó, está regulado por el principio de Ceda el Paso; esto permite que los vehículos, que transitan por la calzada anular, tengan prioridad sobre los vehículos que intenta acceder a ella. Para que un vehículo pueda acceder a la rotonda, debe elegir un intervalo de tiempo aceptable que le permita acceder al carril de circulación; la teoría de aceptación de brechas describe este fenómeno y es empleada en modelos probabilísticos para estimar la capacidad en rotondas.

El funcionamiento de rotondas, comparadas con otros tipos de intersección, resulta más eficiente bajo diferentes volúmenes de tránsito; esto debido a que los vehículos no están obligados a parar, a diferencia de, por ejemplo, intersecciones controladas por semáforos. La seguridad en este tipo de intersecciones también mejora respecto a otros; cuando un vehículo, independientemente del tipo, se aproxima a una rotonda, se ve obligado a reducir su velocidad para acceder a ella, luego, cuando ya se encuentra en la calzada anular, pasa de ser un vehículo ubicado en un flujo subordinado, a ser uno ubicado en un flujo prioritario, hasta que sale de la rotonda. Para que un vehículo, que circula por la calzada de circulación, pueda salir de ella, tiene que girar hacia la derecha para completar el movimiento deseado, esto permite que el número de puntos de conflicto sea menor, comparada con una intersección normal, como se puede ver en la figura 2, donde:

- Puntos de convergencia.
- Puntos de divergencia.

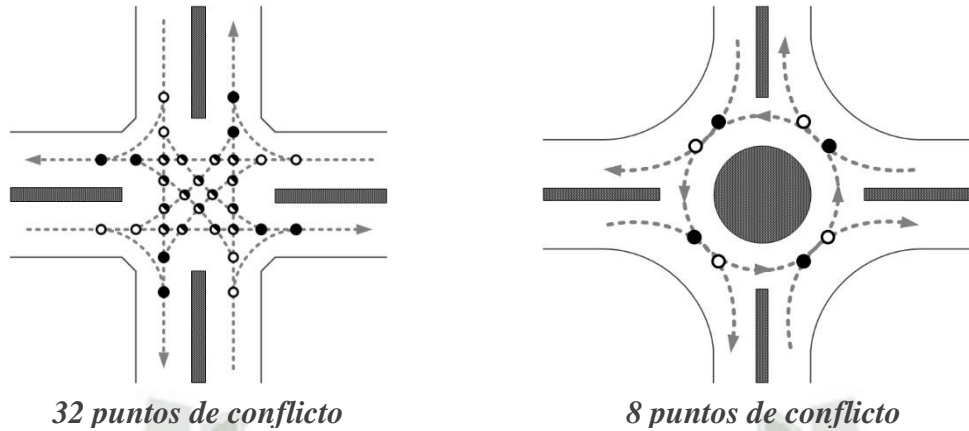


Figura 2. Puntos de conflicto en intersecciones.
Fuente: Elaboración propia.

2.2.1. Flujo vehicular.

El flujo vehicular en una rotonda, y en general en una vía, se desarrolla en dimensiones de tipo espacial y temporal de manera simultánea, como se muestra en la figura 3; éste puede ser analizado a partir de diferentes parámetros (ver tabla 2).

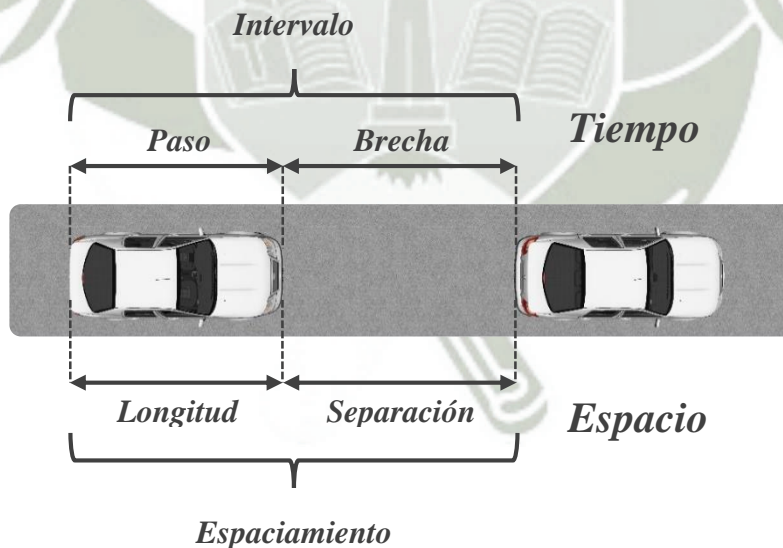


Figura 3. Parámetros temporales y espaciales.
Fuente: Adaptada de Cal y Mayor.

Tabla 2. Parámetros de circulación vehicular.

Parámetros	Dimensión	Tipo
Flujo o intensidad	Temporal	Macroscópica
Intervalo	Temporal	Microscópica
Concentración o densidad	Espacial	Macroscópica
Espaciamiento	Espacial	Microscópica

Fuente: Elaboración propia

Flujo. Número de vehículos que atraviesan una vía en un periodo de tiempo.

Intervalo. Tiempo que transcurre entre el paso por un punto de una vía, entre extremo trasero de un vehículo y el mismo extremo del siguiente vehículo.

Brecha. Tiempo que transcurre, entre el paso por un punto de una vía, entre extremo trasero de un vehículo y el delantero del siguiente vehículo.

Paso. Tiempo que tarda un vehículo en recorrer su propia longitud.

Densidad. Número de vehículos presentes en un tramo de vía en un cierto instante.

Espaciamiento. Distancia entre los extremos traseros de dos vehículos consecutivos.

Separación. Distancia entre el extremo trasero y delantero de dos vehículos.

Longitud. Distancia entre los extremos delantero y trasero de un vehículo.

Con el desarrollo de la teoría del flujo vehicular, la cual es entendida a partir del análisis de los parámetros descritos anteriormente, y de la interacción entre los mismos, es que se desarrolla modelos que permiten estimar la capacidad en rotondas. Existen principalmente dos

modelos que permiten obtener dicha capacidad, que son: los modelos lineales y los modelos probabilísticos.

Modelos lineales (métodos empíricos). Estos modelos permiten, a partir de la observación de rotondas en condiciones de saturación y de sus características geométricas, establecer relaciones lineales entre el tráfico de la calzada de circulación y la capacidad de acceso. Existen diversos modelos desarrollados en diferentes países, como se puede ver en la tabla 3, siendo el del Reino Unido precursor en este tipo de análisis.

Tabla 3. Métodos empíricos.

Autor	País	Análisis
TRRL	Reino Unido	Regresión lineal
CETUR	Francia	Regresión lineal
Bovy	Suiza	Regresión lineal
Siegloch	Alemania	Regresión lineal

Fuente: Elaboración propia

Modelos probabilísticos (métodos analíticos). Se basan en el modelo de aceptación de brechas, que considera que el tráfico de la calzada de circulación se compone de vehículos que dejan una cierta distancia entre ellos (intervalo o brecha), y que los vehículos que intentan ingresar a esta calzada lo harán sólo cuando este intervalo adquiera un determinado valor. Al igual que los modelos lineales, existen diversos métodos desarrollados en diferentes países, como se puede ver en la tabla 4, siendo el método desarrollado en Australia uno de los principales en este tipo de análisis.

Tabla 4. Métodos analíticos.

Autor	País	Análisis
Troutbeck	Australia	Brecha de aceptación
Tanner	Alemania	Brecha de aceptación
HCM 2010	EE.UU.	Brecha de aceptación

Fuente: Elaboración propia

Modelo de aceptación de brechas (Gap Acceptance). Este modelo establece que para acceder a una vía prioritaria (calzada de circulación), o para incorporarse a ella desde una vía secundaria (ramal), los conductores de la vía secundaria observan las brechas (intervalos) que se presentan en el flujo prioritario, esperando que se produzca una brecha suficientemente grande que le permita acceder a la rotonda; el conductor debe aceptar y acceder o rechazar y esperar un nuevo intervalo. Los parámetros fundamentales en los que se basa este modelo son: el intervalo crítico y el intervalo de seguimiento, tal como se puede ver en la figura 4, donde:

- Intervalo crítico (t_c). Intervalo mínimo que debe producirse entre dos vehículos consecutivos del flujo prioritario para que el vehículo en espera pueda acceder.
- Intervalo de seguimiento (t_f). Es el tiempo que tarda un vehículo, ubicado en el segundo lugar de la cola del flujo secundario, en incorporarse al flujo prioritario usando el mismo intervalo del vehículo precedente.

Existen diferentes métodos para determinar ambos parámetros, destacando dos: el análisis de regresión, que determina ambos parámetros de forma conjunta (Siegloch), y el probabilístico, que determina ambos de forma independiente (máxima verosimilitud).



Figura 4. Intervalo crítico y de seguimiento.
Fuente: Elaboración propia.

El modelo de aceptación de brechas se basa en las siguientes suposiciones:

- La función de distribución de brechas e intervalos es la misma.
- Comportamiento homogéneo y consistente para todos los conductores de un mismo movimiento.
- El intervalo mínimo o brecha crítica (τ), es igual y constante para todos los conductores.
- Los conductores aceptan una brecha $\geq \tau$, y rechazan aquellas que son menores.
- La proporción de vehículos en pelotón es igual a θ .
- El tiempo de avance de un lugar en la cola de la rama secundaria es igual a β
- Los vehículos del flujo prioritario llegan a la intersección de dos maneras, tal como se puede ver en la figura 5, que son:
 - Vehículos en fila, agrupados o pelotón. Donde el intervalo entre vehículos es menor o igual al intervalo mínimo (Δ).
 - Vehículos libres. Donde el intervalo entre vehículos es mayor que el intervalo mínimo ($h > \Delta$), ϕ representa el porcentaje de vehículos libres.

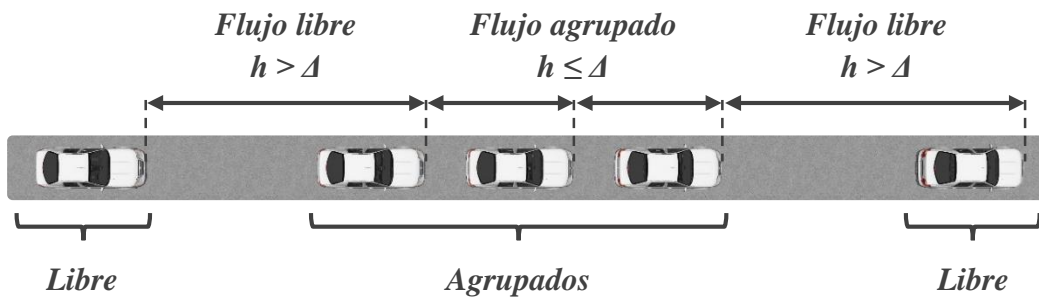


Figura 5. Distribución de vehículos libres y agrupados en una vía.
Fuente: Elaboración propia.

2.3. Capacidad

Como se mencionó anteriormente, hasta 1966, el análisis de rotondas consideraba a estas como una serie de tramos de trenzado; esto implicaba que, para aumentar la capacidad de la rotonda, se debía aumentar la longitud de entrecruzamiento, lo que permitía que las dimensiones de las rotondas aumentaran considerablemente; gracias a investigaciones realizadas en diversos países se comprobó que las rotondas no se comportaba como secciones de trenzado, sino, más bien, como una serie de intersecciones en “T”, lo que llevó a la búsqueda de fórmulas que permitieran calcular la capacidad de cada uno de los accesos a la rotonda, con lo que el concepto de capacidad global de una rotonda perdió sentido.

La adopción de este nuevo concepto de intersección en “T”, llevó al desarrollo de modelos que permitieran estimar el máximo flujo de vehículos que puedan ingresar a la rotonda durante un determinado periodo de tiempo. Como se mencionó anteriormente, existen dos tipos de modelos que permiten realizar este tipo de análisis: los modelos lineales y los modelos de tipo probabilísticos basados en la teoría de aceptación de brechas; a continuación, describiremos lo modelos más representativos para estimar la capacidad en rotondas.

2.3.1. Fórmula de Wardrop.

La fórmula de Wardrop analiza a las rotondas como una serie de tramos de trenzado, de esta manera, se determina la capacidad global de una rotonda; esta es representada por la siguiente expresión:

$$Q_p = \frac{160 * W * \left(\frac{1 + e}{W}\right)}{\left(1 + \frac{W}{L}\right)}$$

$$e = \frac{e_1 + e_2}{2}$$

Donde:

Q_p = Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto (veh/h).

W = Ancho de la sección de entrecruzamiento (m).

e = Ancho promedio de las entradas a la sección de entrecruzamiento (m).

e_1, e_2 = Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento (m).

L = Longitud de la sección de entrecruzamiento (m).

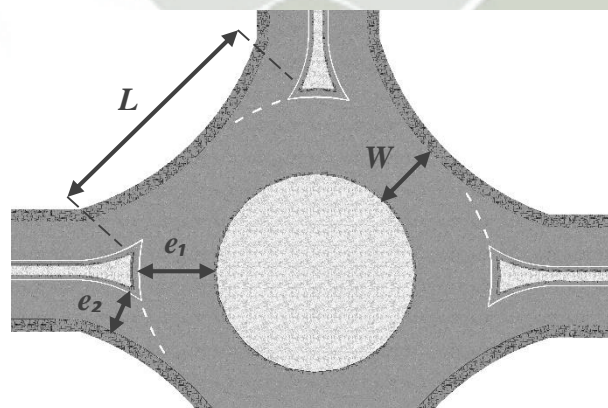


Figura 6. Parámetros de la fórmula de Wardrop.
Fuente: Elaboración propia.

El manual de diseño geométrico de carreteras DG-2013, toma en cuenta la fórmula de Wardrop para el cálculo de la capacidad de rotondas, y propone una serie de criterios para el diseño geométrico de rotondas, como se pueden ver en la tabla 5.

Tabla 5. Criterios de diseño geométrico de rotondas.

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 los accesos de entrada	m	30
Radio interior mínimo de los accesos de salida	m	40
Ángulo ideal de entrada	°	60°
Ángulo ideal de salida	°	30°

Fuente: Manual de diseño geométrico para carreteras DG-2013, tabla 502.14, pág. 276.

Así mismo, hace las siguientes recomendaciones:

- El dimensionamiento de las islas direccionales será consecuencia de la geometría general de la solución, están deben tener como mínimo entre 4.50 m² y 7.00 m²
- Para el diseño de los ramales de entrada y salida, se aplica los criterios y dimensiones mínimas en lo referente a anchos de calzada, bermas, peraltes, visibilidad y radios mínimos, que están en función de la velocidad de diseño adoptada.

A partir de las observaciones realizadas por la TRRL, se demostró que los parámetros asociados a la zona de trenzado, que usa la fórmula de Wardrop, no influyen en la capacidad de las rotondas modernas.

2.3.2. Fórmula de Kimber (*Reino Unido*).

Tras varios años de estudios realizados por la TRRL⁷ en Reino Unido, Kimber (1980) propone una fórmula para calcular la capacidad de una rotonda a partir de la relación -casi-lineal entre el flujo circulante y la capacidad de la entrada a la rotonda; para ello, se hace uso de la siguiente expresión:

$$Q_e = k * (F - f_c * Q_c)$$

Donde:

Q_e = Capacidad de una entrada (veh/h).

Q_c = Flujo circulante (veh/h).

k, F, f_c = Parámetros calibrados en función de las características geométricas de la entrada y de la rotonda, estos se hallan de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$k = 1 - 0.00347 * (\emptyset - 30) - 0.978 * \left(\frac{1}{R} - 0.05\right)$$

$$F = 303 * X$$

$$f_c = 0.210 * t * (1 + 0.2 * X)$$

$$t = 1 + \frac{0.5}{1 + e^{\left(\frac{D-60}{10}\right)}} \quad X = v + \left(\frac{e-v}{1+2*S}\right)$$

$$S = \frac{1.6 * (e - v)}{l'}$$

⁷ Transport and Road Research Laboratory.

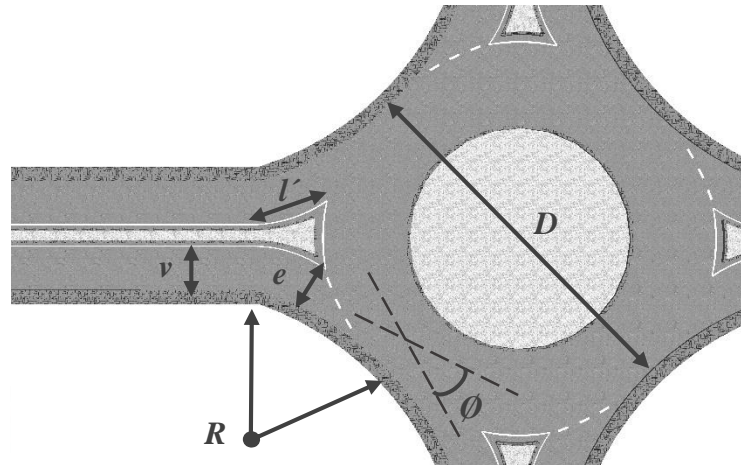


Figura 7. Parámetros geométricos de una rotonda - TRRL.
Fuente: Elaboración propia.

Donde:

- e = Ancho de la entrada (m).
- v = Ancho del acceso de entrada (m).
- l' = Longitud efectiva del abocinamiento de entrada (m).
- S = Agudeza del abocinamiento (m).
- D = Diámetro del círculo inscrito (m).
- \emptyset = Ángulo del círculo inscrito ($^{\circ}$).
- R = Radio de entrada (m).

El desarrollo de este modelo se realizó a través de la recolección de datos de 86 rotondas observadas en condiciones de saturación, y toma en cuenta también las características geométricas de cada una. En base a estos datos fue posible establecer un modelo de cálculo de capacidad empírico, que prometía resultados satisfactorios para la zona donde se realizó el estudio (Reino Unido).

2.3.3. Fórmula de Troutbeck (*Australia*).

Troutbeck (1989), estableció la capacidad a partir de la modificación de la ecuación de Tanner, en base a la hipótesis de que la mayoría de los vehículos circulan en la rotonda de dos maneras, que son: circulación en fila (agrupados), donde los vehículos circulan muy cerca de los vehículos que los preceden; y circulación libre, donde los vehículos circulan sin interacción con otros vehículos. Troutbeck propone una ecuación para el cálculo de la capacidad de los accesos, la cual viene dada por la siguiente ecuación:

$$Q_e = \frac{3600 * (1 - \theta) * q_c * e^{-\lambda * (T - \Delta)}}{1 - e^{-\lambda * T_o}}$$

Donde:

Q_e = Capacidad de la entrada (veh/h).

q_c = Flujo anular (veh/h).

θ = Proporción de vehículos agrupados.

T = Intervalo crítico (s).

T_o = Tiempo complementario (s).

Δ = Mínima brecha de circulación (s).

λ = Parámetro de decaimiento.

$$\lambda = \frac{(1 - \theta) * q_c}{1 - \Delta * q_c}$$

$$\Delta = \begin{cases} 2, & \text{Num. carriles} = 1 \\ 1, & \text{Num. carriles} = 2 \\ 0.8, & \text{Num. carriles} > 2 \end{cases}$$

Tabla 6. Proporción de vehículos agrupados.

N° carriles efectivos de circulación	Uno	Más de uno
Intervalo medio entre vehículos en pelotón	2	1
Flujo anular (veh/h)	0	0.25
	300	0.375
	600	0.5
	900	0.625
	1200	0.75
	1500	0.875
	1800	1
	2000	0.708
	2400	0.75
2600	0.792	

Fuente: Troutbeck (1989).

Los parámetros de aceptación de brecha, los cuales están afectados por la geometría del acceso, se estiman a partir de la cantidad de carriles de entrada; la tabla 7 muestra el tiempo complementario en la corriente dominante⁸ para un carril circulante; en caso existieran dos o más carriles circulantes, estos valores aumentarían en 0.39, como se muestra en la tabla 10.

La tabla 8 muestra valores del tiempo complementario de la corriente subdominante, como una función entre los flujos de entrada dominante y subdominante. Los valores de la brecha de aceptación para cada carril se calculan a partir de la relación de los valores de la tabla 7 y tabla 8 con la tabla 9.

La tabla 11 permite determinar la brecha promedio entre vehículos en el flujo circulante; a partir de estos valores se puede determinar la proporción de vehículos agrupados que se muestra en la tabla 6.

⁸ El carril dominante es aquel carril que presenta mayor flujo respecto al otro carril (carril subdominante); en caso existieran más de dos carriles, uno será dominante y los demás serán subdominantes (Troutbeck, 1989).

Tabla 7. Tiempo complementario en la corriente dominante (en segundos)

Diámetro inscrito (m)	Flujo anular (veh/h)					
	0	500	1000	1500	2000	2500
20	2.99	2.79	2.60	2.40	2.20	2.00
25	2.91	2.71	2.51	2.31	2.12	1.92
30	2.83	2.63	2.43	2.24	2.04	1.84
35	2.75	2.55	2.36	2.16	1.96	1.77
40	2.68	2.48	2.29	2.09	2.89	1.70
45	2.61	2.42	2.22	2.02	2.83	1.63
50	2.55	2.36	2.16	1.96	1.76	1.57
55	2.49	2.30	2.10	1.90	1.71	1.51
60	2.44	2.25	2.05	1.85	1.65	1.46
65	2.39	2.20	2.00	1.80	1.61	1.41
70	2.35	2.15	1.96	1.76	1.56	1.36
75	2.31	2.11	1.92	1.72	1.52	1.33
80	2.27	2.08	1.88	1.68	1.49	1.29

Fuente: Troutbeck (1989).

Tabla 8. Tiempo complementario en la corriente subordinada.

Intervalo complementario en flujo dominante (s)	Tiempo complementario en flujo subordinado (s)				
	Ratio de flujos (dominante/subordinado)				
	1	1.5	2	2.5	3
1.50	2.05	1.99	1.94	1.89	1.84
1.60	2.10	2.07	2.05	2.02	1.99
1.70	2.15	2.15	2.15	2.15	2.15
1.80	2.20	2.23	2.25	2.28	2.30
1.90	2.25	2.30	2.35	2.40	2.46
2.00	2.30	2.38	2.46	2.53	2.61
2.10	2.35	2.46	2.56	2.66	2.76
2.20	2.41	2.53	2.66	2.79	2.92
2.30	2.46	2.61	2.76	2.92	3.07
2.40	2.51	2.69	2.87	3.05	3.23
2.50	2.56	2.76	2.97	3.17	3.38
2.60	2.61	2.84	3.07	3.30	3.53
2.70	2.70	2.92	3.17	3.43	3.69
2.80	2.80	3.00	3.28	3.56	3.84
2.90	2.90	3.07	3.38	3.69	4.00
3.00	3.00	3.15	3.48	3.82	4.15

Fuente: Troutbeck (1989).

Tabla 9. Ratio entre el hueco crítico y el tiempo complementario.

	Uno			Más de uno			
	N° carriles						
Ancho carril de entrada (m)	3	4	5	3	4	5	
Flujo anular (veh/h)	0	2.32	1.98	1.64	2.04	1.70	1.36
	200	2.26	1.92	1.58	1.98	1.64	1.30
	400	2.19	1.85	1.52	1.92	1.58	1.24
	600	2.13	1.79	1.45	1.85	1.51	1.18
	800	2.07	1.73	1.39	1.79	1.45	1.11
	1000	2.01	1.67	1.33	1.73	1.39	1.10
	1200	1.94	1.60	1.26	1.67	1.33	1.10
	1400	1.88	1.54	1.20	1.60	1.26	1.10
	1600	1.82	1.48	1.14	1.54	1.20	1.10
	1800				1.48	1.14	1.10
	2000				1.41	1.10	1.10
	2200				1.35	1.10	1.10
	2400				1.29	1.10	1.10
	2600				1.23	1.10	1.10

Fuente: Troutbeck (1989).

Tabla 10. Tiempos de ajuste para el intervalo complementario de la corriente dominante.

N° carriles anulares	N° carriles de entrada		
	1	2	3
1	0	-0.39	-
2	0.39	0	-0.39
3	-	0.39	0

Fuente: Troutbeck (1989).

Tabla 11. Relación brecha entre vehículos del flujo anular y el número de carriles del anillo.

Flujo anular (veh/h)	Ancho del anillo			
	Menor a 10 m		Mayor o igual a 10 m	
	N° carriles	Brecha entre vehículos (Δ)	N° carriles	Brecha entre vehículos (Δ)
< 1000	1	2	2	1
> 1000	1 (ó 2)	2 (ó 1)	2	1

Fuente: Troutbeck (1989).

2.3.4. Fórmula del HCM (*Estados Unidos*).

La metodología propuesta por el HCM 2010 considera que las variables que más afectan a la capacidad de las rotondas son: el comportamiento de los conductores y la geometría de la rotonda. Este modelo, que está desarrollado en base al modelo de aceptación de brechas, propone la siguiente ecuación de tipo exponencial para el cálculo de la capacidad.

$$c = A * e^{-B * q_c}$$

Donde:

c = Capacidad de acceso (veh/h).

q_c = Flujo conflictivo (veh/h).

t_c = Intervalo crítico (s).

t_f = Intervalo de seguimiento (s).

$$A = \frac{3600}{t_f} \quad B = \frac{t_c - \frac{t_f}{2}}{3600}$$

Tabla 12. Intervalos críticos y de seguimiento.

Configuración	t_c	t_f	
Entrada de un carril	Un carril de circulación	5,19	3,19
	Dos carriles de circulación	4,11	3,19
Entrada de dos carriles con dos carriles de circulación	Carril izquierdo	4,29	3,19
	Carril derecho	4,11	3,19

Fuente: Calibración del modelo de capacidad de rotondas del HCM 2010 a condiciones locales: caso Córdoba, Argentina.

La tabla 13 muestra modelos para estimar la capacidad en rotondas en base a su geometría, y la figura 8 muestra las curvas de capacidad de estos modelos.

Tabla 13. Modelos de capacidad para diferentes configuraciones.

	Configuración	Modelos
Entrada de un carril	Un carril de circulación	$c = 1.130 * e^{(-1.0*10^{-3})*V_c}$
	Dos carriles de circulación	$c = 1.130 * e^{(-0.70*10^{-3})*V_c}$
Entrada de dos carriles con dos carriles de circulación	Carril izquierdo	$C_{e,L} = 1.130 * e^{(-0.75*10^{-3})*V_c}$
	Carril derecho	$C_{e,R} = 1.130 * e^{(-0.70*10^{-3})*V_c}$

Fuente: Calibración del modelo de capacidad de rotondas del HCM 2010 a Condiciones locales: caso Córdoba, Argentina.

$C_{e,R}$ = Capacidad del carril derecho de entrada (cp/h).

$C_{e,L}$ = Capacidad del carril izquierdo de entrada (cp/h).

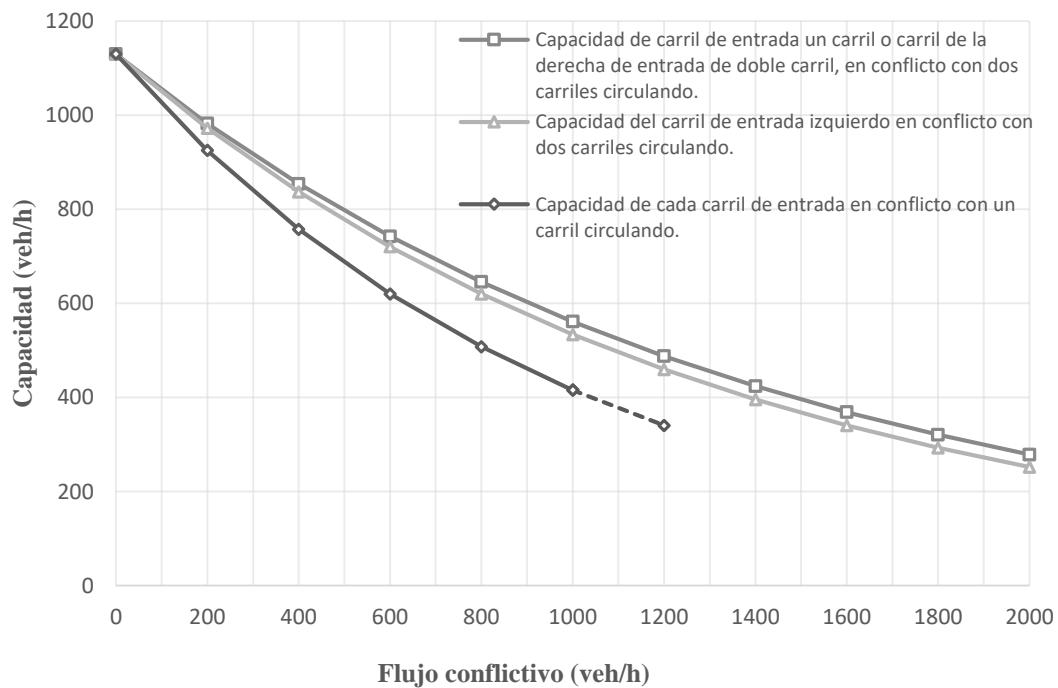


Figura 8. Curvas de capacidad del carril de entrada, HCM 2010.

Fuente: Elaboración propia.

2.4. Niveles de servicio

2.4.1. Relación volumen-capacidad.

La relación volumen-capacidad compara la demanda en la entrada de la rotonda con la capacidad de la misma, y brinda una evaluación directa de la eficacia de un diseño, donde tasas que se encuentran entre 0.85 a 0.90, representan umbrales aproximados para un funcionamiento satisfactorio (NCHRP Report 672, 2010).

$$X = \frac{V}{C}$$

Donde:

X = Relación volumen-capacidad.

V = Flujo entrante (veh/h).

C = Capacidad (veh/h).

2.4.2. Demoras.

La demora es uno de los principales parámetros que permiten determinar el nivel de servicio de una intersección. Cuando un vehículo intenta cruzar una rotonda, experimenta dos tipos de demoras: la demora por cola y la demora geométrica; la primera corresponde al tiempo que tarda un conductor esperando en la cola, mientras que la segunda es causada por la presencia de la intersección; ambas contribuyen a la pérdida de tiempo adicional durante un viaje.

En la figura 9 se puede observar, a través de la relación espacio-tiempo, las distintas etapas que experimentan los vehículos cuando intentan atravesar una intersección (rotonda). A medida que los vehículos, los cuales viajan a una determinada velocidad, se aproximan a una intersección, estos se ven obligados a reducir su velocidad, ésta fase de desaceleración (D_f)

corresponde al tramo AB; el tramo BC comprende la etapa en la que vehículo se incorpora a la cola (donde experimenta constantes paradas y avances), llega a la línea de ceda el paso, y espera una brecha apropiada que le permita incorporarse al flujo prioritario (W_s); y por último, el tramo CD, que corresponde a la fase donde el vehículo sale de la cola y empieza a acelerar (d_a). Cuando el vehículo accede a la rotonda y empieza a acelerar, éste debe a hacerlo a una velocidad que le permita “negociar” la intersección, hasta que finalmente salga de la misma.

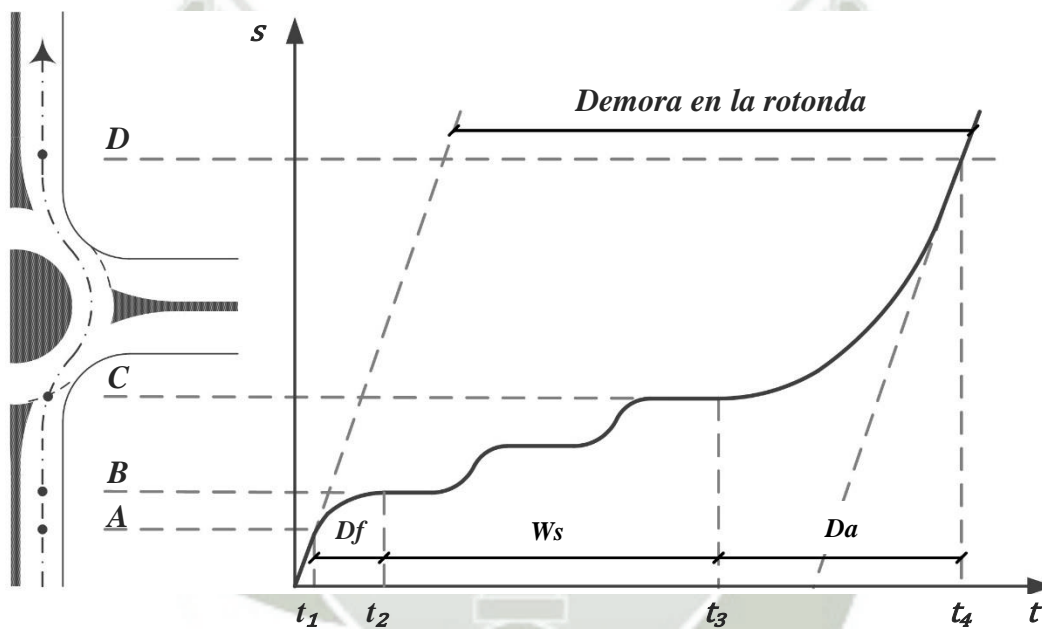


Figura 9. Diagrama espacio – tiempo.
Fuente: Elaboración propia.

Control de demora. El control de demora es el tiempo que le lleva a un conductor desacelerar hacia una cola, estar en la cola, esperar un claro aceptable en el flujo de circulación mientras está en la parte delantera de la cola y acelerar a la salida de la cola; éste es un parámetro que permite medir el funcionamiento de una intersección y viene dada por la siguiente expresión:

$$d = \frac{3600}{c} + 900 * T * \left[\frac{v}{c} - 1 + \sqrt{\left(\frac{v}{c} - 1\right)^2 + \frac{\left(\frac{3600}{c}\right) * \frac{v}{c}}{450 * T}} \right] + 5 * \min(x, 1)$$

Donde:

d = Control de demora promedio (s/veh).

v = Flujo entrante (veh/h).

c = Capacidad del carril (veh/h).

T = Periodo de tiempo (T=1 para 1-hr., T=0.25 para 15 min.).

En la figura 10 se puede ver cómo, a medida que el volumen se aproxima a la capacidad límite, la demora aumenta de manera exponencial; esto permite entender cómo, con pequeñas variaciones de volumen, las demoras aumentan considerablemente.

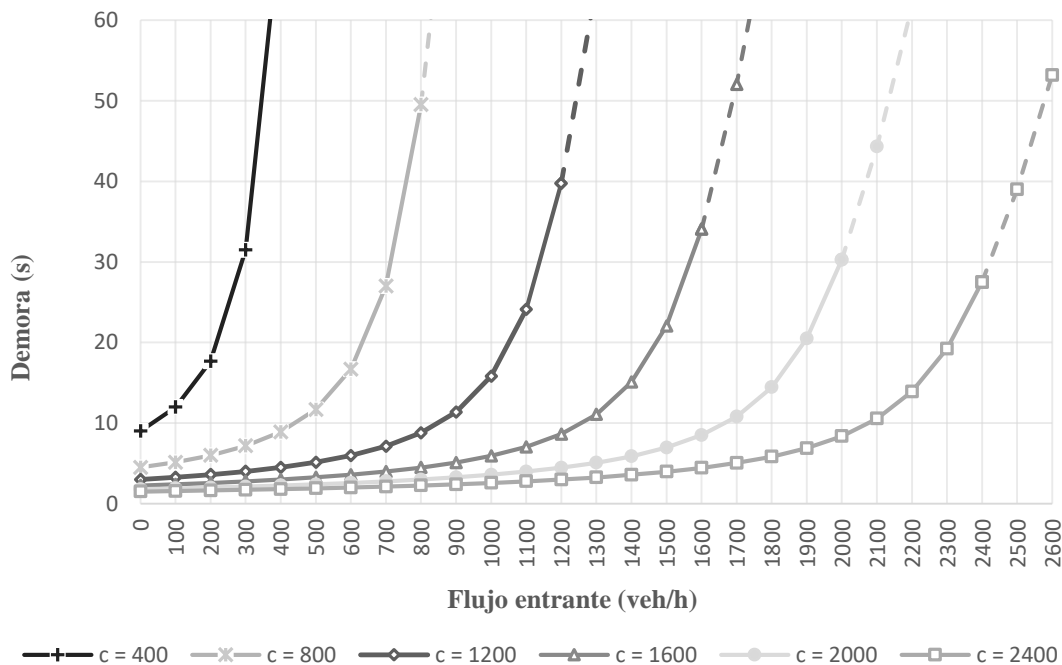


Figura 10. Relación del flujo anular y demoras
Fuente. Elaboración propia.

Demora geométrica. La demora geométrica es el tiempo adicional que requieren los vehículos para cruzar una intersección, esto sin que ningún tráfico moleste. Los principales factores que afectan a la demora geométrica son: la distancia adicional de viaje y la disminución de la velocidad, las cuales son causadas por la geometría de la intersección, tal como se puede ver en la figura 11. De acuerdo a lo anterior se tiene que, ese “tiempo adicional”, es la diferencia entre el tiempo que le lleva a un vehículo circular desde el punto donde comienza a desacelerar (A), hasta el punto donde termina de acelerar (B), y el tiempo que le llevaría circular por estos puntos (A y B), si se asume que dicha intersección no existe.

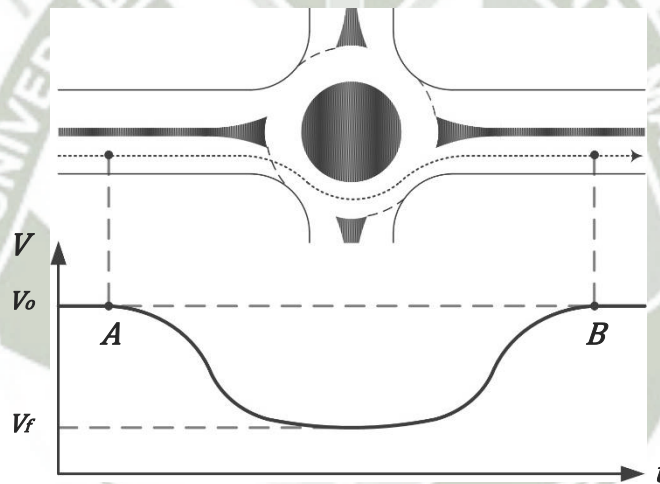


Figura 11. Patrón de velocidades en una rotonda.
Fuente. Elaboración propia.

Éste no es un parámetro que tome en cuenta el HCM para el cálculo de los niveles de servicio de una intersección, sin embargo, al estar la demora geométrica incluida para la estimación de tiempos de viaje, ésta se hace necesaria en procedimientos donde se hace uso de software de tipo determinista o de simulación de ser el caso.

2.4.3. Calidad y niveles de servicio.

De acuerdo al HCM, la calidad de servicio se entiende como cuan bien funciona una instalación de transporte o servicio desde la perspectiva de un viajero; los niveles de servicio, por otra parte, son una medida cualitativa que describe las condiciones de circulación del flujo vehicular, y que tienen en cuenta factores como el tiempo y la velocidad de recorrido.

El manual de capacidad establece seis niveles de servicio, los cuales se determinan a partir de la demora experimentada por el conductor. Estos niveles van desde niveles óptimos de servicio, donde el conductor experimenta muy poca demora, sin apenas detenerse (NDS “A”), hasta niveles donde la demanda excede la capacidad de la intersección, lo que a su vez origina sobresaturación en la misma (NDS “F”). Como se mencionó en el capítulo 2.2, al considerar a una rotonda como una serie de intersecciones en “T”, el cálculo de la capacidad se debe realizar para cada acceso; una vez halladas las capacidades, se procede al cálculo del control de demora, que luego se compara con los valores de la tabla 14, y finalmente se determina el nivel de servicio de la intersección.

Tabla 14. Niveles de servicio en rotondas.

Control de demora (s/veh)	Nivel de servicio por la relación Volumen-Capacidad	
	$v/c \leq 1.0$	$v/c > 1.0$
0-10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Fuente: HCM 2010

2.5. Modelos de Simulación del tránsito

El tránsito vehicular es un fenómeno que se da como consecuencia de múltiples factores (culturales, económicos, sociales, etc.), está compuesto por diferentes elementos que intervienen e interactúan entre ellos, y poseen características que pueden variar a lo largo de periodos de tiempo distintos; esto hace que el tránsito tenga un comportamiento complejo y aleatorio. Existen diversos modelos que permiten analizar el flujo vehicular, entre ellos están los modelos de simulación, los cuales se presentan como la herramienta más adecuada para el estudio del tránsito en sistemas con altos niveles de demanda, esto debido a que muchas veces, por problemas que se presentan en un sistema, se busca implementar medidas correctivas que permitan mejorar esas circunstancias, pero experimentar estas medidas en la realidad no siempre resulta viable, por factores de costo, tiempo, seguridad, etc. Debido a esto es que la utilización de simuladores resulta ventajosa, porque permiten experimentar y predecir el comportamiento de un sistema para distintas alternativas de solución, sin que se tenga que intervenir en el área de estudio. Para poder utilizar este tipo de herramientas, es necesario conocer y diferenciar los conceptos de sistema, modelo y simulación.

2.5.1. Sistema.

Se denomina sistema, al conjunto de objetos o ideas que están interrelacionados entre sí como una unidad para la consecución de un fin (Shannon, 1988). Todo sistema está formado por componentes que se denominan entidades, por ejemplo: vehículos, geometría del lugar, etc.; estas entidades poseen propiedades denominadas atributos, por ejemplo: velocidades de operación; las cuales se pueden relacionar entre sí a través de funciones, por ejemplo: la velocidad como función del espacio recorrido por unidad de tiempo.

2.5.2. Modelo.

Un modelo es una representación de un sistema real, elaborado para comprender, predecir y controlar el comportamiento de dicho sistema. Los modelos se clasifican según: el tiempo de evolución (estáticos o dinámicos), según las variables de estado (discretos o continuos) o según su aleatoriedad (determinísticos o estocásticos). A continuación, describiremos brevemente cada uno de ellos.

Estáticos. El estado de las variables no cambia mientras se realiza algún cálculo.

Dinámicos. El estado de las variables puede cambiar mientras se realiza algún cálculo.

Discretos. Los modelos discretos consideran una variación de los componentes por cada intervalo de tiempo (tiempos discretos).

Continuos. Los modelos continuos son aquellos en los que el estado de las variables cambia continuamente como una función del tiempo.

Determinísticos. Los modelos determinísticos no contienen elementos aleatorios, las variables de salida quedan determinadas al especificar las variables de entrada.

Estocásticos. Los elementos del sistema tienen una conducta aleatoria; se tiene que, para entradas conocidas, no es posible asegurar los valores de salida.

Se debe tener en cuenta que un modelo, al ser una simplificación de un sistema real, no necesariamente se diseña de acuerdo a la naturaleza del sistema; por ejemplo, habrá casos en los que un sistema continuo se modele como un modelo discreto o viceversa.

2.5.3. Simulación.

La simulación es el proceso de diseñar el modelo de un sistema real, y llevar a cabo experiencias con él, con la finalidad de aprender el comportamiento del sistema o de evaluar diversas estrategias para el funcionamiento del sistema (Shannon, 1988). Las simulaciones ofrecen muchas ventajas, y su uso es conveniente cuando se da uno de los siguientes casos:

- Cuando no existe una formulación matemática del problema.
- Cuando el sistema aún no existe.
- Cuando es necesario desarrollar experimentos, pero su ejecución en la realidad es difícil.
- Cuando se requiere cambiar el periodo de observación del experimento.
- Cuando no se puede interrumpir la operación del sistema actual.

En cuanto a las simulaciones del tránsito, éstas se pueden clasificar en tres tipos, de acuerdo al nivel de detalle al que se quiera llegar, como se puede ver en la figura 12.

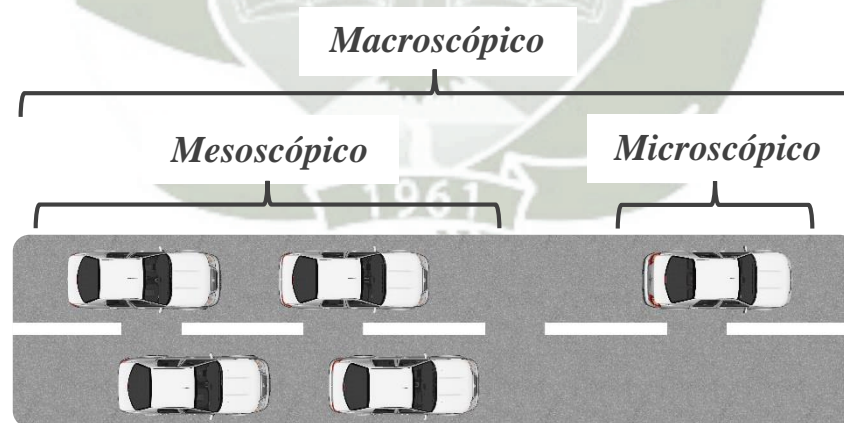


Figura 12. Niveles de simulación del tráfico.
Fuente: Adaptada de Cal y Mayor.

Simulación macroscópica. Este nivel permite realizar representaciones del flujo vehicular de manera continua, sus actividades e interacciones se desarrollan a gran escala y con un nivel de detalle bajo. Este modelo utiliza valores promedio de densidad, velocidad espacial y flujo; de esta manera, analiza el tráfico describiendo el comportamiento de todo el sistema, sin tomar en cuenta las partes que lo componen. Esto permite que el tiempo de análisis sea menor, comparado con los otros dos modelos, y es usado para el estudio de áreas extensas.

Simulación mesoscópica. Este nivel presenta características de los modelos macroscópicos y microscópicos de manera simultánea, considerando al flujo vehicular como grupos de vehículos, a los cuales se les denomina como pelotones. Estos modelos asumen que estos grupos de vehículos se mueven en un arco a la misma velocidad durante cada periodo de tiempo, y que esta depende de la densidad en el arco (Jayakrishnan et al., 1994). Las actividades e interacciones se describen a un nivel de detalle relativamente bajo.

Simulación microscópica. Este nivel describe el comportamiento del flujo vehicular con gran detalle, considerando el comportamiento individual de cada componente y las interacciones entre los mismos. La simulación microscópica, que se basa en modelos de seguimiento vehicular, cambio de carril y maniobras de adelantamiento, permite determinar mediciones de efectividad (MOE'S), como: promedios de velocidad, longitud de colas, entre otros. El uso de este tipo de herramientas no es recomendable para redes muy grandes, debido a la gran cantidad de datos que se requiere.

2.6. PTV Vissim.

PTV Vissim es un software que nos permite realizar simulaciones microscópicas y multimodales del tránsito, ya que representa el comportamiento de vehículos (privados y públicos), y el de peatones, además de la interacción entre los mismos; lo que permite que sea una herramienta útil para la evaluación de alternativas y diseño del tránsito y transporte. Desarrollado por la empresa alemana Planung Transport Verkehr AG, este software basa su funcionamiento, principalmente, en el modelo de seguimiento vehicular desarrollado por Wiedemann y el modelo de cambio de carril.

El desarrollo de micro simulaciones en Vissim, se realiza a través del suministro de parámetros al modelo, los cuales son obtenidos a través de fichas técnicas, que por ejemplo pueden ser brindadas por fabricantes de vehículos, o información recopilada en campo; esto permite que Vissim pueda emular, de manera muy real, el comportamiento de un sistema.

2.6.1. Parámetros de entrada del modelo.

Vissim incorpora varios parámetros de entrada para la simulación del tráfico; a continuación, realizaremos una breve descripción de cada uno de ellos.

Funciones de aceleración y desaceleración. Vissim asigna a cada tipo de vehículo dos funciones que son representadas mediante gráficas, las cuales poseen tres curvas con valores máximos, medios y mínimos. Estas funciones son:

- Aceleración máxima.
- Aceleración deseada.
- Desaceleración máxima.
- Desaceleración deseada.

Distribuciones. La naturaleza estocástica de Vissim permite que la entrada de parámetros se defina como distribuciones en lugar de valores fijos. Esto permite que la simulación se asemeje a sistemas reales; estas distribuciones son:

- Distribución de velocidad deseada.
- Distribución de peso.
- Distribución de potencia.
- Distribución de color.
- Distribución de modelos.
- Distribución de tiempos de espera.
- Distribución de ubicación.
- Distribución de temperatura.

Tipos y clases de vehículos. Vissim utiliza conceptos jerárquicos para suministrar información a los vehículos que participan en la microsimulación, estos niveles se definen como:

- Tipo de vehículo. Son vehículos con características técnicas y de comportamiento de conducción similar; Vissim establece por defecto los siguientes tipos: autos, camiones, bus, bus articulado, trenes, bicicletas y peatones.
- Clase de vehículo. Son características que contienen varios tipos de vehículos; Vissim contiene por defecto las siguientes clases de vehículos: livianos, pesados, buses, trenes, peatones y bicicletas. Cabe mencionar que estos también pueden ser creados.

Comportamiento de conducción. El comportamiento de los conductores es uno de los parámetros más importantes en la construcción de un modelo de microsimulación, ya que este puede presentar variaciones sustanciales, dependiendo de la región donde se lleve a cabo el análisis. Vissim modela este comportamiento a través de fases, cada una asociada a diferentes parámetros, los cuales dotan de propiedades específicas a los vehículos; estas fases son:

- Seguimiento de vehículo.
- Cambio de carril.
- Comportamiento lateral.
- Control semafórico.
- Cambio de flujo de saturación.

Tramos. Los tramos son secciones de carretera con longitudes definidas por el usuario. Vissim asigna, por cada tramo, un determinado tipo de comportamiento de conducción a cada clase de vehículo definido previamente.

2.6.2. Sub modelos.

Modelo de seguimiento vehicular (Car flowing). El modelo de seguimiento vehicular, desarrollado por Wiedemann (1974), está basado en parámetros psicofísicos que considera la percepción y reacción de los conductores frente a un vehículo precedente; este modelo describe el comportamiento del tráfico dentro de un mismo carril, y se basa en cuatro estados, como se puede ver en la figura 13, los cuales son:

- **Conducción libre:** fase en la que el vehículo no es influenciado por la presencia de vehículos precedentes, el vehículo transita a una velocidad deseada.
- **Aproximación:** fase en la que el vehículo desacelera, debido a la presencia de un vehículo precedente que transita a una velocidad menor, hasta una velocidad que le permita mantener una distancia que el conductor considere segura respecto al vehículo precedente.
- **Seguimiento:** fase en la que el vehículo sigue al vehículo precedente a una distancia segura, manteniendo una velocidad similar a la del vehículo precedente.
- **Frenado:** fase en la que el vehículo desacelera, debido a que la distancia entre él y el vehículo precedente es menor a la distancia que el segundo vehículo considera segura.

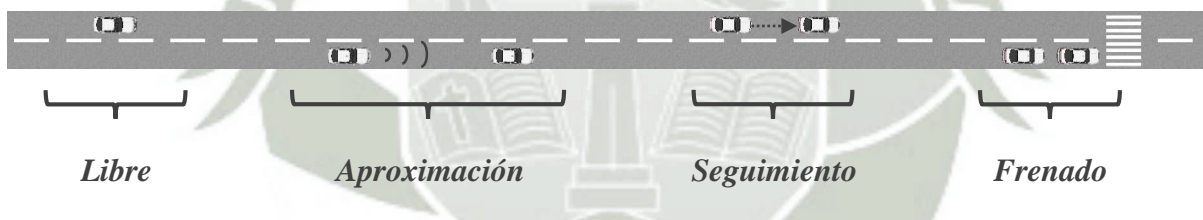


Figura 13. Fases del modelo de Wiedemann 74.

Fuente: Elaboración propia.

Modelo de cambio de carril. Este modelo funciona a través de dos alternativas que tiene el conductor que circula por una vía, como se puede ver en la figura 14, estos son:

- **Cambio de carril necesario:** es cuando un vehículo debe cambiar de carril para poder seguir una ruta asignada.

- Cambio de carril libre: es cuando un vehículo rebasa a un vehículo más lento; para realizar el movimiento deseado, el conductor debe evaluar el riesgo que implica la maniobra; es decir, comprobar la presencia de vehículos circulando por el carril de adelantamiento.

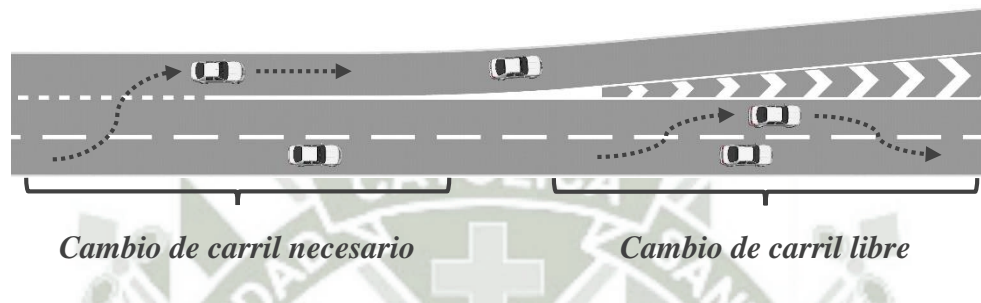


Figura 14. Modelo de cambio de carril.

Fuente: Elaboración propia.



Capítulo 3

Estudios y microsimulación del tránsito

El presente proyecto tiene como objetivo evaluar las condiciones del tráfico en el Óvalo Quiñones, y de esta manera encontrar soluciones que permitan mejorar el flujo vehicular; y para lograr dicho fin, la investigación se debe realizar a través de distintas etapas, las cuales tomaran como referencia a la metodología propuesta por la FHWA, en la guía *Traffic Analysis Toolbox Volume III*, para el desarrollo de proyectos de simulación microscópica; estas etapas se pueden ver en la figura 15.

La primera etapa comprende los trabajos previos al modelado, en el cual se establecen los objetivos del proyecto, área de estudio y se selecciona el tipo de modelo (microsimulación); luego se realiza la recopilación y procesamiento de los datos necesarios para realizar el modelamiento, y posteriormente, se realizará el cálculo de la capacidad y niveles de servicio de la rotonda empleando la metodología propuesta por el HCM 2010.

La segunda etapa comprende al modelado inicial, en la que se inicia la construcción del modelo de microsimulación, para lo cual se empleará el software PTV Vissim; luego se hará una revisión de los datos de animación.

La tercera etapa comprende la calibración (proceso iterativo) y validación del modelo, a través de la comparación de parámetros de eficiencia del modelo de simulación respecto a los datos recopilados en campo.

Y, por último, la cuarta etapa, en la cual, luego del análisis del modelo de microsimulación, se evalúa alternativas que permitan mejorar las condiciones de circulación; finalmente, se formula una propuesta de mejora y se presenta las conclusiones y recomendaciones de la investigación.

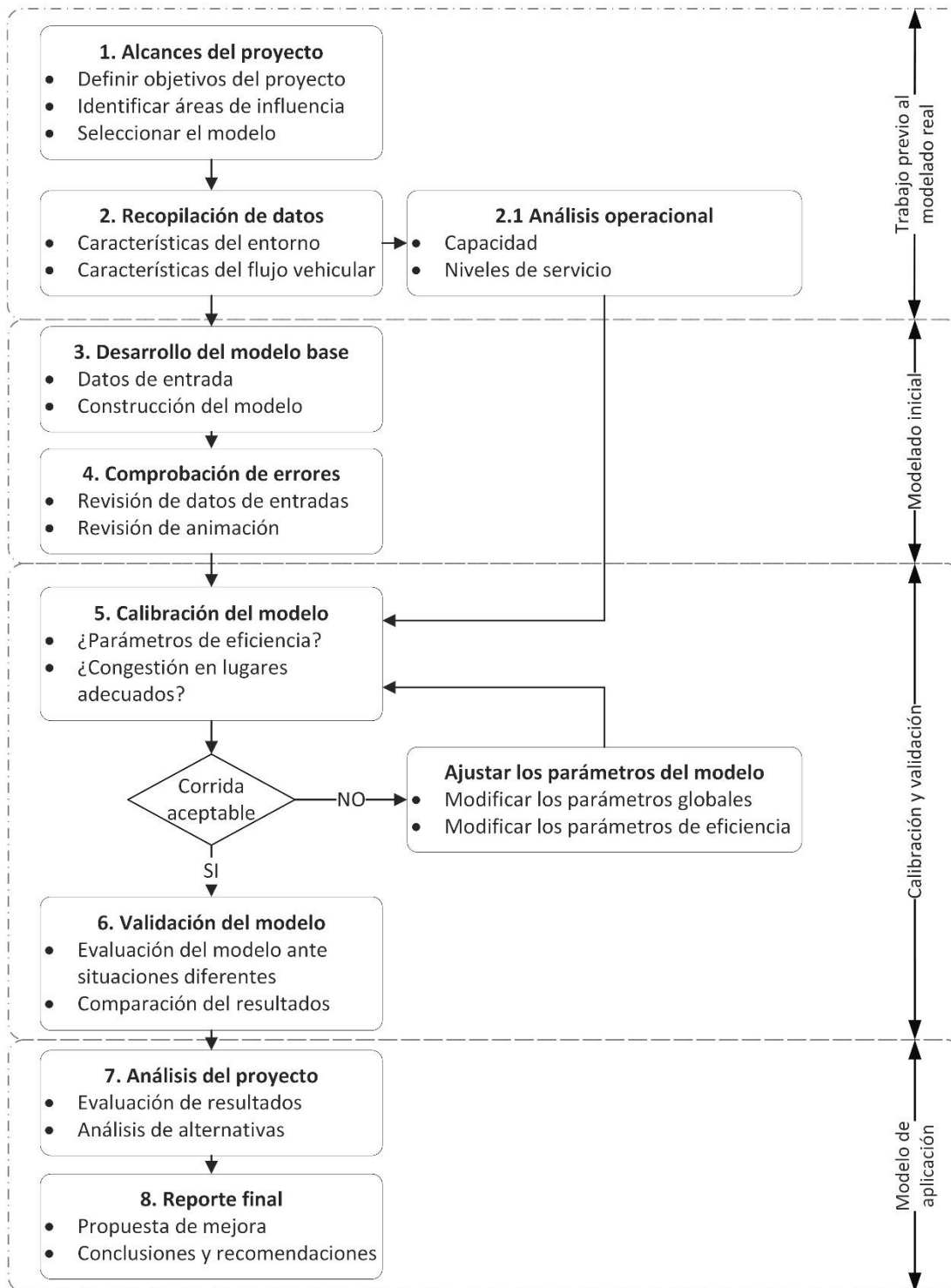


Figura 15. Esquema metodológico del trabajo de investigación

Fuente: Adaptado del FHWA

3.1. Características generales de la intersección

3.1.1. Ubicación.

País : Perú
Departamento : Arequipa
Provincia : Arequipa
Distrito : Arequipa
Coordenadas : 8185788 (Norte)
228088 (Este)

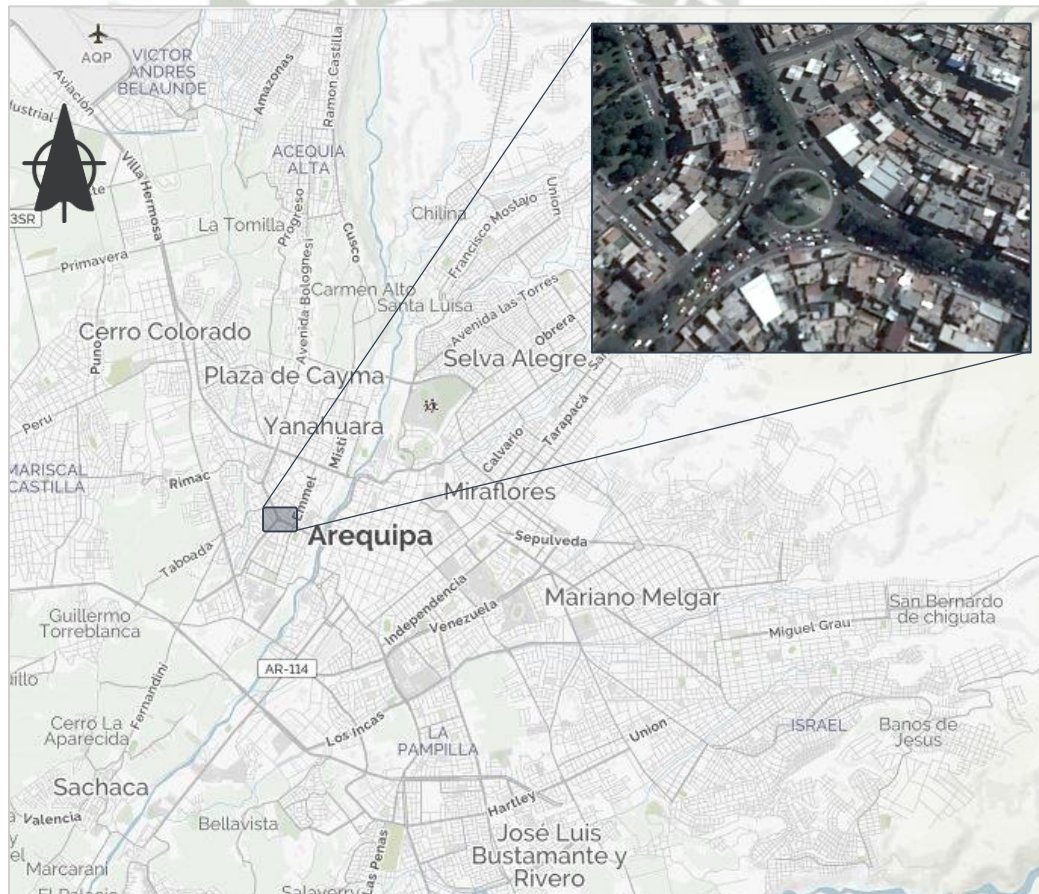


Figura 16. Ubicación del Óvalo Quiñones

Fuente: Elaboración propia, a través de MapQuest y Google Earth

3.1.2. Área de estudio.

La delimitación del área de estudio se detalla en la tabla 15.



Figura 17. Área de influencia

Fuente: Elaboración propia, a través de MapQuest

Tabla 15. Área de influencia de la intersección

A.I. Directa	Orientación	Calles limítrofes
Trinidad Morán	Noroeste	Chullo - Zamácola
Víctor Andrés Belaunde	Suroeste	La Fraternidad - Jacinto Delgado
José Abelardo Quiñones	Sureste	Emel – Ricardo Palma

Fuente: Elaboración propia.

Nota: A.I., Área de influencia.

3.1.3. Zonificación⁹.

El PDM Arequipa 2016 – 2025, clasifica a las zonas que conforman las avenidas que convergen en el Óvalo Quiñones como CS (Comercio Sectorial), y las zonas que conforman el área de influencia se clasifican como RDA-1 (Residencial Densidad Alta Tipo 1), como se puede ver en la figura 18.

- CS : Es el tipo de comercio que se dan en la periferia de las zonas comerciales zonales, pero a una escala menor en cuanto a volumen de ventas y radio de servicio.
- RDA-1: Es el uso identificado con las viviendas o residencias tratadas en conjunto que permitan la obtención de una alta concentración poblacional.

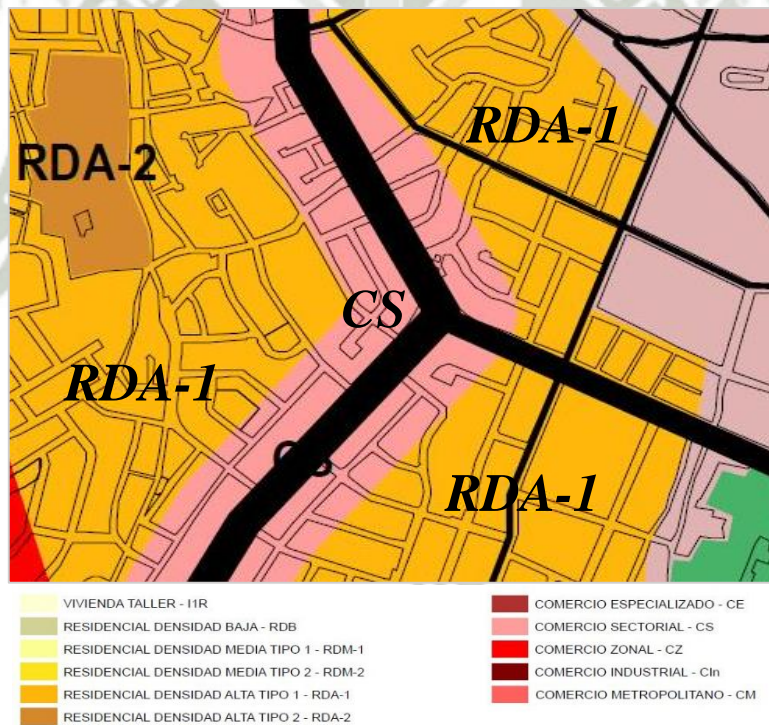


Figura 18. Zonificación del área de estudio
Fuente: Planos PDM 2016 - 2025, 02 zonificación OM 961

⁹ Plan de desarrollo metropolitano 2016 – 2025, título III Zonificación, capítulo 1: zonificación y compatibilidades.

3.1.4. Clasificación vial.

Las vías que convergen en el Óvalo Quiñones están clasificadas como *Segundo Anillo Vial* y *vías colectoras*¹⁰, como se muestran en la figura 19. El PDM Arequipa 2016 – 2025, define a esas vías de la siguiente manera:

- Vías colectoras: Son las vías que sirven para llevar el tránsito de las vías locales a las arteriales. Dan servicio tanto al tránsito de paso como hacia las propiedades adyacentes.
- Segundo anillo vial: Constituye el segundo elemento regulador de los flujos vehiculares.

La importancia de esta intersección radica en el hecho de que es un punto de conexión que permite el flujo de vehículos que tienen como origen y/o destino los distritos de Cayma, Cerro colorado, Sachaca, Arequipa y José Luis Bustamante y Rivero, principalmente.



Figura 19. Clasificación vial de las avenidas que convergen en el Óvalo Quiñones
Fuente: PDM Arequipa 2016 - 2025

¹⁰ De acuerdo a la clasificación normativa de vías realizada por el PDM Arequipa 2016 – 2025, capítulo IV, pág. 108.

3.1.5. Geometría.

Como se mencionó anteriormente, las avenidas que confluyen en el Óvalo Quiñones se clasifican como *Segundo Anillo Vial*, en la tabla 16 se describe los principales parámetros geométricos de estas avenidas. Del mismo modo, en la tabla 17 se describe los parámetros geométricos del Óvalo Quiñones, que servirán para desarrollar el análisis operacional y construcción del modelo de simulación.

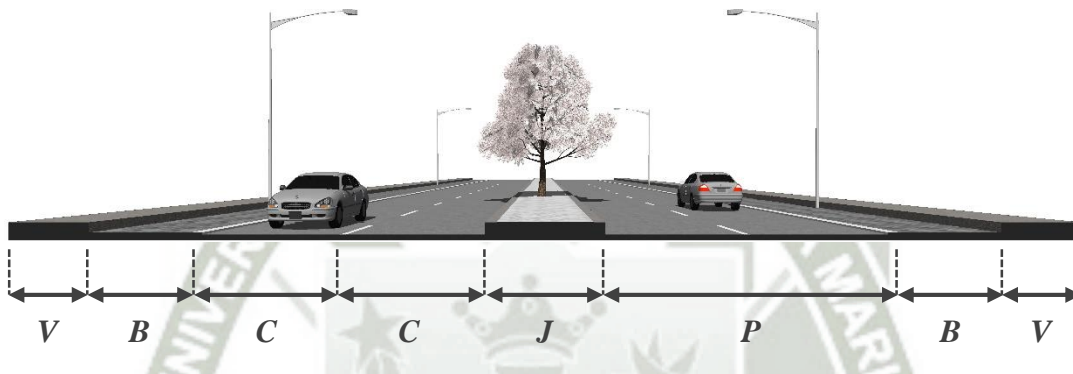


Figura 20. Sección transversal típica de vía.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 16. Parámetros geométricos de los ramales.

Parámetros	Trinidad Morán		V. Andrés Belaunde		J. Abelardo Quiñones	
	FER	FSR	FER	FSR	FER	FSR
Nº carriles	2	2	2	2	2	2
Ancho carril (C)	3.15	4.30	3.50	3.00	3.05	3.05
Ancho total de la calzada (P)	6.30	8.60	7.00	6.00	6.10	6.10
Ancho de jardines (J)	5.00	5.00	4.40	4.40	5.10	5.10
Ancho de berma (B)	2.50	-	2.20	2.50	2.65	2.20
Ancho de veredas (V)	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55	1.55

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Medidas expresadas en metros; FER: Flujo que entra a la rotonda; FSR: Flujo que sale de la rotonda.

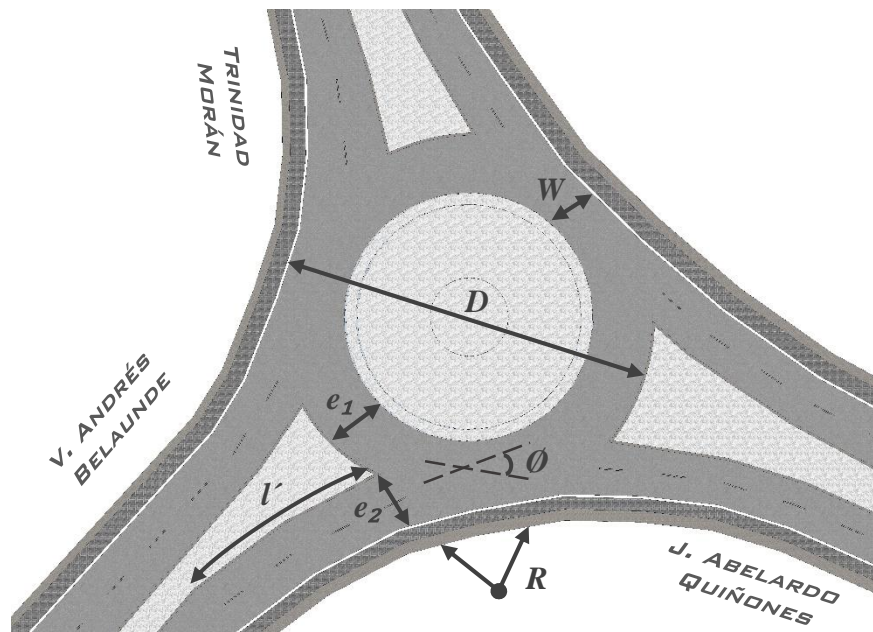


Figura 21. Geometría del Óvalo Quiñones.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 17. Parámetros geométricos de la rotonda.

Parámetros	TM	VAB	JAQ
N° carriles anulares	2	2	2
Ancho de carril anular	3.25	3.25	3.25
Ancho total del carril anular (W)	6.50	6.50	6.50
Diámetro inscrito (D)	46.0	46.0	46.0
Diámetro isleta	31.70	31.70	31.70
Ángulo de entrada (\emptyset)	11°	20°	5°
Ancho de entrada (e_1)	6.50	6.60	6.40
Ancho de entrada (e_2)	10.70	7.85	6.10
Radio de entrada (R)	72.40	75.90	144.10
Longitud de abocinamiento (l)	26.10	27.60	38.50

Fuente: Elaboración propia.

Nota. TM, Trinidad Morán; VAB, Víctor Andrés Belaunde; JAQ, José Abelardo Quiñones. Las medidas están expresadas en metros.

3.1.6. Señalización.

La señalización vial es importante porque permite organizar y brindar seguridad en las vías. La tabla 18 muestra la señalización horizontal existente dentro del área de influencia directa. Así mismo, se pudo constatar que sólo existe señalización vertical de tipo informativa en dos puntos del área de estudio.

Tabla 18. Señalización horizontal.

Tipo	Sub tipo	TM	VAB	JAQ	ÓQ
Planas	Línea de borde de calzada	✓	✓	✓	✓
	Línea de carril	✓	✓	✓	X
	Línea central	X	X	X	X
	Líneas canalizadoras de tránsito	✓	✓	✓	✓
	Líneas demarcadoras de entradas y salidas	X	X	X	X
	Líneas de transición por reducción de carriles	X	X	X	X
	Líneas de pare	X	X	X	X
	Líneas de cruce peatonal	✓	✓	✓	X
	Demarcación de espacios de estacionamiento	X	X	X	X
	Demarcación de no bloquear cruce en intersecciones	X	X	X	X
	Demarcación para intersecciones tipo rotonda	X	X	X	X
	Otras demarcaciones	X	X	X	X
	Palabras, símbolos y leyendas	X	X	X	X
Elevadas	Delineadores de piso	X	X	X	X
	Delineadores elevados	X	X	X	X

Fuente: Elaboración propia.

Nota. TM, Trinidad Morán; VAB, Víctor Andrés Belaunde; JAQ, José Abelardo Quiñones; OQ, Óvalo Quiñones

3.1.7. Semáforos.

Las figuras 22 y 23 muestran los semáforos que se encuentran dentro del área de estudio. Los ciclos semafóricos de las tablas 19 y 20 fueron registrados en la hora de máxima demanda.

Semáforo 01.



Figura 22. Semáforo en la intersección Trinidad Morán – Chullo.
Fuente: Google Street View.

Tabla 19. Ciclo semafórico Trinidad Morán – Chullo.

Trinidad Morán	21	03	24
Chullo	24		21
			03

Fuente: Elaboración propia.

Semáforo 02.



Figura 23. Semáforo en la intersección J. Abelardo Quiñones – Emel.
Fuente: Google Street View.

Tabla 20. Ciclo semafórico José Abelardo Quiñones – Emel

J. Abelardo Quiñones	28	03	31
Emel	31		28
			03

Fuente: Elaboración propia.

3.1.8. Circulación.

En la figura 24 se puede observar los sentidos de circulación de las avenidas que convergen en el Óvalo Quiñones, así como de las calles que conforman el área de influencia, donde:

→ : Circulación en un solo sentido.

↔ : Circulación en ambos sentidos.



Figura 24. Sentidos de circulación.

Fuente: Elaboración propia, a través de MapQuest.

También se identificó, mediante inspecciones en campo, a las empresas de transporte público que circulan por el Óvalo Quiñones, tal como se puede ver tabla 21, así como las rutas que utilizan (ver figura 25). También se determinó que el tipo de vehículo que utilizan estas empresas son los denominados “coaster”, que tienen una capacidad de entre 20 y 30 pasajeros.

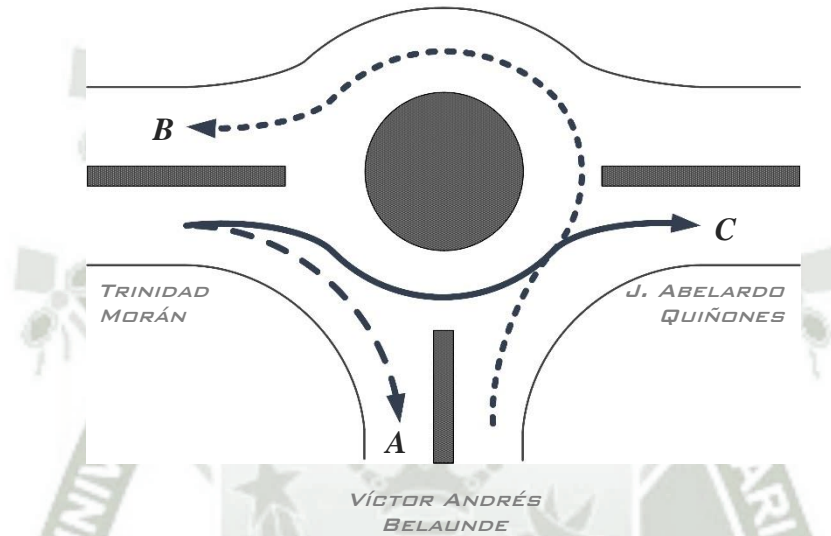


Figura 25. Rutas del transporte público.
Fuente. Elaboración propia.

Tabla 21. Empresas de transporte público.

Empresa	Ruta	Frecuencia	Vehículo
Monterrey “C”	A / B	5 min.	Coaster
N & C Tiabaya SAC	A / B	15 min.	Coaster
Señor de la Amargura “P”	A	5 min.	Coaster
Virgencita de Chapi “Gráficos”	A	15 min.	Coaster
Buss Arequipa SAC	A	10 min.	Coaster
Monterrey Vallecito S.A. “B”	B	10 min.	Coaster
Línea 5	C	5min.	Coaster

Fuente: Elaboración propia.

3.2. Características del flujo vehicular

3.2.1. Recolección de datos.

La recolección de datos se realizó los días viernes 01, sábado 02 y lunes 04 de setiembre; los tres días fueron elegidos tomando en cuenta sugerencias de autores¹¹, y a través de una inspección previa realizada en el área de estudio respecto a los días de mayor demanda. Para cada registro se tuvo en cuenta los periodos donde se presentaban mayor flujo vehicular; estos fueron: por la mañana (07:00 am a 09:00 am), por la tarde (12:00 pm a 02:00 pm) y por la noche (05:00 pm a 07:00 pm); contabilizando un total de 18 horas de registro visual. Se emplearon tres cámaras de video con un campo visual amplio, que permitieron abarcar toda la rotonda, como se puede ver en la figura 26; de esta manera se pudo registrar y procesar los datos requeridos.

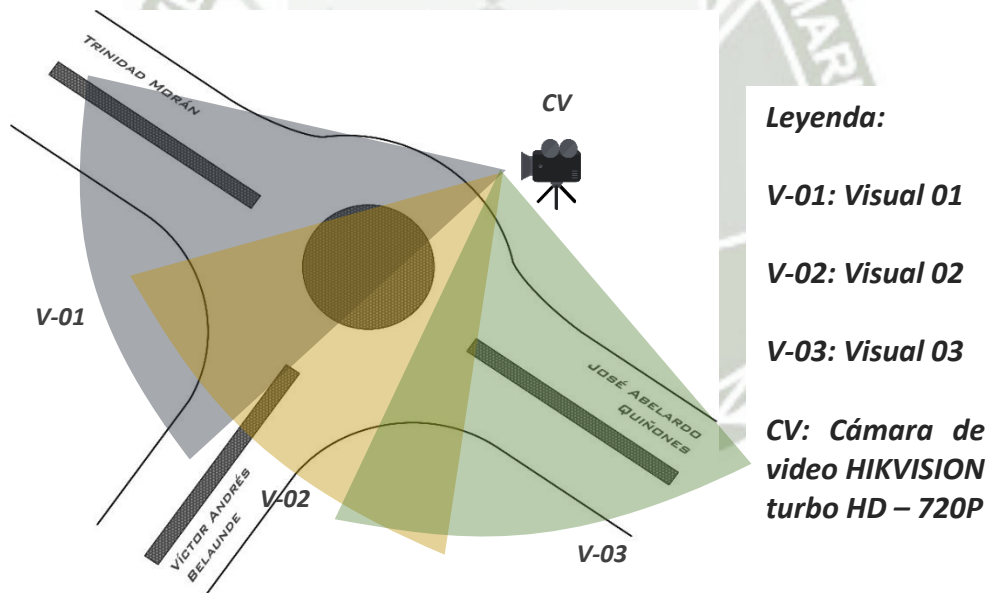


Figura 26. Distribución de campos visuales.
Fuente: Elaboración propia.

¹¹ Guía Metodológica Para La Identificación, Formulación Y Evaluación Social De Proyectos De Vialidad Urbana, A Nivel Perfil, pág. 69.

3.2.2. Volúmenes de tránsito.

A través de los aforos (ver anexo 1), se registró la cantidad de vehículos que circulan por la rotonda, así como la composición vehicular. Es importante mencionar que, para el análisis operacional y construcción del modelo de simulación, se debe tener en cuenta las características del flujo vehicular. La tabla 21 muestra las equivalencias entre distintos tipos de vehículos que permitieron determinar el volumen total equivalente.

Tabla 22. Equivalencias de vehículos.

Tipo de vehículo	Equivalencias de los vehículos
Moto	0.33
Auto / Camioneta	1.0 / 1.25
Van / Coaster / Minibús	2.0
Bus	3.0
Camión	2.5
Semitrailer / Trailer	3.5 / 5.0

Fuente: Highway Capacity Manual 2000

Luego, se procedió a determinar el día con mayor afluencia de vehículos y posteriormente la hora de mayor demanda; finalmente se calculó el factor horario de máxima demanda (FHMD), usando la siguiente ecuación:

$$FHMD = \frac{VHMD}{N \times q_{max}}$$

Donde:

















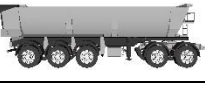
$VHMD$ = Volumen horario de máxima demanda.

q_{max} = Flujo máximo.

N = Número de periodos durante la hora de máxima demanda (15 min, $N = 4$).

Para la elaboración de los aforos, se tomó en consideración, mediante una inspección previa, los tipos vehículos que circulan por la rotonda; estos se agruparon y clasificaron de acuerdo a características geométricas y de función, tal como se muestra en la tabla 22.

Tabla 23. Clasificación vehicular.

Tipos		Modelos		
Moto	Motocicleta			
L = 2.00 m. A = 0.85 m.				
Auto / Taxi	Sedán	Station Wagon		
L = 4.50 m. A = 2.00 m.				
Camioneta	Pick Up	SUV	Combi	
L = 5.00 m. A = 2.00 m.				
Coaster	Van	Coaster	Minibús	
L = 6.80 m. A = 2.20 m.				
Bus	Bus			
L = 9.80 m. A = 2.50 m.				
Camión	Camión semipesado	Camión pesado	Volquete	
L = 6.30 m. A = 2.10 m.				
Semitrailer	Semiremolque + Tracto	Semirremolque		
L = 11.50 m. A = 2.50 m.				
Trailer	Remolque + Semiremolque + Tracto	Remolque		
L = 16.50 m. A = 2.50 m.				

Fuente: Elaboración propia.

Nota. Las variables: longitud "L" y ancho "A", son dimensiones promedio de los tipos de vehículos.

Tráfico diario. Como se indicó anteriormente, el registro de los aforos se realizó durante los días viernes, sábado y lunes; cada uno en los turnos mañana, tarde y noche. A partir de estos registros se determinó los volúmenes de tránsito total para cada día, como se muestra en la tabla 24. La figura 27 muestra que el día donde se presentó mayor afluencia de vehículos fue el día viernes, con un total de 23,562 unidades; también se verifica que el turno con mayor afluencia vehicular corresponde al turno de la tarde.

Tabla 24. Aforo vehicular por cada día.

Turno	Viernes	Sábado	Lunes	Total
Mañana	8,441	7,593	8,298	24,333
Tarde	8,501	8,104	8,118	24,723
Noche	6,624	7,168	6,816	20,608
Total	23,562	22,866	23,232	69,663

Fuente: Elaboración propia.

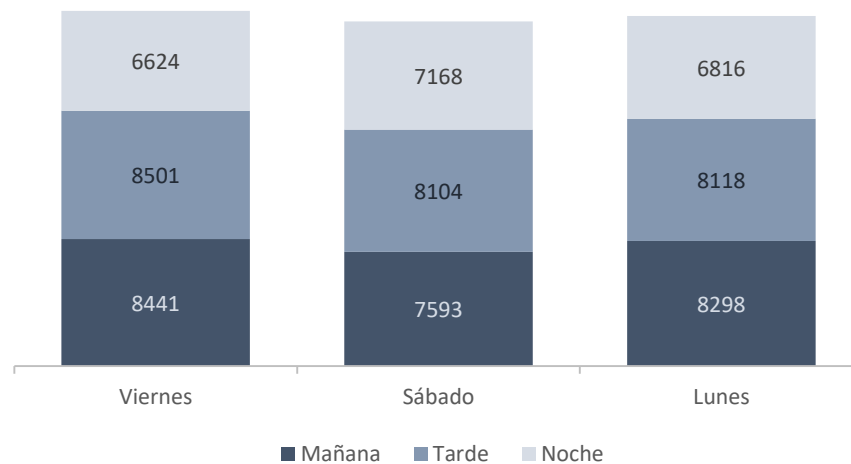


Figura 27. Volúmenes de tránsito diario.
Fuente: Elaboración propia.

Tráfico horario. Una vez seleccionado el día con mayor presencia de vehículos, el cual se determinó fue el día viernes, se procede a analizar la variación horaria; esto permite entender cómo cambia el volumen vehicular a lo largo de un día. Los volúmenes se presentan en periodos de 15 minutos para cada turno; posteriormente se selecciona la hora con mayor demanda del día. La figura 28 muestra que la variación horaria del tráfico no presenta cambios radicales, siendo estos casi constantes, exceptuando al turno de la noche; así, la hora de máxima demanda (HMD) corresponde al periodo comprendido entre las 12:45 pm y la 01:45 pm, contabilizando un total de 4419 unidades para ese periodo, este volumen corresponde al volumen horario de máxima demanda (VHMD). La mayor afluencia, para un periodo de 15 minutos, se encuentra entre las 08:30 am y 08:45 am, con un total de 1250 vehículos. Es importante mencionar que los volúmenes que se muestran en la figura 28, se expresan en vehículos equivalentes.

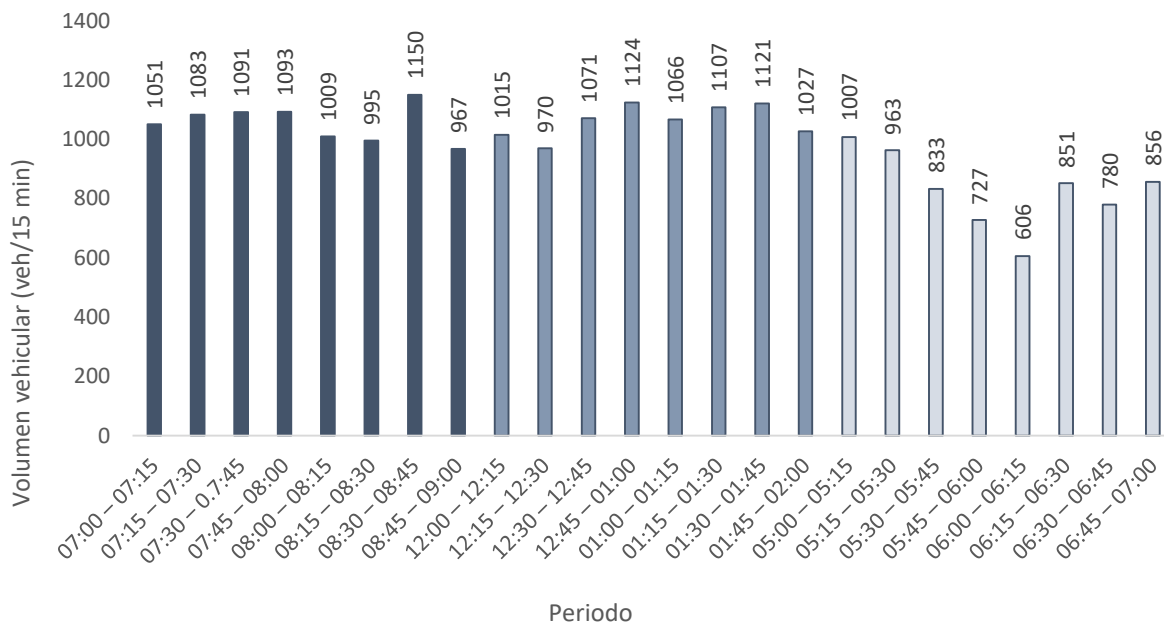


Figura 28. Volúmenes de tránsito horario.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 25 muestra cantidad total de unidades (en vehículos equivalentes), y el FHMD para cada acceso, en la hora de máxima demanda. Este factor permite entender como varia el flujo dentro de la HMD.

Tabla 25. Factor horario de máxima demanda.

HMD	Trinidad Morán				V. Andrés Belaunde				Abelardo Quiñones			
	VAB	JAQ	TM	Total	JAQ	TM	VAB	Total	TM	VAB	JAQ	Total
12:45–01:00	144	273	4	420	139	152	5	297	269	134	4	408
01:00–01:15	125	237	4	366	140	154	10	303	245	147	6	398
01:15–01:30	141	250	7	398	134	187	8	329	216	157	8	381
01:30–01:45	157	223	3	383	147	169	9	325	260	146	7	413
VHMD	1566				1254				1599			
Qmax	420				329				413			
FHMD	0.93				0.95				0.97			

Fuente: Elaboración propia.

Nota: VAB: Víctor Andrés Belaunde, TM: Trinidad Morán, JAQ: José Abelardo Quiñones.

Los valores del FHMD: 0.93 para el acceso Trinidad Moran, 0.95 para el acceso Víctor Andrés Belaunde, y 0.97 para el acceso José Abelardo Quiñones; indican que los flujos de los accesos son relativamente uniformes dentro de la hora de máxima demanda, tal como se puede ver en las figuras 29, 30 y 31.

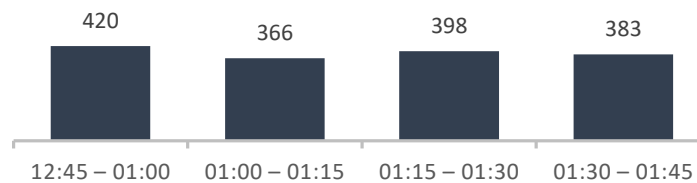


Figura 29. Variación horaria - Trinidad Moran.

Fuente: Elaboración propia.

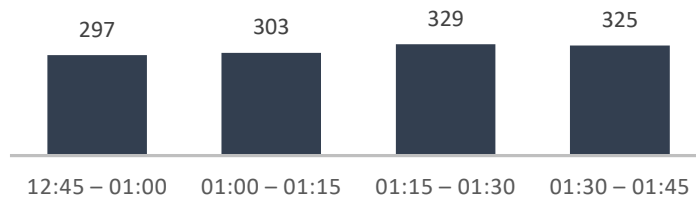


Figura 30. Variación horaria – V. Andrés Belaunde.
Fuente: Elaboración propia.

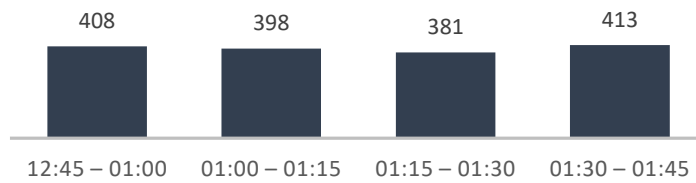


Figura 31. Variación horaria – J. Abelardo Quiñones.
Fuente: Elaboración propia.

La figura 32, muestra la cantidad y rutas de todos los vehículos (mixtos) que ingresan por cada acceso dentro de la hora de máxima demanda; estos servirán como parámetros de entrada para el análisis operacional.

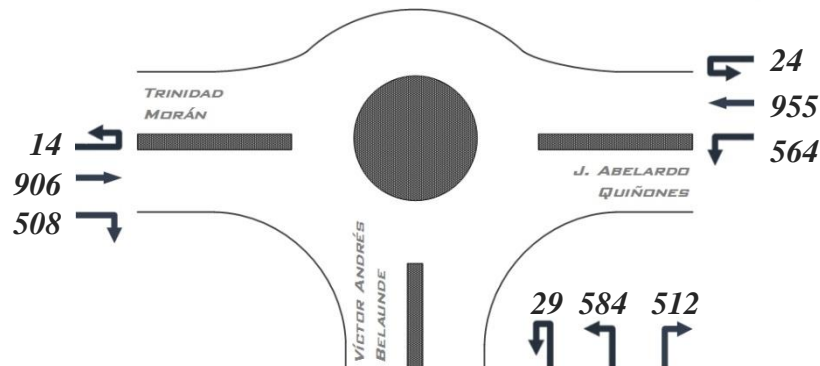


Figura 32. Flujograma periodo 12:45 pm – 01:45 pm.
Fuente: Elaboración propia.

Composición vehicular. La tabla 26 muestra los porcentajes de vehículos que circulan por la intersección en la HMD, para un total de 4,096 vehículos mixtos. En la figura 36 se observa que la distribución, de acuerdo al tipo de vehículos; prevaleciendo la presencia de los taxis (43.1%), autos (25.9%) y camionetas (21.5%); que en conjunto representan el 90.5% del total de vehículos que circulan por la intersección en la HMD.

Tabla 26. Composición vehicular en hora de máxima demanda.

Aforo	Moto	Auto	Taxi	Camioneta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer
12:45–01:00	44	276	453	216	26	4	13	4	0
01:00–01:15	55	252	420	214	25	6	12	3	0
01:15–01:30	68	238	452	220	30	5	13	2	1
01:30–01:45	41	293	439	232	28	2	8	1	0
Total	208	1059	1764	882	109	17	46	10	1
Porcentaje	5.1%	25.9%	43.1%	21.5%	2.7%	0.4%	1.1%	0.2%	0%

Fuente: Elaboración propia.

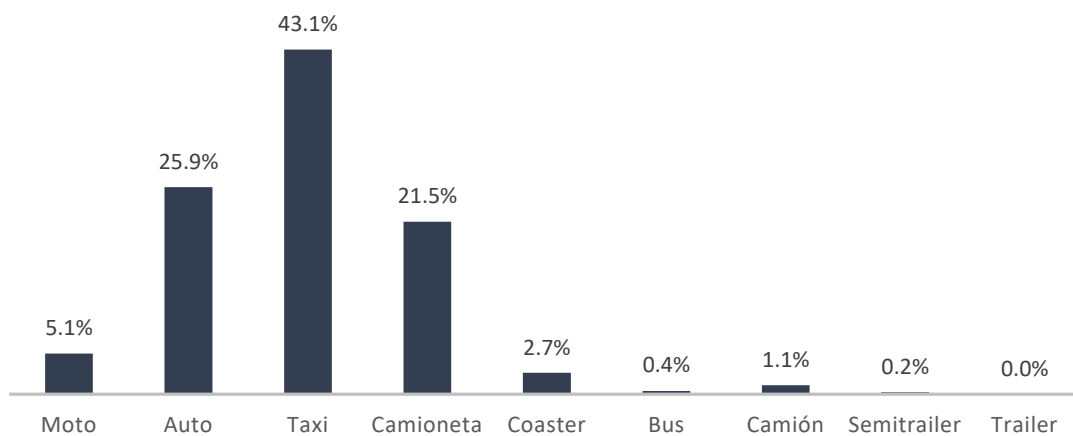


Figura 33. Composición vehicular en la HMD.

Fuente: Elaboración propia.

3.2.3. Brechas.

El método adoptado para la estimación de las brechas es el análisis de regresión lineal propuesto por Sieglöch (1999), el cual permite estimar el intervalo crítico y el intervalo de seguimiento de manera conjunta; es importante mencionar que la condición para la aplicación de este método, es que exista cola continua en los accesos a la rotonda. El método relaciona el número de vehículos que utilizan un intervalo, respecto al tamaño del mismo intervalo; de esta manera, se ajusta una regresión lineal entre las variables descritas anteriormente, obteniendo una ecuación lineal ($y = mx + b$), donde: T_f , es la pendiente de la recta; T_0 , es el valor del origen de la ordenada; T_c , se calcula usando la expresión: $T_c = T_0 + \frac{T_f}{2}$.

El método para obtener los valores de los intervalos, es trazando una línea de referencia en la vía; luego se tiene que, el tiempo que pasa desde que el parachoques trasero del primer vehículo (1) cruza la línea de referencia, hasta que el parachoques delantero del segundo vehículo (2) también cruza la línea de referencia, es el intervalo entre ambos vehículos; tal como se puede ver en la figura 34.

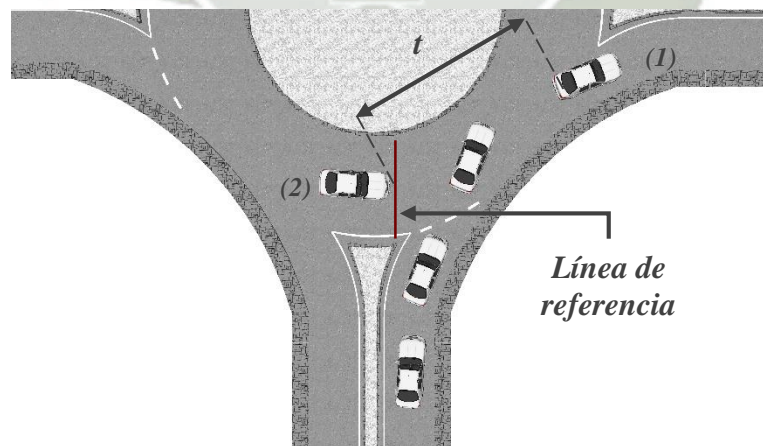


Figura 34. Medición de intervalos entre vehículos.
Fuente: Elaboración propia.

La tabla 27 muestra los valores promedio de los intervalos en función a la cantidad de vehículos que usaron los intervalos, en el acceso Trinidad Moran.

Tabla 27. Intervalos promedio para el acceso Trinidad Morán.

	Número de vehículos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Brechas	1.740	3.090	6.235	7.361	10.845	14.148	16.402			21.326	22.755
	2.821	3.688	6.796	8.600	11.199						
	1.830	3.651	4.470	8.624	10.869						
	2.685	4.508	4.215	8.403	8.331						
		4.253	5.885	7.880	10.287						
		3.787	4.817	7.314	8.697						
		4.328	6.630								
		2.985	4.375								
		3.146	4.140								
		4.014	6.935								
		2.039	4.122								
		3.697	6.028								
		2.147									
		3.220									
		5.072									
		4.650									
		4.334									
		3.190									
		3.882									

Fuente: Elaboración propia.

Al graficar los valores de la tabla 27 se obtiene la ecuación de una recta, tal como se muestra en la figura 35, que permite determinar los valores de los intervalos, los cuales se muestran en la tabla 28.

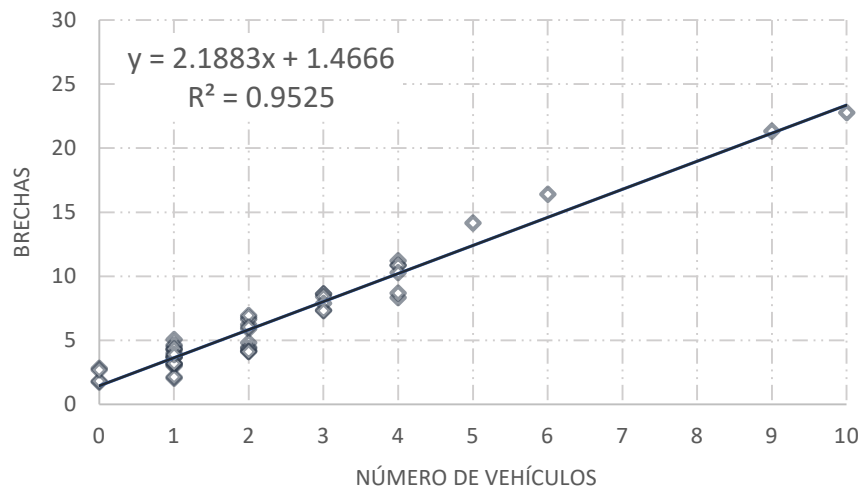


Figura 35. Curva de regresión lineal del acceso Trinidad Morán.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 28. Intervalos para el acceso Trinidad Morán.

Intervalos	Valores
To	1.467
Tf	2.188
Tc	2.561

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 28, la brecha crítica para el acceso Trinidad Morán, es igual a 2.561 s. lo que sugiere que los conductores tienen un comportamiento muy agresivo cuando intentan acceder a la rotonda.

La tabla 29 muestra los valores de las brechas en función a la cantidad de vehículos que usaron esas brechas, en el acceso Víctor Andrés Belaunde.

Tabla 29. Brechas en el acceso V. Andrés Belaunde.

	Número de vehículos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	1.727	4.198	5.814	6.796	12.556	15.686					
	1.555	3.461	6.929	5.861	10.723	11.126					
	1.628	4.015	6.741	6.931	10.863						
	1.389	2.985	5.495	7.192	12.526						
	1.820	4.730	5.344	6.625	10.050						
	2.893	4.441	6.204	8.294	10.940						
	2.949	3.441	4.568	8.417	10.603						
		4.395	5.001	9.320	10.989						
		3.788	5.827	10.576	10.510						
Brechas		3.471	5.404								
		2.867									
		3.167									
		3.383									
		3.073									
		3.974									
		4.500									
		3.204									
		3.541									
		4.157									

Fuente: Elaboración propia.

Al graficar los valores de la tabla 29 se obtiene la ecuación de una recta, tal como se muestra en la figura 36; que permite determinar los valores de los intervalos, los cuales se muestran en la tabla 30.

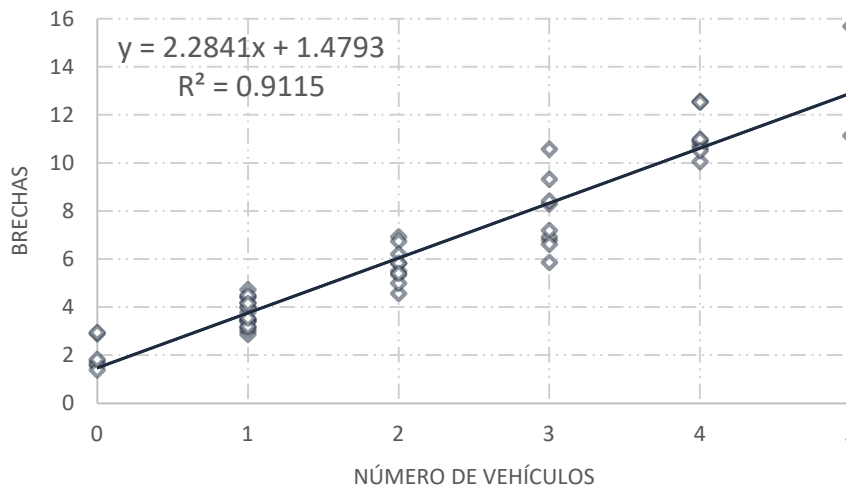


Figura 36. Curva de regresión lineal del acceso V. Andrés Belaunde.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 30. Intervalos para el acceso V. Andrés Belaunde.

Intervalos	Valores
To	1.479
Tf	2.284
Tc	2.621

Fuente: Elaboración propia.

Como se puede ver en la tabla 30, la brecha crítica para el acceso Víctor Andrés Belaunde, es igual a 2.621 s., ligeramente superior a la brecha del acceso Trinidad Morán, que confirma el comportamiento agresivo de los conductores que intentan acceder a la rotonda.

La tabla 31 muestra los valores de las brechas en función a la cantidad de vehículos que usaron esas brechas, en el acceso J. Abelardo Quiñones.

Tabla 31. Intervalos promedio para el acceso J. Abelardo Quiñones.

	Número de vehículos										
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
	2.157	3.645	4.935	6.265	10.516	13.570	13.826	16.344	19.864	19.238	20.949
	1.509	3.441	4.223	7.095	8.988		14.277	13.822	20.680	20.609	26.021
	3.424	3.412	4.508	6.963	11.467		15.494	15.617	23.609		
	3.394	3.268	4.777	6.873	8.247		16.686				
		3.446	7.543	5.959	9.543		12.926				
		3.669	8.126	8.503	7.502		14.608				
		2.570	7.431	7.715	9.524						
		2.684	4.767	6.399	11.973						
		2.969	5.716		15.439						
		4.218	5.152		9.279						
		3.844	4.531								
		2.289	4.298								
		3.637	5.590								
		2.609	5.453								
		3.606	4.750								
		4.043	7.227								
		3.460									
		3.343									
		4.174									
		3.854									

Fuente: Elaboración propia.

Al graficar los valores de la tabla 31 se obtiene la ecuación de una recta, tal como se muestra en la figura 37; que permite determinar los valores de los intervalos, los cuales se muestran en la tabla 32.

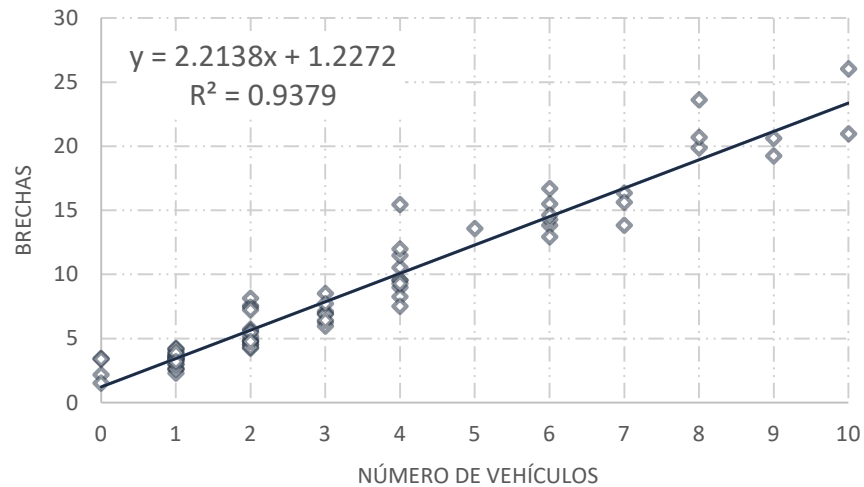


Figura 37. Curva de regresión lineal del acceso J. Abelardo Quiñones.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 32. Intervalos para el acceso J. Abelardo Quiñones.

Intervalos	Valores
To	1.227
Tf	2.214
Tc	2.334

Fuente: Elaboración propia.

La tabla 32 muestra que la brecha crítica, para el acceso José Abelardo Quiñones, es igual a 2.334 s., que es inferior al de los otros dos accesos; esto debido a la geometría del acceso a la rotonda, que permite que muchas veces el flujo que accede a la rotonda se comporte como un flujo prioritario, mientras que el flujo anular queda como un flujo subordinado.

3.2.4. Velocidades.

Uno de los parámetros que se debe conocer para modelar en Vissim son las velocidades; por tal motivo, es necesario definir tres tipos de velocidades que se desarrollan en una rotonda, que son: velocidad de aproximación (velocidad deseada, que es hallada en condiciones de flujo libre), zona de velocidad reducida y velocidad anular, tal como se puede ver en la figura 38. Es importante mencionar que el cálculo de las velocidades se realiza para cada acceso.

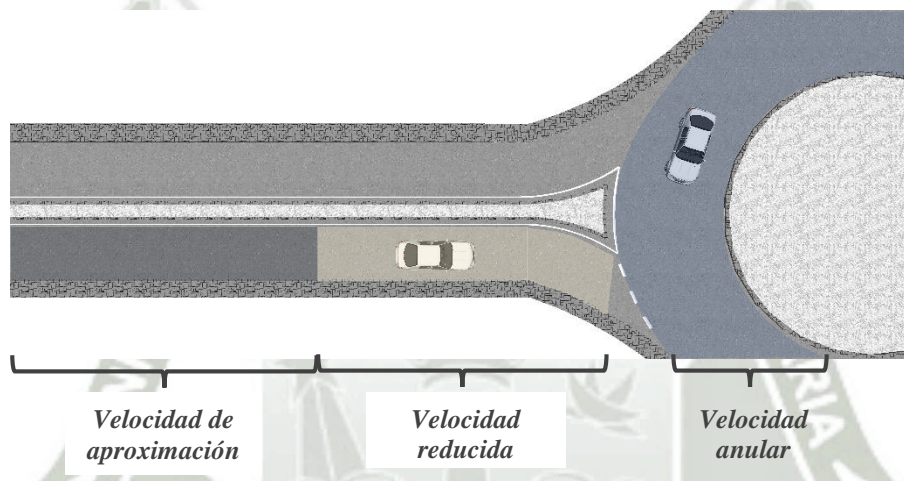


Figura 38. Tipos de velocidades.
Fuente: Elaboración propia.

Para determinar el tamaño de la muestra, se hace uso de la siguiente ecuación ¹²:

$$N = \frac{S^2 \times K^2 \times (2 + U^2)}{2 \times E^2}$$

Donde:

N = Tamaño mínimo de la muestra.

S = Desviación estándar estimada de la muestra (ver tabla 33).

K = Constante que corresponde al nivel de confianza deseado (ver tabla 34).

¹² Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, pág. 16.

E = Error permitido en el estimado de la velocidad (KPH).

U = Constante correspondiente a la estadística de velocidad deseada, donde: U= 0.00, para la velocidad media; U=1.04, para el 15 o 85 percentil; U=1.64, para el 5 o 95 percentil.

Tabla 33. Desviación estándar de velocidades instantáneas.

Área de tránsito	Tipo de vía	Desviación estándar media (kph)
Rural	2 carriles	8.5
Rural	4 carriles	6.8
Intermedio	2 carriles	8.5
Intermedio	4 carriles	8.5
Urbana	2 carriles	7.7
Urbana	4 carriles	7.9
Valor redondeado		8.0

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, pág. 15.

Tabla 34. Constante correspondiente al nivel de confiabilidad.

Constante, K	Nivel de confianza (%)
1.00	68.3
1.50	86.6
1.64	90.0
1.96	95.0
2.00	95.5
2.50	98.8
2.58	99.0
3.00	99.7

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, pág. 15.

El error permitido E, puede fluctuar de ± 8 km/h a ± 1.5 km/h o menos aún (Cal y Mayor, 1994, pág. 236).

De acuerdo a lo descrito anteriormente, se procede a determinar el tamaño de la muestra, como se puede ver en la siguiente expresión:

$$N = \frac{7.7^2 \times 1.96^2 \times (2 + 1.04^2)}{2 \times 2.25^2}$$

$$N = 69.32 \approx 70$$

Por lo tanto, la cantidad de datos que se debió recolectar asciende a 70 mediciones, esto para todos los accesos y la rotonda propiamente (ver Anexo 02). Antes de realizar el cálculo de las distribuciones de velocidades de punto, es necesario tener en consideración el número de intervalos, los cuales se obtienen a partir del tamaño de la muestra, tal como se muestra en la tabla 35.

Tabla 35. Número de intervalos de clase por tamaño de muestra.

Tamaño de la muestra	Número de intervalos N
50 - 100	7 - 8
100 - 1,000	10 - 11
1,000 - 10,000	14 - 15
10,000 - 100,000	17 - 18
Mayor a 100,000	$1 + 3.3 \text{ Log}_{10}(n)$

Fuente: Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, pág. 15.

Una vez determinados el número de intervalos, se procede a calcular el ancho de intervalo para cada vía y según el tipo de velocidad, estos se indican en la tabla 36.

Tabla 36. Ancho de intervalo para cada acceso y tipo de velocidad.

	Velocidad de aproximación			Velocidad de reducción			Velocidad anular
	TM	VAB	JAQ	TM	VAB	JAQ	
Tamaño de la muestra	70	70	70	70	70	70	70
Velocidad máxima	61	61	61	46	51	56	37
Velocidad mínima	33	30	30	25	26	30	16
Número de intervalos	7	7	7	7	7	7	7
Amplitud total	28	30	31	21	25	25	20
Ancho de intervalo	4	4	4	3	4	4	3

Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se presentan los cálculos de las distribuciones de frecuencias de velocidad de punto (tablas 37, 38, 39, 40, 41, 42 y 43), y las curvas de frecuencias de velocidades de punto (figuras 39, 40, 41, 42, 43, 44 y 45), que contienen los histogramas y las distribuciones de frecuencias; con estas últimas, se obtiene los valores del percentil 85 y percentil 15, que también sirven como parámetro de entrada al modelo de simulación. Todas las tablas y gráficas se codificaron de la siguiente manera:

- VA/TM: Velocidad de aproximación en la avenida Trinidad Morán.
- VR/TM: Velocidad de reducción en la avenida Trinidad Morán.
- VA/VAB: Velocidad de aproximación en la avenida Víctor Andrés Belaunde.
- VR/VAB: Velocidad de reducción en la avenida Víctor Andrés Belaunde.
- VA/JAQ: Velocidad de aproximación en la avenida José Abelardo Quiñones.
- VR/JAQ: Velocidad de reducción en la avenida José Abelardo Quiñones.
- VAN/OQ: Velocidad anular en el Óvalo Quiñones.

Tabla 37. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/TM.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
30.9 – 34.9	33	3	4	3	4	99	3247
35.0 – 39.0	37	12	17	15	21	442	16314
39.1 – 43.0	41	14	20	29	41	572	23354
43.1 – 47.1	45	18	26	47	67	807	36150
47.2 – 51.2	49	13	19	60	86	634	30941
51.3 – 55.2	53	5	7	65	93	264	13917
55.3 – 59.3	57	3	4	68	97	170	9654
59.4 – 63.4	61	2	3	70	100	121	7369
Total		70	100			3109.2	140946

Fuente: Elaboración propia.

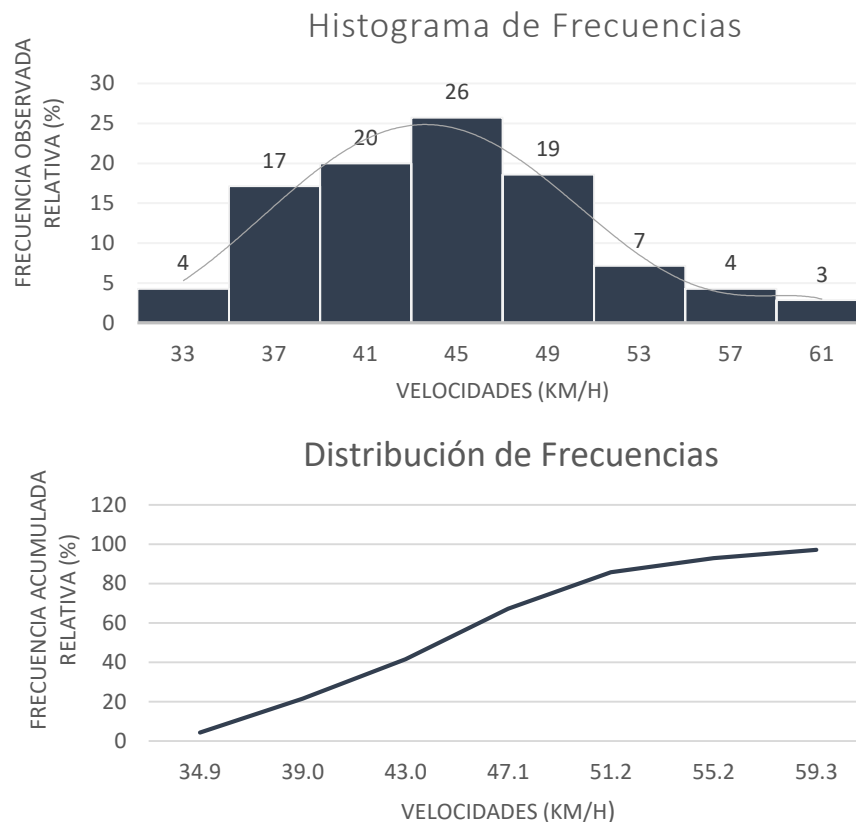


Figura 39. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/TM.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/TM.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
23.4 – 26.4	25	2	3	2	3	50	1240
26.5 – 29.5	28	7	10	9	13	195	5443
29.6 – 32.6	31	9	13	18	26	278	8577
32.7 – 35.7	34	19	27	37	53	643	21780
35.8 – 38.7	37	19	27	56	80	700	25791
38.8 – 41.8	40	10	14	66	94	398	15863
41.9 – 44.9	43	3	4	69	99	128	5499
45.0 – 48.0	46	1	1	70	100	46	2098
Total		70	100.00			2438.6	86291

Fuente: Elaboración propia.

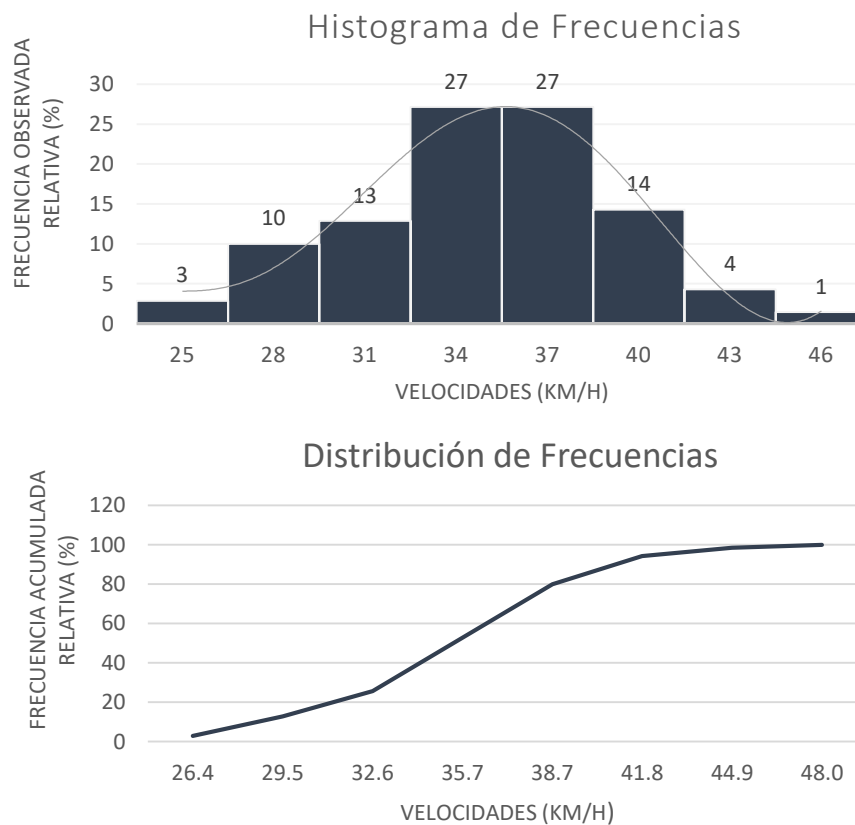


Figura 40. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/TM.

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 39. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/VAB.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
28.0 – 32.4	30	4	6	4	6	121	3648
32.5 – 36.8	35	9	13	13	19	311	10730
36.9 – 41.2	39	10	14	23	33	389	15099
41.3 – 45.7	43	19	27	42	60	821	35435
45.8 – 50.1	48	16	23	58	83	760	36122
50.2 – 54.5	52	8	11	66	94	415	21501
54.6 – 58.9	56	3	4	69	99	169	9466
59.0 – 63.4	61	1	1	70	100	61	3660
Total		70	100			3044.6	135661

Fuente: Elaboración propia.

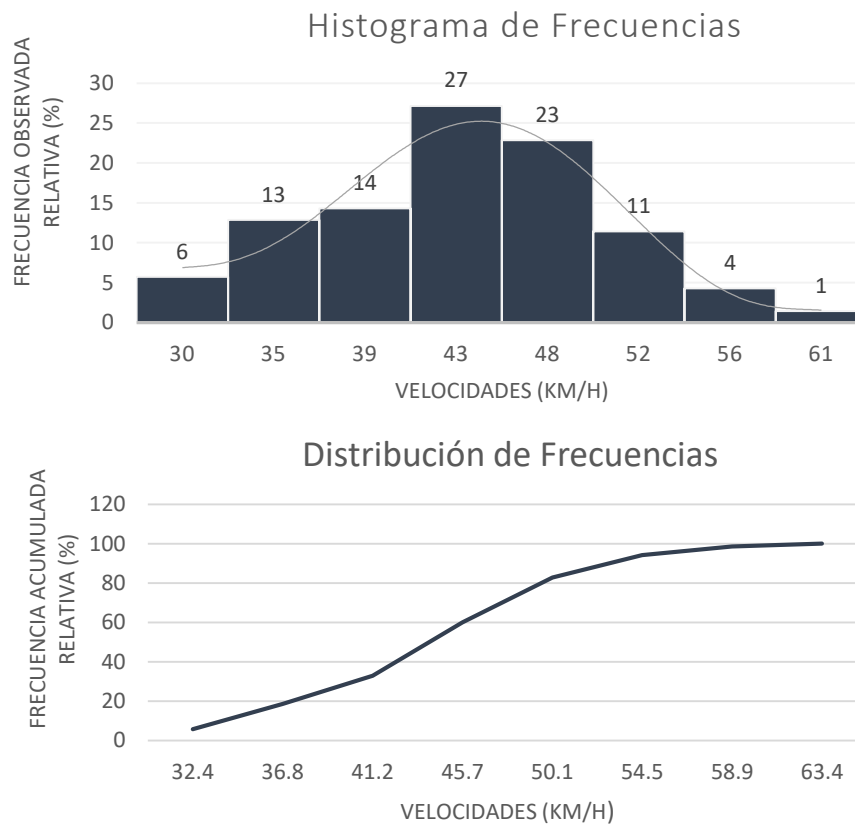


Figura 41. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/VAB.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/VAB.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
24.3 – 27.9	26	2	3	2	3	52	1362
28.0 – 31.6	30	7	10	9	13	208	6163
31.7 – 35.2	33	11	16	20	29	366	12156
35.3 – 38.9	37	24	35	44	64	884	32527
39.0 – 42.6	40	14	20	58	84	565	22834
42.7 – 46.2	44	8	12	66	96	352	15458
46.3 – 49.9	48	3	3	68	99	95	4518
50.0 – 53.6	51	1	1	70	100	51	2611
Total		70	100			2572.3	97629

Fuente: Elaboración propia.

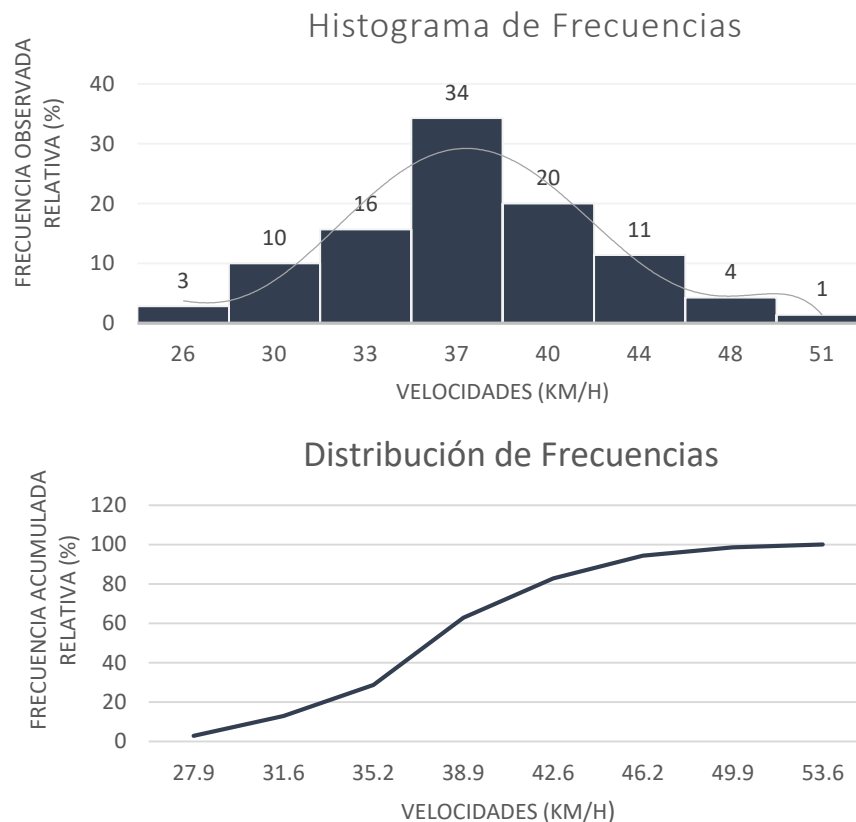


Figura 42. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/VAB.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 41. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VA/JAQ.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
27.9 – 32.3	30	2	3	2	3	60	1812
32.4 – 36.8	34	12	17	14	20	414	14271
36.9 – 41.3	39	18	26	32	46	700	27198
41.4 – 45.8	43	22	31	54	77	952	41166
45.9 – 50.2	48	8	11	62	89	381	18159
50.3 – 54.7	52	5	7	67	96	260	13535
54.8 – 59.2	56	2	3	69	99	113	6365
59.3 – 63.7	61	1	1	70	100	61	3697
Total		70	100			2940.2	126202

Fuente: Elaboración propia.

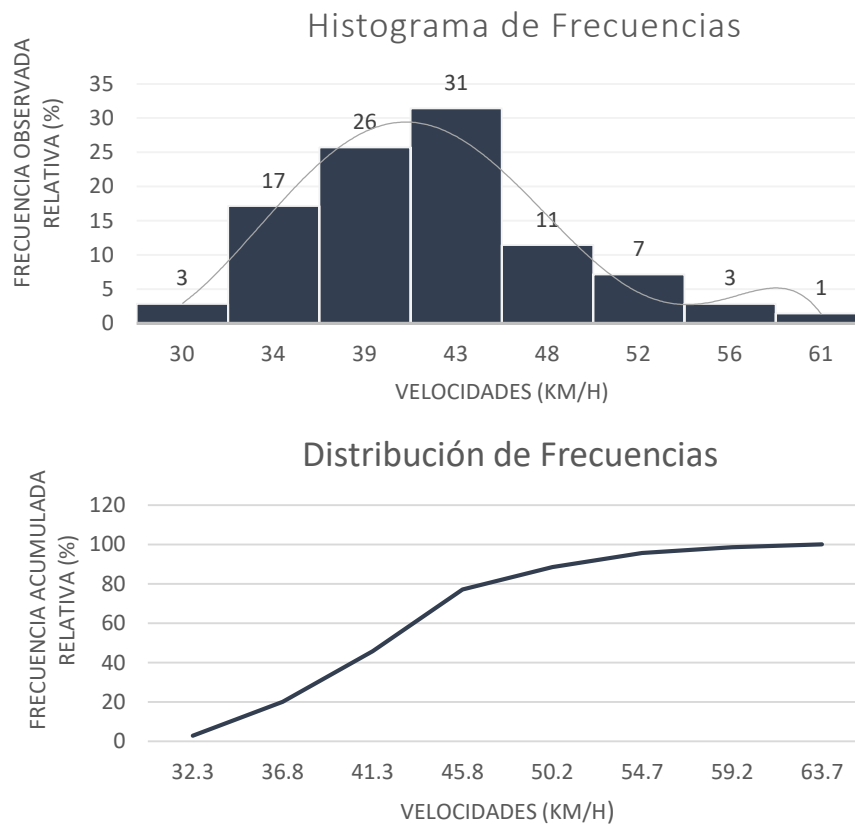


Figura 43. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VA/JAQ.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 42. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VR/JAQ.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
28.4 – 32.0	30	3	4	3	4	91	2736
32.1 – 35.7	34	9	13	12	17	304	10291
35.8 – 39.4	37	20	29	32	46	749	28018
39.5 – 43.2	41	16	23	48	69	657	26952
43.3 – 46.9	45	11	16	59	84	491	21937
47.0 – 50.6	48	7	10	66	94	338	16311
50.7 – 54.3	52	3	4	69	99	156	8076
54.4 – 58.0	56	1	1	70	100	56	3080
Total		70	100			2840.4	117401

Fuente: Elaboración propia.

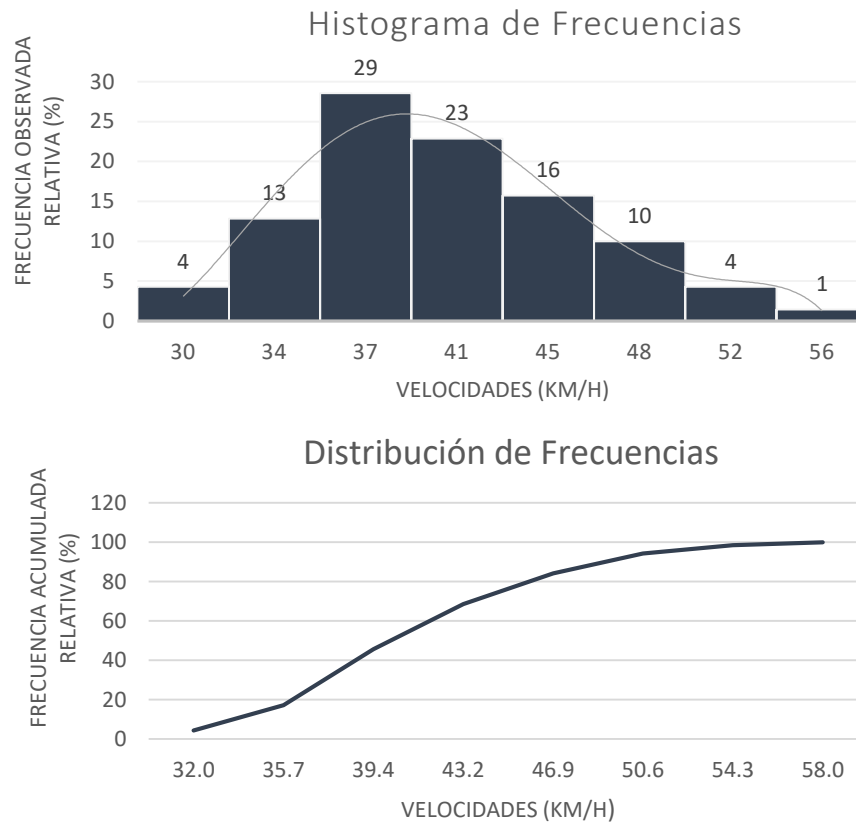


Figura 44. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VR/JAQ.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 43. Distribuciones de frecuencias de velocidad de punto – VAN/OQ.

Intervalo de clase	Punto medio	Frec. observada		Frec. acumulada		Fi*Vi	Fi*Vi^2
		Abs. (fi)	Relat. (%)	fia	(%)		
15.0 – 17.8	16	8	11	8	11	131	2152
17.9 – 20.8	19	13	19	21	30	251	4835
20.9 – 23.8	22	18	26	39	56	399	8848
23.9 – 26.8	25	18	26	57	81	451	11301
26.9 – 29.8	28	6	9	63	90	168	4685
29.9 – 32.8	31	5	7	68	97	154	4752
32.9 – 35.8	34	1	1	69	99	34	1137
35.9 – 38.7	37	1	1	70	100	37	1340
Total		70	100			1624.1	39050

Fuente: Elaboración propia.

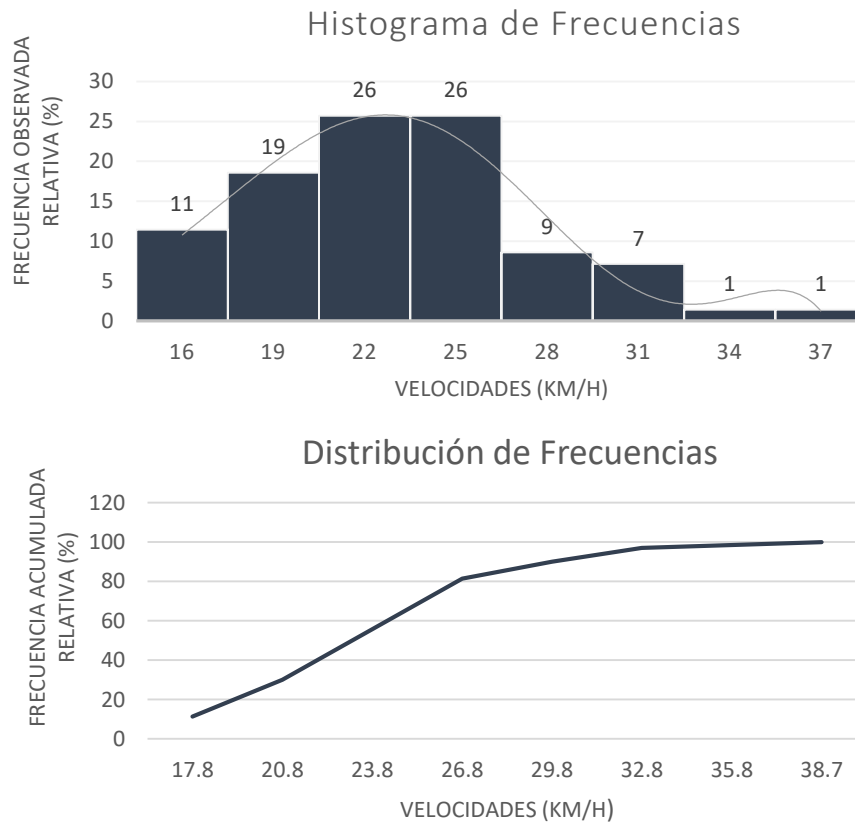


Figura 45. Curvas de frecuencias de velocidades de punto – VAN/OQ.

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 44 se presenta un resumen de los valores obtenidos del análisis de frecuencias de velocidad de punto; los valores de percentil 85 y percentil 15, también servirán como referencia al parámetro de entrada al modelo de simulación. Como se mencionó anteriormente, los valores que se tomaron en campo son velocidades que se desarrollan en condiciones donde no existe saturación.

Tabla 44. Datos estadísticos del análisis de frecuencias de velocidad de punto.

Variables	Trinidad Morán		V. Andrés B.		J. Abelardo Q.		Óvalo
	VA	VR	VA	VR	VA	VR	
Media	44.84	34.96	43.77	37.83	41.84	41.00	23.58
Mediana	44.50	35.15	44.50	38.05	41.60	40.15	23.45
Moda	42.00	37.00	42.30	38.30	42.30	38.80	16.40
Varianza	42.67	18.97	48.64	27.63	37.43	29.49	19.64
Desviación estándar	6.53	4.36	6.97	5.26	6.12	5.43	4.43
Máximo	60.70	45.80	60.50	51.10	60.80	55.50	36.60
Mínimo	32.90	24.90	30.20	26.10	30.10	30.20	16.40
Rango	27.80	20.90	30.30	25.00	30.70	25.30	20.20
Nivel de confianza	95%	95%	95%	95%	95%	95%	95%
Error estándar de la media	0.77	0.53	0.82	0.62	0.75	0.67	0.53
Percentil 15	38.11	31.10	37.14	33.14	37.08	37.08	19.40
Percentil 85	50.90	38.50	49.24	41.62	46.50	45.90	26.52

Fuente: Elaboración propia.

Nota: VA, Velocidad de aproximación; VR, Velocidad de reducción; VAN, Velocidad anular. Velocidades expresadas en KPH.

3.2.5. Longitud de colas.

Las longitudes de cola son parámetros que permiten evaluar la simulación, esto se logra comparando los resultados obtenidos en campo y los resultados arrojados por Vissim. Estos datos fueron obtenidos el día viernes 06 de octubre, en el periodo de 12:45 pm – 01:45 pm., que corresponde al periodo donde se determinó la HMD, considerando las longitudes de cola que se formaban en cada acceso de la rotonda; estos datos fueron obtenidos en campo, en base a estas se determinó los datos que se muestran en la tabla 45.

Tabla 45. Longitud de colas.

N°	Trinidad Moran	V. Andrés Belaunde	J. Abelardo Quiñones
1	3.9	13.3	39.6
2	14.4	3.9	20.2
3	13.3	18.0	9.7
4	41.9	9.7	42.9
5	65.3	20.2	33.2
6	-	27.1	35.6
7	-	9.7	42.5
8	-	8.6	43.7
9	-	13.3	-
10	-	5.0	-
Media	27.8	12.9	33.4
Máximo	65.3	27.1	43.7

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Análisis operacional.

3.3.1. Capacidad.

Antes de determinar la capacidad de los accesos, es necesario realizar un ajuste por flota mixta de vehículos, para ello se establece equivalencias entre vehículos pesados y ligeros, usando los valores de la tabla 46; luego se utilizarán las ecuaciones descritas a continuación.

Tabla 46. Equivalencias de vehículos de pasajeros

Tipo de vehículo	Equivalencias de los vehículos de pasajeros (E_T)
Coche de pasajeros	1.0
Vehículos pesados	2.0
Bicicleta	0.5

Fuente: Highway Capacity Manual 2010

$$V_{i,pce} = \frac{V_i}{f_{hv}}$$

$$f_{hv} = \frac{1}{1 + P_T * (E_T - 1)}$$

Donde:

$V_{i,pce}$ = Tasa de flujo de la demanda de movimiento i, cp/h.

V_i = Volumen de la demanda de movimiento i, veh/h.

f_{hv} = Factor de ajuste de vehículos pesados.

P_T = Proporción de volumen de la demanda que consiste en vehículos pesados.

E_T = Equivalencia de los vehículos de pasajeros para los vehículos pesados.

Con los valores de la tabla 47, se calcula la tasa de flujos $V_{i,pce}$, (ver la tabla 48).

Tabla 47. Vehículos dentro de la hora pico.

Origen	Trinidad Morán			V. Andrés Belaunde			J. Abelardo Quiñones		
	VAB	JAQ	TM	JAQ	TM	VAB	TM	VAB	JAQ
Moto	28	37	0	15	22	0	61	42	3
Auto	330	637	6	376	351	19	706	382	16
Camioneta	101	195	7	100	164	10	169	132	4
Coaster	45	17	0	2	40	0	5	0	0
Bus	2	5	0	5	1	0	2	2	0
Camión	2	12	1	13	6	0	7	4	1
Semitrailer	0	3	0	1	0	0	4	2	0
Trailer	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total	508	906	14	512	584	29	955	564	24
% Veh. Pesados	0.8%	2.2%	7.1%	3.7%	1.2%	0.0%	1.5%	1.4%	4.2%

Fuente: Elaboración propia.

Nota: Se considera vehículos pesados a: Bus, Camión, Semitrailer y Trailer.

Tabla 48. Tasa de flujos de la demanda de movimiento.

Origen	Trinidad Morán			V. Andrés Belaunde			J. Abelardo Quiñones		
	VAB	JAQ	TM	JAQ	TM	VAB	TM	VAB	JAQ
v_i	508	906	14	512	584	29	955	564	24
FHP	93.0%	93.0%	93.0%	95.0%	95.0%	95.0%	97.0%	97.0%	97.0%
V_i	546	974	15	539	615	31	985	581	25
E_T	2	2	2	2	2	2	2	2	2
P_T	0.8%	2.2%	7.1%	3.7%	1.2%	0.0%	1.5%	1.4%	4.2%
f_{hv}	0.992	0.978	0.933	0.964	0.988	1.000	0.986	0.986	0.960
$V_{i,pce}$	551	996	16	559	622	31	999	590	26

Fuente: Elaboración propia

Una vez halladas las tasas de flujo de la demanda de movimiento ($V_{i,pce}$), procedemos a calcular el flujo conflictivo (V_C) y flujos entrantes a la rotonda (V), para cada acceso, como se muestran en la tabla 49 y figura 46.

Tabla 49. Flujos conflictivos y flujos entrantes.

Origen	Trinidad Morán	V. Andrés Belaunde	J. Abelardo Quiñones
V_C	646	1038	669
V	1562	1212	1614

Fuente: Elaboración propia

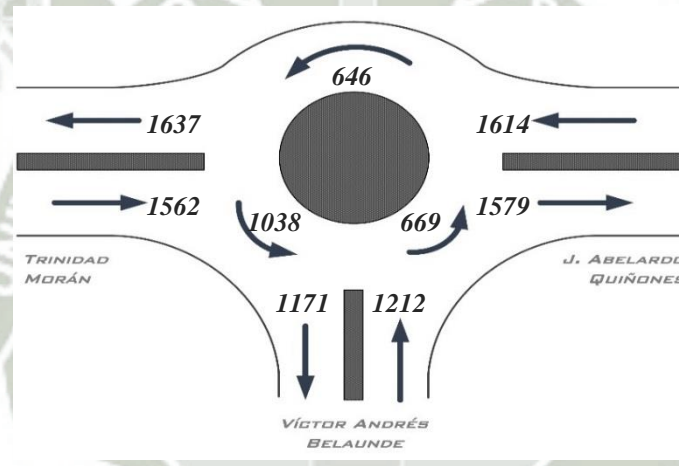


Figura 46. Flujos del tráfico.
Fuente: Elaboración propia.

Con los valores de V_C , se realiza el cálculo de la capacidad; la ecuación que se utilizará para estimar la capacidad de los accesos a la rotonda, es la que se define en el capítulo 2.3.4, que es la siguiente:

$$c = A * e^{-B * V_C}$$

Para calcular la capacidad del carril de entrada para cada acceso a la rotonda, primero se debe definir los parámetros “A” y “B”, estos se hallan a partir de los valores de los intervalos crítico e intervalo de seguimiento. Realizaremos el análisis considerando tanto a los valores de los intervalos hallados en campo, como los valores de los intervalos propuestos por el HCM 2010 (ver tabla 12). De esta manera obtenemos los valores de “A” y “B”, tal como se muestra en la tabla 50 y tabla 51.

Tabla 50. Capacidad de cada acceso – valores del HCM 2010.

Accesos	Trinidad Morán		V. Andrés Belaunde		J. Abelardo Quiñones	
	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho	Izquierdo	Derecho
T_f	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19	3.19
T_c	4.29	4.11	4.29	4.11	4.29	4.11
A	1129	1129	1129	1129	1129	1129
B	0.00075	0.00070	0.00075	0.00070	0.00075	0.00070
Capacidad	696	719	519	547	684	707
C^*f_{hv}	674	696	511	540	668	691

Fuente: Elaboración propia

Tabla 51. Capacidad de cada acceso – valores de campo.

Origen	Trinidad Morán	V. Andrés Belaunde	J. Abelardo Quiñones
T_f	2.188	2.156	2.214
T_c	2.561	2.621	2.334
A	1645	1670	1626
B	0.00041	0.00043	0.00034
C	1265	1070	1295
C^*f_{hv}	1224	1053	1265

Fuente: Elaboración propia

3.3.2. Relación volumen-capacidad.

Los valores del volumen “V”, corresponden a los flujos que acceden a la rotonda (ver figura 46), repartidos por cada carril, en función a los giros que se presentan en la rotonda; para nuestro caso se asumirán valores de 0.53 para el carril dominante y 0.47 para el otro carril, estos también se multiplican por los valores de f_{hv} ¹³ correspondientes.

Tabla 52. Relación volumen – capacidad.

Datos	Carril	Trinidad Morán			V. Andrés B.			J. Abelardo Q.		
		V	C	X	V	C	X	V	C	X
HCM 2010	Izq	711	674	1.06	560	511	1.10	741	668	1.11
	Der.	802	696	1.15	632	540	1.17	836	691	1.21
Campo	Izq	711	1224	0.58	560	1053	0.53	741	1265	0.59
	Der.	802	1224	0.65	632	1053	0.60	836	1265	0.66

Fuente: Elaboración propia.

3.3.3. Control de demora.

El control de demora se calcula mediante el uso de la ecuación que se muestra en el capítulo 2.4.2; donde se utiliza el valor de $T=0.25$ para periodos de 15 min. La tabla 53 muestra los valores de las demoras obtenidas, para cada carril.

Tabla 53. Control de demora dentro de la HMD.

Acceso	Trinidad Morán		V. Andrés B.		J. Abelardo Q.	
	HCM 2010	Campo	HCM 2010	Campo	HCM 2010	Campo
Izquierdo	75.0	9.8	97.3	9.9	92.9	9.7
Derecho	108.1	11.6	123.0	11.4	130.4	11.5

Fuente: Elaboración propia.

¹³ El valor f_{hv} es el promedio de los valores, de cada movimiento para cada acceso, hallados en la tabla 48.

3.3.4. Niveles de servicio.

A partir del cálculo de la relación volumen-capacidad y del control de demora, se determina los niveles de servicio para cada acceso y carril, tal como se muestra en la tabla 54.

Tabla 54. Niveles de servicio en el Óvalo Quiñones.

Acceso	Trinidad Morán		V. Andrés B.		J. Abelardo Q.	
	HCM 2010	Campo	HCM 2010	Campo	HCM 2010	Campo
Izquierdo	F	A	F	A	F	A
Derecho	F	B	F	B	F	B

Fuente: Elaboración propia.

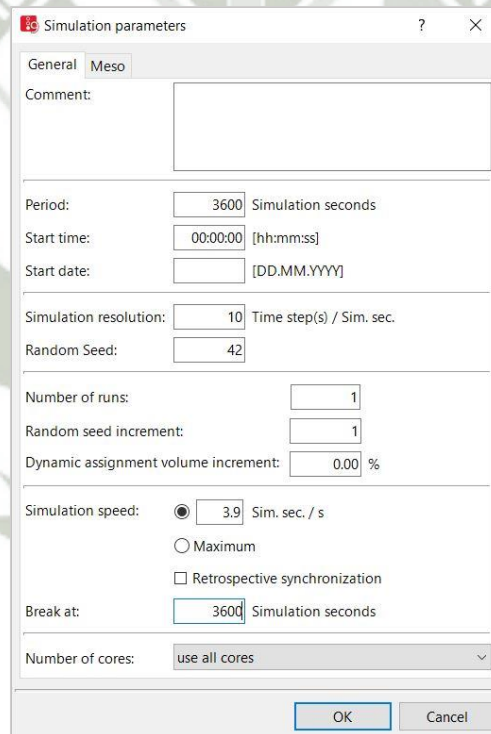
Como se puede ver en la tabla 54, los niveles de servicio calculados en la rotonda varían drásticamente, dependiendo de que valores de intervalos que se adopte. Al usar los valores que brinda el HCM 2010, se puede apreciar que los niveles de servicio que se tiene para cada acceso y carril corresponden a niveles “F”, que implica que la rotonda trabaja más allá de su capacidad. Sin embargo, si la capacidad se halla considerando los valores hallados en campo, se observa que los niveles de servicio mejoran considerablemente, variando entre niveles “A” y “B”, que corresponden a niveles de servicio satisfactorios en todos los accesos; sin embargo, al visualizar el comportamiento del flujo vehicular, se observa que, a pesar de que la rotonda está en la capacidad de soportar los volúmenes registrados, aún se generan congestión en los tres accesos, esto debido principalmente a la presencia de los semáforos y porque no se respeta la regla de *Ceda el Paso*, los flujos vehiculares que acceden a la rotonda muchas veces tienen prioridad sobre el flujo circulante, originando que se produzca conflictos en los accesos a la rotonda.

3.4. Modelo de simulación microscópica

3.4.1. Construcción del modelo.

La construcción del modelo de simulación se realizará siguiendo la “*lista de chequeo de inicio rápido en Vissim*”, que propone el manual de usuario de Vissim; esta lista está compuesta por los siguientes pasos:

Configuración de parámetros de simulación. Los parámetros de simulación, que se definen antes de iniciar la construcción del modelo, para el presente estudio, se establecieron con los valores que se muestran en la figura 47.



Field	Value	Unit / Description
Period	3600	Simulation seconds
Start time	00:00:00	[hh:mm:ss]
Start date		[DD.MM.YYYY]
Simulation resolution	10	Time step(s) / Sim. sec.
Random Seed	42	
Number of runs	1	
Random seed increment	1	
Dynamic assignment volume increment	0.00	%
Simulation speed	3.9	Sim. sec. / s
Break at	3600	Simulation seconds
Number of cores	use all cores	

Figura 47. Parámetros de simulación.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Edición de perfiles de velocidad. Las velocidades con las que trabajaremos para la simulación, serán las que vienen por defecto en el programa, y que se encuentran dentro del rango de las velocidades halladas en el capítulo 3.2.4; las cuales se muestran en la tabla 44. De esta manera se procede a definir todas las velocidades para la rotonda y para cada acceso, tal como muestra la figura 48.

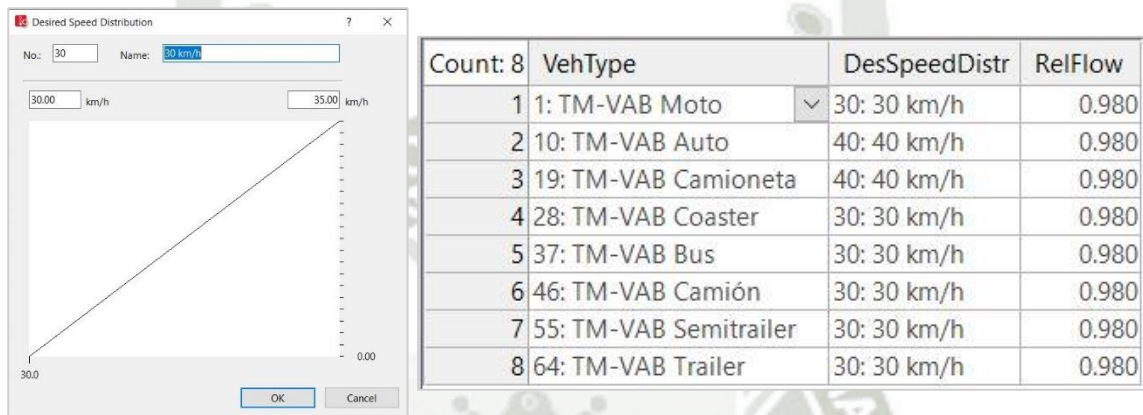


Figura 48. Edición de velocidades en Vissim.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Creación de características del tipo de vehículo. Los tipos de vehículos que se usarán, son: moto, auto, camioneta, coaster, bus, camión, semi tráiler y tráiler; las dimensiones para cada uno se especifican en la tabla 23. Se considerará como un solo tipo de vehículos a los taxis y autos, esto al momento de ingresar los volúmenes. En la figura 49, se puede ver la creación de las clases de vehículos y los tipos de vehículos.

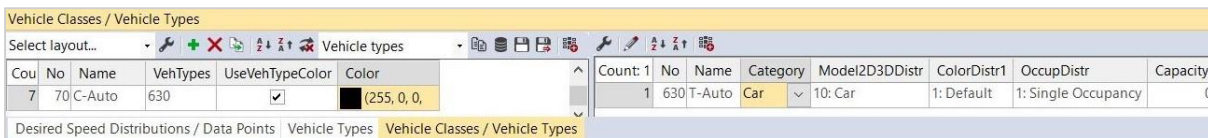
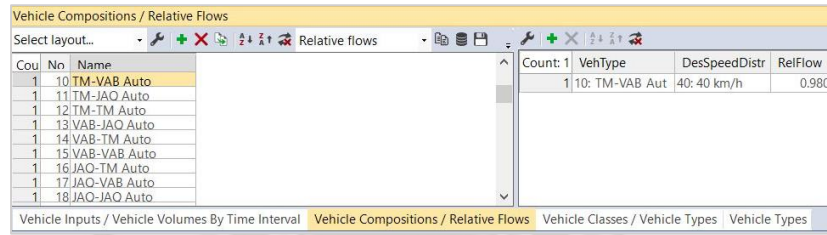


Figura 49. Clases y tipos de vehículos en Vissim.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Creación de composición vehicular. Se usarán varias composiciones vehiculares, cada una en función al tipo de vehículo y ruta asignada, esto con el fin optimizar el tiempo de análisis al momento de cambiar volúmenes; en la figura 50 se puede ver un ejemplo de cómo se asignaron diferentes composiciones vehiculares.



Count	VehType	DesSpeedDist	RelFlow
1	10: TM-VAB Aut	40: 40 km/h	0.980

Figura 50. Composiciones vehiculares en Vissim.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Construcción de la geometría de la intersección. Vissim emplea enlaces y conectores para el diseño de la red; los enlaces son tramos de vías que contienen parámetros que pueden ser modificados (comportamiento del conductor, ancho de carriles, etc.); los conectores permiten conectar los enlaces y también contienen parámetros configurables. Ambos elementos se muestran en las figuras 51 y 52.

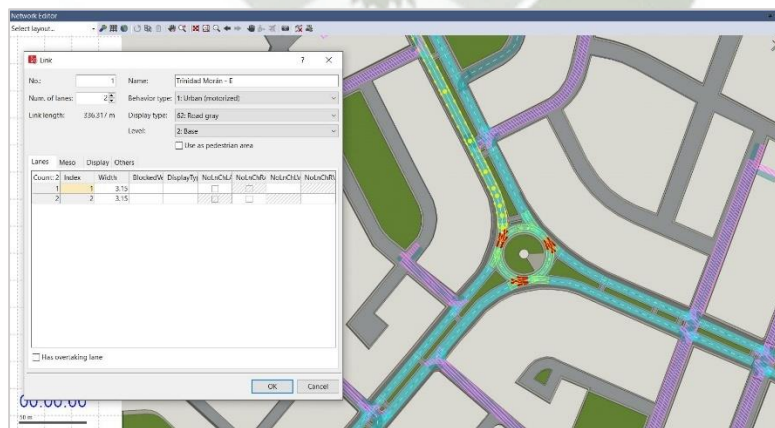


Figura 51. Links (enlaces).
Fuente: Interfaz de Vissim.

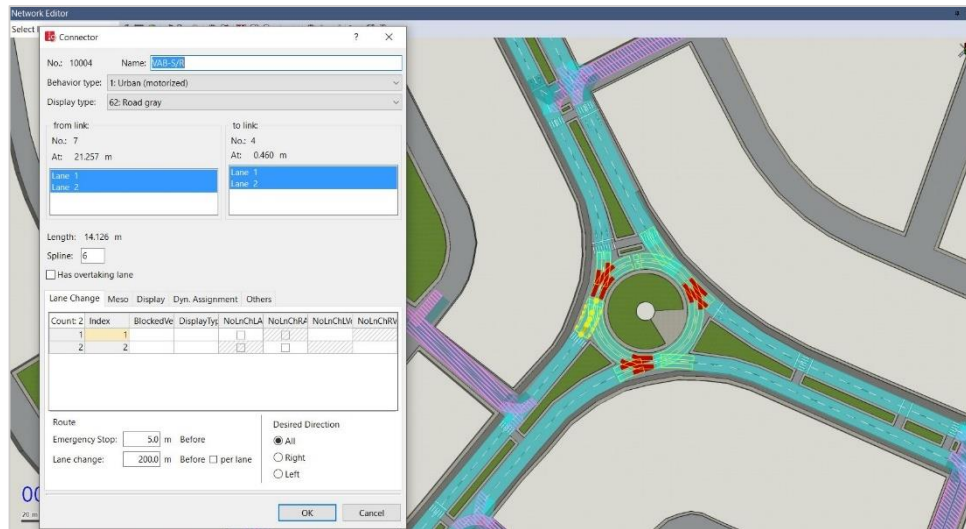


Figura 52. Connector (conectores).

Fuente: Interfaz de Vissim.

En base a ambos elementos se procede a dibujar la red vial; en la figura 53 se muestra la como quedó definida la geometría de la intersección.

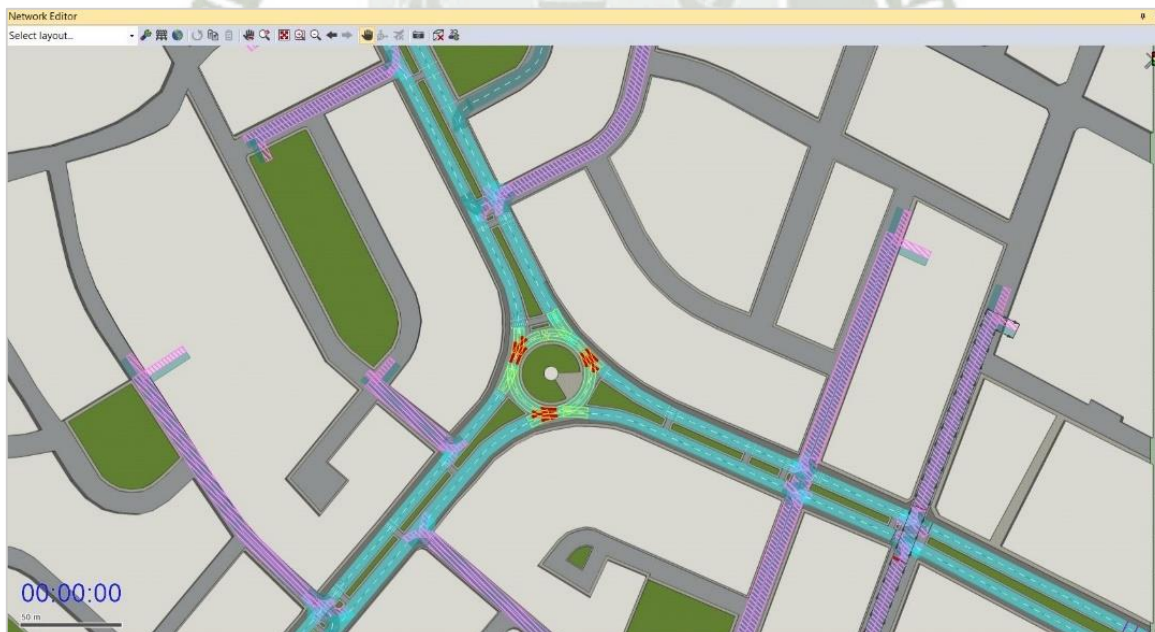


Figura 53. Geometría de la red.

Fuente: Interfaz de Vissim.

Ingreso de los volúmenes vehiculares. Una vez construida la geometría de la red, se procede a definir los volúmenes de tráfico para cada vehículo y ruta asignada, tal como se puede ver en la figura 54.

Cou	No	Name	Link	Volume(0)	VehComp(0)
1	1	TM-VAB Moto	1: Trinidad Morán - E	36.0	1: TM-VAB Moto
2	2	TM-JAQ Moto	1: Trinidad Morán - E	48.0	2: TM-JAQ Moto
3	3	TM-TM Moto	1: Trinidad Morán - E	0.0	3: TM-TM Moto
4	4	VAB-JAQ Moto	3: Andrés Belaunde - E	19.0	4: VAB-JAQ Moto
5	5	VAB-TM Moto	3: Andrés Belaunde - E	28.0	5: VAB-TM Moto
6	6	VAB-VAB Moto	3: Andrés Belaunde - E	0.0	6: VAB-VAB Moto
7	7	JAQ-TM Moto	5: Abelardo Quiñones - E	79.0	7: JAQ-TM Moto

Figura 54. Volúmenes vehiculares en Vissim.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Ingreso de los puntos de decisión de ruta. Las decisiones de ruta permiten definir las trayectorias del tráfico, determinando el punto de partida y de llegada de la ruta, y definiendo el volumen por cada ruta como porcentaje. La figura 55, muestra las rutas asignadas a los vehículos que parten de la vía Trinidad Morán.

Cou	No	Name	Link	Prc	AllVehTypes	VehClasses
1	1	TM-VAB Moto	1: Trinidad Morán - E	6.717	<input type="checkbox"/>	1
2	2	TM-JAQ Moto	1: Trinidad Morán - E	14.245	<input type="checkbox"/>	2
3	3	TM-TM Moto	1: Trinidad Morán - E	11.548	<input type="checkbox"/>	3
4	4	VAB-JAQ Moto	3: Andrés Belaunde - E	3.777	<input type="checkbox"/>	4
5	5	VAB-TM Moto	3: Andrés Belaunde - E	10.219	<input type="checkbox"/>	5
6	6	VAB-VAB Moto	3: Andrés Belaunde - E	15.197	<input type="checkbox"/>	6
7	7	JAQ-TM Moto	5: Abelardo Quiñones - E	1.699	<input type="checkbox"/>	7
8	8	JAQ-VAB Moto	5: Abelardo Quiñones - E	7.835	<input type="checkbox"/>	8
9	9	JAQ-JAQ Moto	5: Abelardo Quiñones - E	13.278	<input type="checkbox"/>	9

Figura 55. Rutas asignadas a los vehículos que parten de la av. V. Andrés Belaunde.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Ingreso de cambios de velocidad. Como ya se explicó en el capítulo 3.2.4, dentro del área de estudio se definieron tres tipos de velocidad, que son: la velocidad deseada o de aproximación, la velocidad en zonas de reducción y velocidad en la propia rotonda. Vissim permite definir áreas de reducción de velocidad, las cuales están condicionadas, sobre todo, por la geometría de la vía (presencia de curvas). En la figura 56, se puede ver como se delimitaron las áreas de reducción de velocidad; para cada acceso a la rotonda.

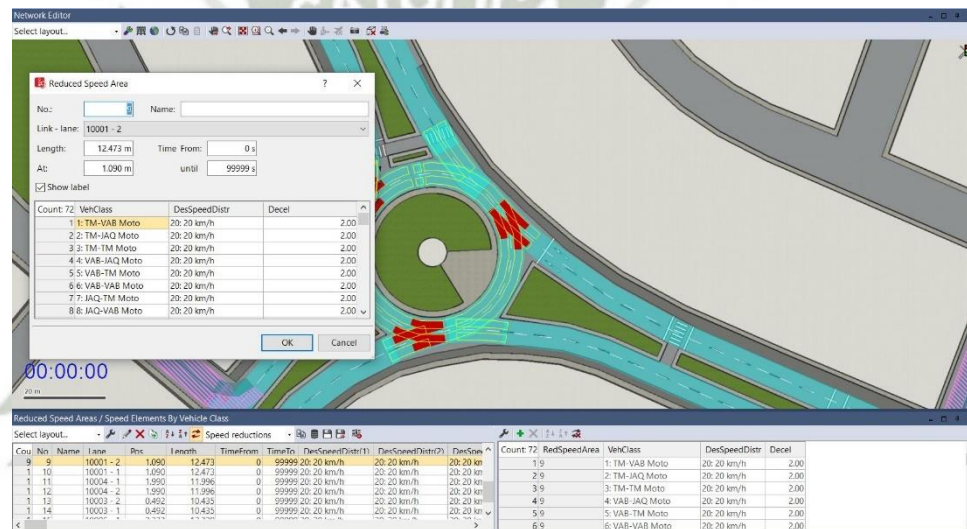


Figura 56. Áreas de reducción de velocidad.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Creación de controles semafóricos. Ya que dentro de los límites del área de estudio se encuentran operando dos semáforos, tal como se describió en el capítulo 3.1.7, estos serán tomados en cuenta para la simulación. Usando los valores de las tablas 19 y 20, se programaron los controladores semafóricos, tal como se muestra en la figura 57.

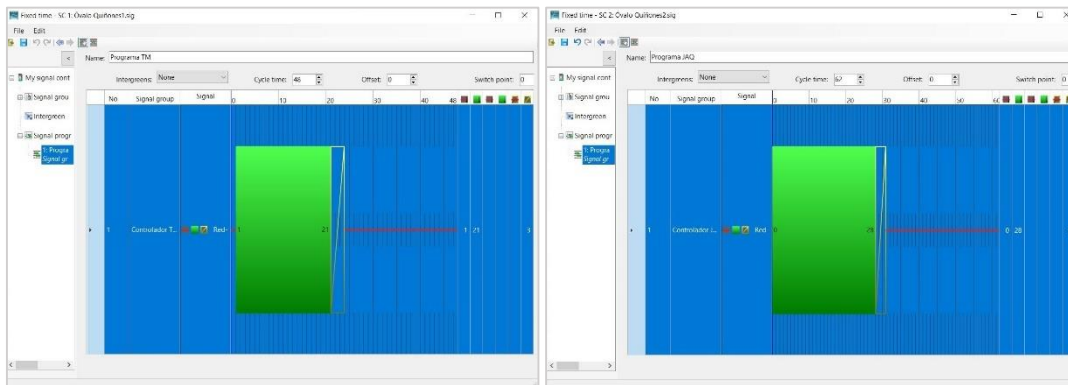


Figura 57. Controladores semafóricos.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Ingreso de semáforos en la red. Una vez definidos los controladores, se procede a ingresar los semáforos en los puntos donde operan, tal como se muestra en la figura 58.

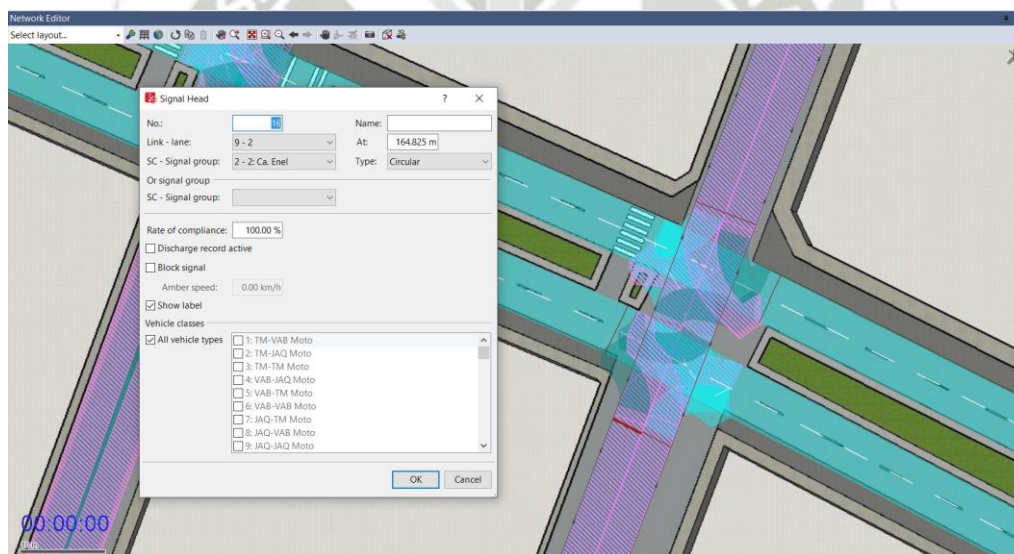


Figura 58. Ingreso de semáforos en la intersección J. A. Quiñones - Emel.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Definición de áreas de conflicto. Dado que, en el Perú, la regla de Ceda el Paso para rotondas aún no está implementada, el flujo anular no siempre se comporta como el flujo principal; en base a los videos observados se pudo comprobar que los flujos provenientes

de los accesos se comportan muchas veces como el flujo principal o alternan la prioridad. En base a estas consideraciones se determinó, mediante las áreas de conflicto, los flujos prioritarios (barras verdes) que se presentan en la rotonda, como se puede ver en la figura 59; esto con el fin de representar un comportamiento real en la rotonda.

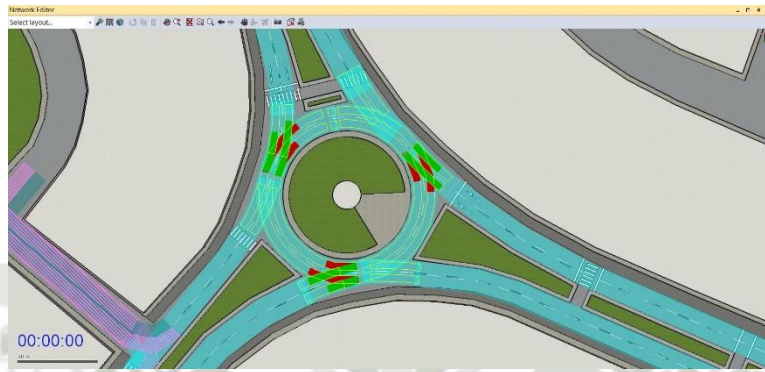


Figura 59. Áreas de conflicto.
Fuente: Interfaz de Vissim.

3.4.2. Calibración del modelo.

Una vez definidos todos los elementos contenidos en la red, se procede a calibrar el modelo; este es un proceso mediante el cual se ajustan determinados parámetros con el fin de que la simulación se asemeje a las condiciones del tráfico existente. El modelo de Wiedemann 74, que es usado para entornos urbanos, permite modificar el comportamiento de los conductores, y se le denomina modelo de seguimiento vehicular.



Figura 60. Seguimiento vehicular
Fuente: Elaboración propia.

Este modelo se basa en la distancia que guardan los vehículos entre sí, para ello hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$d = ax + bx$$

$$bx = (bx_{add} + bx_{mult} \times z) \times \sqrt{v}$$

Donde:

ax = Distancia media entre vehículos detenidos.

bx_{add} = Parte aditiva de la distancia deseada por seguridad.

bx_{mult} = Parte multiplicativa de la distancia deseada por seguridad.

z = Variable aleatoria del rango [0,1].

v = Velocidad del vehículo (m/s)

Modificando estos parámetros, se puede lograr que el comportamiento del conductor sea más agresivo, y, por lo tanto, los flujos de saturación también sean mayores, ya que los vehículos irán más cerca unos de otros. Esta función resulta muy útil, ya que, como se vio en el estudio de brechas, el comportamiento de los conductores en el Óvalo Quiñones es muy agresivo. Los valores adoptados, tras varias iteraciones para estos parámetros, se muestran en la tabla 55.

Tabla 55. Parámetros del comportamiento del conductor.

Acceso	ax	bx_{add}	bx_{mult}
Trinidad Moran	0.5	1.5	1.9
V. Andrés Belaunde	0.5	1.9	2.3
J. Abelardo Quiñones	0.5	3.0	5.0

Fuente: Elaboración propia.

Una vez establecidos los valores para el modelo de seguimiento vehicular, se procede a realizar la simulación; luego, los resultados obtenidos se comparan con los datos de campo.

Las longitudes de cola son un indicador para medir el grado de calibración del modelo, la tabla 56 muestra las longitudes de cola promedio que se producen en cada acceso a la rotonda, tanto para los valores de campo, como los valores arrojados por la simulación. Se comprueba que para los accesos V. Andrés Belaunde y J. Abelardo Quiñones, la calibración es bastante buena, mientras que para Trinidad Moran, se tiene una calibración relativamente buena.

Tabla 56. Longitudes de cola máximas.

	Trinidad Moran	V. Andrés Belaunde	J. Abelardo Quiñones
Campo	27.8	12.9	33.4
Simulación	22.5	13.4	33.9
Variación (%)	19 %	4 %	1 %

Fuente: Elaboración propia.

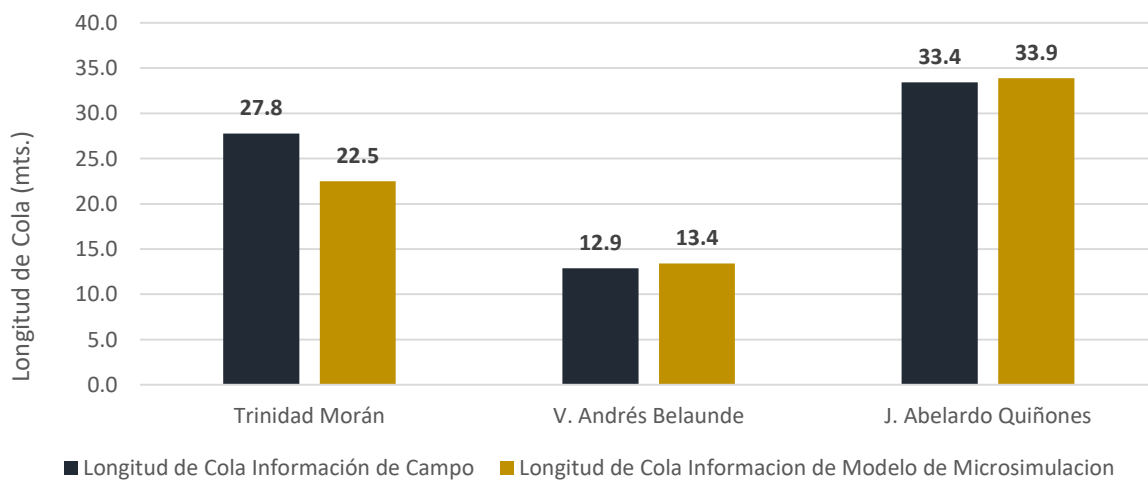


Figura 61. Comparativa entre longitudes de cola promedio de campo y simulados.

Fuente: Elaboración propia.

Otro indicador para medir el grado de calibración de nuestro modelo es mediante el estadístico GEH, esta toma su nombre de las iniciales de su autor, Geoffrey E. Havers (1970). El valor obtenido para GEH es un indicador de la calibración del modelo en función al ajuste de volúmenes, para ello se hace uso de la siguiente ecuación.

$$GEH = \sqrt{\frac{(Volumen observado - Volumen simulado)^2}{0.5 \times (Volumen observado + Volumen simulado)}}$$

Donde un $GEH < 5$, para el volumen del 85% de los casos, se considera correcto.

En la tabla 57 se puede ver que los valores de GEH, para los diferentes accesos, son menores a 5, lo que indica que la calibración, en base a los volúmenes, es válida y se ajusta a lo observado en campo.

Tabla 57. Estadístico GEH - calibración.

	TM	VAB	JAQ
Volumen observado	1428	1125	1543
Volumen simulado	1401	1096	1497
GEH	0.72	0.87	1.18

Fuente: Elaboración propia.

La figura 62, muestra la variación entre los volúmenes reales y simulados. Con todo lo calculado anteriormente, podemos concluir que nuestro modelo se encuentra debidamente calibrado.

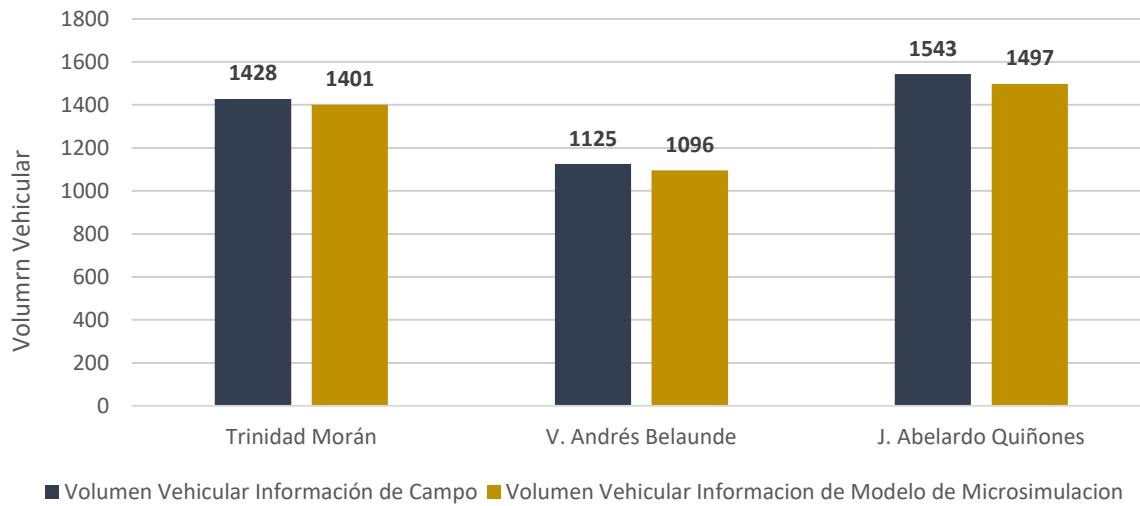


Figura 62. Comparativa entre los volúmenes de campo y simulados.
Fuente: Elaboración propia.

3.4.3. Validación del modelo.

Para la validación de nuestro modelo, se ingresaron nuevos volúmenes obtenidos en un periodo distinto al usado en la primera simulación, pero se conservaron los parámetros relacionados al comportamiento del conductor modificados en el modelo original; los resultados obtenidos usando el indicador GEH (ver tabla 58), nos permiten afirmar que nuestro modelo se encuentra dentro del rango de aceptación, por lo que concluimos que nuestro modelo está validado.

Tabla 58. Estadístico GEH - validación.

	TM	VAB	JAQ
Volumen observado	1369	1132	1483
Volumen simulado	1342	1130	1448
GEH	0.73	0.06	0.91

Fuente: Elaboración propia.

3.4.4. Simulación del modelo.

Finalmente, luego de tener nuestro modelo construido, calibrado y validado, se procede a realizar la simulación, como se puede ver en la figura 63, para luego evaluar los resultados.



Figura 63. Simulación de la rotonda.

Fuente: Interfaz de Vissim.



Capítulo 4

Análisis y evaluación de resultados

Vissim permite evaluar intersecciones a través de una herramienta denominada nodos; ambas, intersecciones y nodos, se pueden considerar como análogas. Por la facilidad de uso y versatilidad, haremos uso del nodo polígono para evaluar la rotonda, tal como se puede ver en la figura 64.

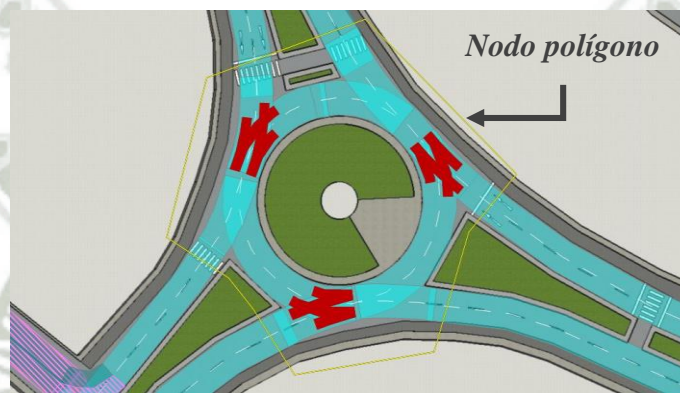


Figura 64. Nodo polígono.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Luego de haber definido el nodo, se procede a simular el modelo; es importante entender que Vissim evalúa a todos los vehículos, desde que entran al nodo, hasta que salen del mismo. De esta manera Vissim nos ofrece los resultados que se muestran en la figura 65.

Cou	SimRu	Timeln	Movement	QLen	QLenMa	Vehs(All)	Pers(All)	LOS(All)	LOSVal(All)	VehDelay(All)	PersDelay(All)	StopDelay(All)	Stops(All)	EmissionsC	EmissionsN	EmissionsVC	Fuel
1	1	0-3600	1: Analisis - 1: Trinidad Morán - E@329.4 - 2: Trinidad Morá	22.52	130.03	11	111	LOS_D	4	33.54	33.54	9.10	4.82	24.249	4.718	5.620	
2	1	0-3600	1: Analisis - 1: Trinidad Morán - E@329.4 - 4: Andrés Belaun	22.52	130.03	491	491	LOS_C	3	19.27	19.27	6.62	1.82	515.641	100.325	119.505	
3	1	0-3600	1: Analisis - 1: Trinidad Morán - E@329.4 - 6: Abelardo Quiñi	22.52	130.03	899	899	LOS_D	4	25.26	25.26	7.78	2.93	1391.516	270.739	322.497	
4	1	0-3600	1: Analisis - 3: Andrés Belaunde - E@484.3 - 2: Trinidad Mor	13.36	111.25	556	556	LOS_C	3	20.69	20.69	7.72	3.78	956.527	186.105	221.684	
5	1	0-3600	1: Analisis - 3: Andrés Belaunde - E@484.3 - 4: Andrés Bela	13.36	111.25	43	43	LOS_C	3	20.99	20.99	6.69	2.35	61.050	11.878	14.149	
6	1	0-3600	1: Analisis - 3: Andrés Belaunde - E@484.3 - 6: Abelardo Qu	13.36	111.25	497	497	LOS_B	2	14.10	14.10	6.01	1.52	448.005	87.166	103.830	
7	1	0-3600	1: Analisis - 5: Abelardo Quiñones - E@297.3 - 2: Trinidad	33.88	145.29	930	930	LOS_C	3	19.23	19.23	4.75	2.07	1067.936	207.782	247.504	
8	1	0-3600	1: Analisis - 5: Abelardo Quiñones - E@297.3 - 4: Andrés Be	33.88	145.29	537	537	LOS_C	3	22.34	22.34	5.55	2.71	775.956	150.973	179.835	
9	1	0-3600	1: Analisis - 5: Abelardo Quiñones - E@297.3 - 6: Abelardo	33.88	145.29	30	30	LOS_D	4	27.99	27.99	6.46	11.47	121.906	23.718	28.253	
1	1	0-3600	1: Analisis	23.25	145.29	3994	3994	LOS_C	3	20.70	20.70	6.39	2.57	5364.787	1043.793	1243.341	

Figura 65. Reporte del escenario actual.
Fuente: Interfaz de Vissim.

Como se puede ver en la tabla 59, los niveles de servicio que proporciona Vissim, para las condiciones actuales varían en la mayoría de los casos entre los niveles “C” y “D”, lo que indica que, si bien los accesos no llegan a presentar congestión severo, el desempeño de estos tampoco es eficiente.

Tabla 59. Reporte del escenario actual.

Origen	Destino	Long. de cola		Volumen vehicular	Demora promedio	Nivel de servicio
		Prom.	Máx.			
Trinidad Moran	TM	22.52	130.03	11	33.54	D
	VAB	22.52	130.03	491	19.27	C
	JAQ	22.52	130.03	899	25.26	D
V. Andrés Belaunde	TM	13.36	111.25	556	20.69	C
	VAB	13.36	111.25	43	20.99	C
	JAQ	13.36	111.25	497	14.10	B
J. Abelardo Quiñones	TM	33.88	145.29	930	19.23	C
	VAB	33.88	145.29	537	22.34	C
	JAQ	33.88	145.29	30	27.99	D
Total				3994	20.70	C

Fuente: Elaboración propia

A través de visitas a campo, visualización de videos y la simulación, se pudo determinar que los congestionamientos se producen principalmente por las siguientes razones:

- La presencia de los semáforos ubicados en las intersecciones Trinidad Moran- Chullo y J. Abelardo Quiñones-Emmel, permiten que los vehículos que provienen de ellos, lleguen hasta la rotonda de forma agrupada; registrándose fuertes volúmenes vehiculares

en periodos de tiempo cortos (que coincide con la fase de cada semáforo); además, al presentar estos dos -semáforos- fases distintas, muchas veces los vehículos agrupados llegan de manera simultánea a la rotonda, y de esto permite que los accesos se saturen.

- Otro aspecto importante a considerar es lo ya mencionado respecto a que los conductores no respetan la regla de “Ceda el Paso”, y la prioridad compartida de los vehículos que acceden a la rotonda y los que circulan por la misma; generando colas dentro de la rotonda, llegando a bloquear los demás accesos.

En cuanto a los niveles de servicio hallados mediante la metodología del HCM 2010, con los valores de campo, los que propone el HCM 2010, y la simulación; podemos ver que existen discrepancias en los tres casos. Como se mencionó anteriormente, la presencia de los semáforos influye en la formación de congestionamiento en los accesos de la rotonda, y este factor es considerado en Vissim, ya que simula el comportamiento de todo el sistema; la metodología del HCM, por el contrario, no considera este factor. Al analizar intervalos de tiempo más pequeños, por ejemplo, la duración de las fases de los semáforos, podríamos ver que la densidad vehicular para esos intervalos sería mucho mayor comparada, proporcionalmente, con las densidades que tenemos para intervalos de 15 min, o para la hora completa; este es un proceso cíclico y variable, ya que durante el tiempo de espera en rojo sucedería lo contrario, pues al estar los vehículos en el semáforo en condición de cola, la densidad en los accesos a la rotonda sería muy baja comparada, proporcionalmente, con las densidades para los intervalos de 15 min. o la hora completa. Por consiguiente, al analizar la rotonda durante los periodos de tiempo que corresponden a la fase (verde), la capacidad se vería superada por la cantidad de vehículos que llegan al acceso, ya que, como se mencionó

anteriormente, estos llegan agrupados, lo que resultaría en niveles de servicio menores a los calculados en la tabla 54, con los datos de campo.

Lo mencionado en el párrafo anterior es un factor importante al momento de analizar la intersección, ya que, dependiendo del momento, se estaría sobreestimando o subestimando la capacidad. En consecuencia, los valores obtenidos en la tabla 54, deben ser tomados como valores referenciales, pero se debe tener en cuenta que estos no nos permiten garantizar que la intersección funcione de manera óptima durante toda la hora.

Respecto a los niveles de servicio hallados con los valores que brinda el HCM, son rangos que se manejan para las ciudades de Estados Unidos, ya que el comportamiento de los conductores de este país dista mucho del comportamiento de países como el Perú, y al estar relacionado este factor con la capacidad, los valores que se obtengan podrían no ser considerados como adecuados; este es un aspecto importante a considerar, ya que para usar esta metodología, se debería usar valores calibrados para las condiciones locales de cada país o ciudad.

Capítulo 5

Propuesta de mejora

Uno de los principales requisitos para que los vehículos, que transitan por la intersección, lo hagan de una manera fluida, es que estos se desplacen ordenadamente; esto genera que los puntos de conflicto se reduzcan, lo que a su vez permite disminuir la posibilidad de formación de congestionamientos vehiculares. Para lograr esta condición es necesario contar con una adecuada señalización, tanto horizontal como vertical, y también aumentar la capacidad de la intersección; esto último se puede lograr, entre otros aspectos, aumentando los carriles de acceso a la rotonda. Una de las alternativas que considera todo lo señalado anteriormente, y que también toma en cuenta el espacio disponible donde se realiza el estudio, es el uso de turborotondas.

Las turborotondas fueron desarrolladas en Holanda (1996), nacieron ante la necesidad de mejorar la capacidad de las rotondas tradicionales; estas tienen características similares a las rotondas, con la diferencia de que presentan un desfase equivalente a un carril en la calzada de circulación, tal como se puede ver en la figura 66.



Figura 66. Configuración de una Turborotonda básica.
Fuente: <http://www.autopista.es>.

El principio de funcionamiento de las turborotondas se basa en que los conductores que se aproximan a la intersección sepan que carril elegir con anticipación, en función al destino que quieran tomar; de esta manera, es el carril quien guía al vehículo hacia su destino. En la figura 67 se puede ver un ejemplo de cómo se reparten los flujos en una turborotonda; si un vehículo desea realizar un giro a la derecha, este deberá tomar el carril externo, por el contrario, si lo que desea es realizar un giro a la izquierda, deberá tomar el carril interno; existen diversas configuraciones¹⁴ que varían en función a la capacidad y número de accesos.

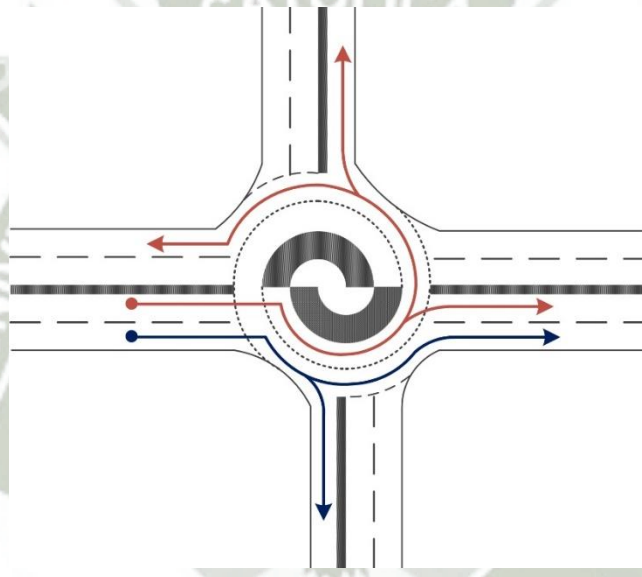


Figura 67. Flujos en una turborotonda
Fuente: Elaboración propia.

Esta manera de repartir los flujos permite aumentar la capacidad de la intersección, ya que se tiene, dependiendo de la configuración de la turborotonda, un carril exclusivo para giros a la derecha, y además se elimina la posibilidad de colisión lateral entre vehículos.

¹⁴ Criterios de diseño, así como diversos tipos de turborotondas pueden consultarse en la guía: Turborotonde En Turboplein: Ontwerp, Capaciteit En Veiligheid.

5.1. Condiciones de diseño

Para el desarrollo de la propuesta se tuvieron en cuenta una serie de condiciones que permitieran que su aplicación fuera viable, estas fueron:

- Mejorar la capacidad de la intersección.
- Mejorar la seguridad en el área de estudio.
- Mejorar la señalización en el área de estudio.
- La propuesta deberá adaptarse al espacio disponible en el área de estudio.
- La propuesta deberá ser la más eficiente, tanto en el aspecto económico como tiempo de ejecución de obra, comparada con otras alternativas.
- Las modificaciones que se hagan en el área de estudio deben tener en cuenta el diseño actual la rotonda, modificando la menor cantidad de espacios posibles y conservando gran parte de la estética del lugar.

5.2. Desarrollo de la propuesta

5.2.1. Diseño.

La guía, Turborotonde En Turboplein: Ontwerp, Capaciteit En Veiligheid, establece requisitos para el diseño de turborotondas, y así garantizar que su funcionamiento sea eficiente; entre los que podemos mencionar, están: el confort en la conducción, esto se logra empleando carriles amplios, sin recurrir a sobre anchos, utilizando elementos separadores de carril y una adecuada señalización horizontal y vertical; la seguridad vial, ya que dentro de la rotonda no se puede utilizar más de dos carriles, para esto se usan separaciones de carril físicos, además de emplear velocidades de operación reducidas y constantes; y las características de la capacidad, que se refieren al aumento de la capacidad de la rotonda mediante el uso de un carril exclusivo

para el giro a la derecha (dependiendo de la configuración de la turborotonda) y uno o varios carriles para los demás giros, y reduciendo o evitando tramos de trenzado en la intersección, y así emplear de mejor manera el carril interior.

Bajo estas consideraciones se procedió con el diseño de la turborotonda; como se mencionó anteriormente, una característica de este tipo de intersecciones es que el carril circular presenta un desfase equivalente al ancho de un carril. En la imagen 68 se puede observar el diseño final de la propuesta, la cual puede consultarse con más detalle en el anexo 4.

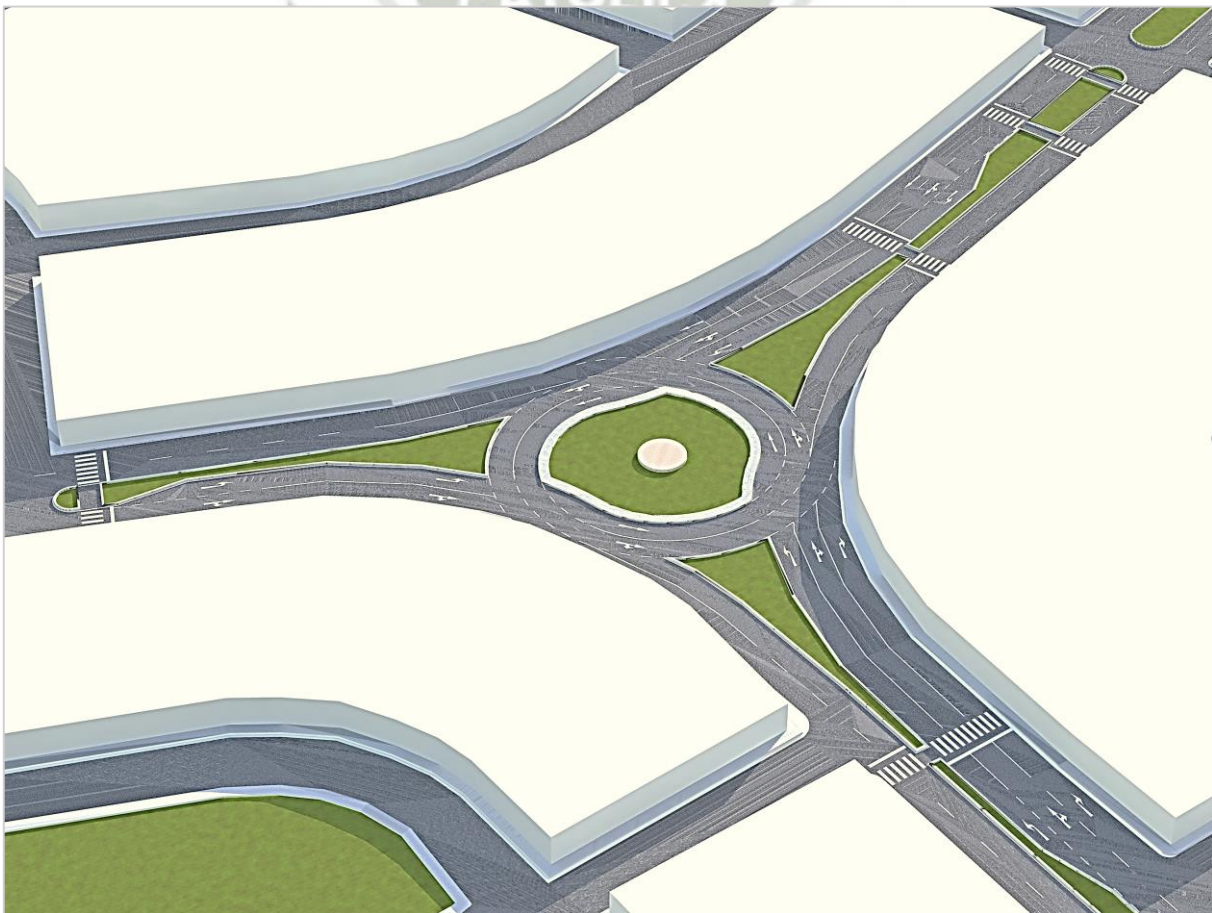


Figura 68. Vista 3D de la Turborotonda propuesta.
Fuente: Elaboración propia.

5.2.2. Análisis.

Para el análisis de la propuesta se tomará en cuenta los siguientes escenarios:

- Considerando los volúmenes vehiculares actuales.
- Considerando los volúmenes vehiculares proyectados 5 años.

Proyección de los volúmenes vehiculares. La proyección que se realizará para nuestra investigación será hasta el año 2022, para ello se hará uso de las siguientes ecuaciones:

$$TF = TA + IT$$

$$TA = TE + TAt$$

$$IT = CNT + TG + TD$$

Donde:

TF = Tránsito futuro.

TA = Tránsito actual.

IT = Incremento del tránsito.

TE = Tránsito existente.

TAt = Tránsito atraído.

CNT = Crecimiento normal del tránsito.

TG = Tránsito generado.

TD = Tránsito desarrollado.

La tabla 60 muestra los valores que se consideraron para el análisis en cada una de las variables, así como una observación y/o justificación respectiva.

Tabla 60. Valores de las variables para el cálculo del tránsito futuro.

Variable	Valor	Observación
TE	-	Corresponde a los volúmenes actuales que fueron hallados
TAt	0	En la zona de estudio, hasta la fecha, no se contempla el desarrollo de proyectos que pudieran atraer nuevos viajes
CNT	%	Hallados mediante proyecciones, en base a datos proporcionados por el INEI
TG	0	En la zona de estudio, hasta la fecha, no se contempla el desarrollo de proyectos que pudieran atraer nuevos viajes
TD	0	En la zona de estudio, hasta la fecha, no se contempla el desarrollo de proyectos que pudieran atraer nuevos viajes

Fuente: Elaboración propia.

Para poder hallar el valor del crecimiento normal del tránsito (CNT), recurriremos a la tabla 61, que muestra el crecimiento del parque automotor en la ciudad de Arequipa.

Tabla 61. Parque vehicular estimado, para Arequipa: 2006-2015

Departamento	2006 ^R	2007 ^R	2008 ^R	2009	2010	2011	2012	2013 ^R	2014	2015 ^{p/}
Arequipa	81,293	84,829	91,674	98,270	106 521	118 985	134 533	149 892	164 302	176 315

Fuente: Superintendencia Nacional de los Registros Públicos (SUNARP)
Elaboración: MTC - OGPP - Oficina de Estadística

Con los datos de la tabla 61 procedemos a realizar un análisis de regresión simple, para poder determinar la tasa de crecimiento por año, los resultados de este análisis son graficados, tal como se muestran en la figura 69, posteriormente proyectados, luego de haber determinado la variación anual, como se puede ver en la tabla 62. Con estos datos se procede a proyectar los volúmenes año por año, desde el año 2017 hasta llegar al año de corte (2022), estos datos se pueden ver de manera resumida en las tablas 63 y 64.

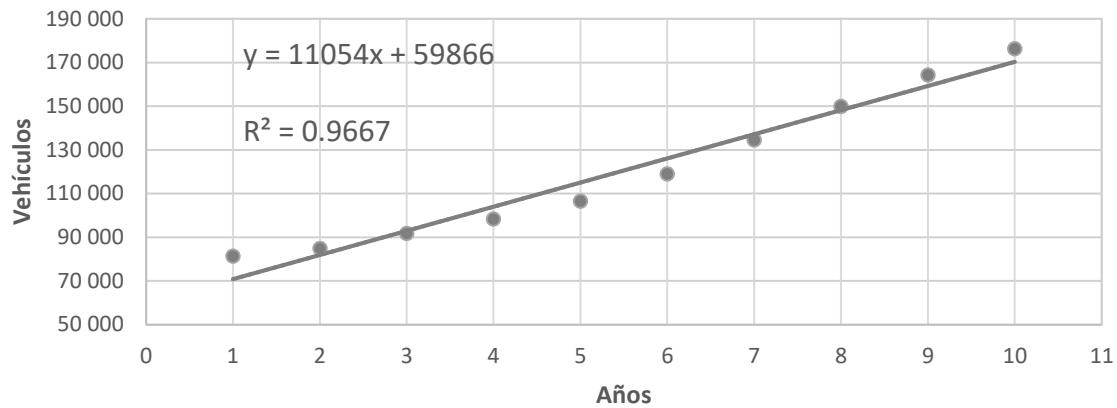


Figura 69. Análisis de regresión lineal del crecimiento del parque automotor en Arequipa.
Fuente: Elaboración propia.

Tabla 62. Proyección de crecimiento del parque automotor en Arequipa.

Año	Vehículos	Variación %	Factor	
1	2006	70920	-	-
2	2007	81974	15.59%	1.16
3	2008	93028	13.48%	1.13
4	2009	104082	11.88%	1.12
5	2010	115136	10.62%	1.11
6	2011	126190	9.60%	1.10
7	2012	137244	8.76%	1.09
8	2013	148298	8.05%	1.08
9	2014	159352	7.45%	1.07
10	2015	170406	6.94%	1.07
11	2016	181460	6.49%	1.06
12	2017	192514	6.09%	1.06
13	2018	203568	5.74%	1.06
14	2019	214622	5.43%	1.05
15	2020	225676	5.15%	1.05
16	2021	236730	4.90%	1.05
17	2022	247784	4.67%	1.05

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 63. Volúmenes vehiculares – año 2017.

Origen	Trinidad Morán			V. Andrés Belaunde			J. Abelardo Quiñones		
	VAB	JAQ	TM	JAQ	TM	VAB	TM	VAB	JAQ
Moto	28	37	0	15	22	0	61	42	3
Auto	330	637	6	376	351	19	706	382	16
Camioneta	101	195	7	100	164	10	169	132	4
Coaster	45	17	0	2	40	0	5	0	0
Bus	2	5	0	5	1	0	2	2	0
Camión	2	12	1	13	6	0	7	4	1
Semitrailer	0	3	0	1	0	0	4	2	0
Trailer	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total	508	906	14	512	584	29	955	564	24

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 64. Volúmenes vehiculares – año 2022.

Origen	Trinidad Morán			V. Andrés Belaunde			J. Abelardo Quiñones		
	VAB	JAQ	TM	JAQ	TM	VAB	TM	VAB	JAQ
Moto	36	48	0	19	28	0	79	54	4
Auto	425	820	8	484	452	24	909	492	21
Camioneta	130	251	9	129	211	13	218	170	5
Coaster	58	22	0	3	51	0	6	0	0
Bus	3	6	0	6	1	0	3	3	0
Camión	3	15	1	17	8	0	9	5	1
Semitrailer	0	4	0	1	0	0	5	3	0
Trailer	0	0	0	0	0	0	1	0	0
Total	655	1166	18	659	751	37	1230	727	31

Fuente: Elaboración propia.

Análisis de escenarios. Con la nueva geometría definida y los datos de volúmenes vehiculares proyectados, procedemos a construir la turborotonda (figura 70), para posteriormente ejecutar la simulación, como se puede ver en la figura 71.

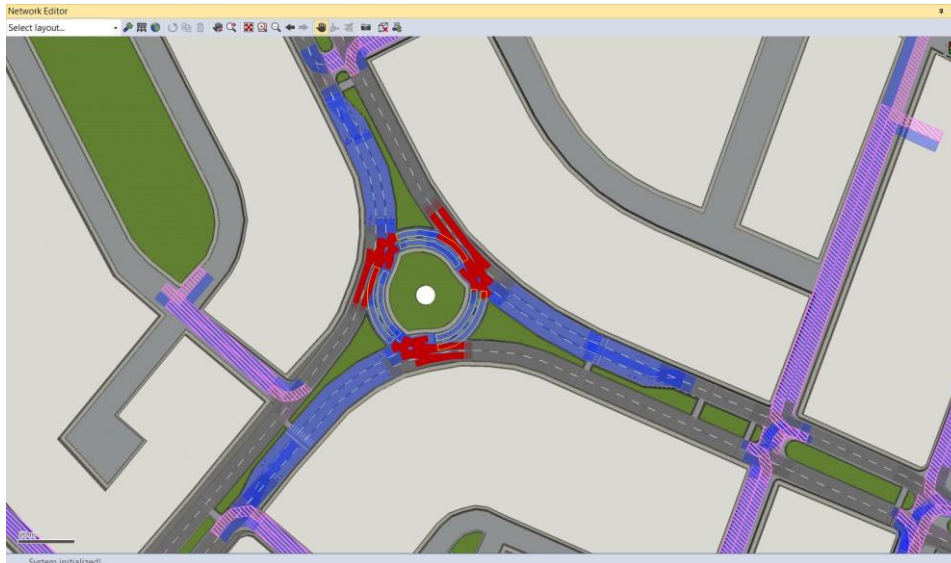


Figura 70. Geometría de la turborotonda.
Fuente: Interfaz Vissim.



Figura 71. Simulación de la turborotonda.
Fuente: Interfaz Vissim.

5.2.3. Resultados.

Para el análisis de la propuesta se tomará en cuenta los siguientes escenarios:

- Escenario propuesto para el año 2017.
- Escenario propuesto para el año 2022.

La tabla 65 muestra los resultados de la simulación del escenario propuesto para el año 2017. Se puede comprobar que los niveles de servicio varían entre los niveles “A” y “B”; obteniendo un comportamiento satisfactorio, ya que se pudieron mejorar los niveles de servicio de manera considerable. Las longitudes de cola promedio, también fueron reducidas hasta en un 96% y las demoras en un 93%. Con estos datos podemos concluir que el modelo propuesto mejora las condiciones de circulación en el Óvalo Quiñones.

Tabla 65. Reporte del escenario propuesto - 2017

Origen	Destino	Long. de cola		Volumen vehicular	Demora promedio	Nivel de servicio
		Prom.	Máx.			
Trinidad Moran	TM	2.06	90.61	11	14.03	B
	VAB	2.06	90.61	493	1.41	A
	JAQ	2.06	90.61	894	11.76	B
V. Andrés Belaunde	TM	0.81	36.94	557	11.56	B
	VAB	0.81	36.94	43	14.20	B
	JAQ	0.81	36.94	501	1.05	A
J. Abelardo Quiñones	TM	1.28	59.04	932	2.63	A
	VAB	1.28	59.04	537	4.96	A
	JAQ	1.28	59.04	30	8.56	A
Total / Promedio				3998	6.08	A

Fuente: Elaboración propia

La tabla 66 muestra los resultados de la simulación, para el escenario propuesto para el año 2022. Se puede comprobar que los niveles de servicio empeoran respecto al modelo propuesto para el año 2017; los mismo ocurre con las longitudes de cola promedio y demoras.

Tabla 66. Reporte del escenario propuesto – 2022 - 1.

Origen	Destino	Long. de cola		Volumen vehicular	Demora promedio	Nivel de servicio
		Prom.	Máx.			
Trinidad Moran	TM	63.43	335.11	16	47.43	E
	VAB	63.43	335.11	631	9.75	A
	JAQ	63.43	335.11	1114	43.26	E
V. Andrés Belaunde	TM	37.37	204.46	699	57.89	F
	VAB	37.37	204.46	48	76.70	F
	JAQ	37.37	204.46	648	7.37	A
J. Abelardo Quiñones	TM	14.85	258.09	1208	7.68	A
	VAB	14.85	258.09	685	30.82	D
	JAQ	14.85	258.09	34	45.18	E
Total / Promedio				5083	26.75	D

Fuente: Elaboración propia

Si bien la intersección no llega a colapsar, esto sería inevitable en pocos años por el constante crecimiento del parque automotor; por lo que se deben analizar alternativas que permitan mitigar esta condición. Dada las condiciones geométricas del lugar, la instalación de una intersección a desnivel resulta poco factible, sumado al costo de la inversión; por lo que lo ideal sería conservar la propuesta planteada, pero disminuyendo los volúmenes vehiculares; una manera de lograr esto sería mediante la restricción vehicular por número de placa.

La restricción vehicular por número de placa es una medida que es usada en diversas ciudades del mundo para prohibir la circulación de vehículos durante periodos de tiempo determinados (principalmente horas pico), y en lugar específicos; esta es una manera de reducir la congestión vehicular y los altos niveles de contaminación¹⁵.

Si bien Arequipa no es una ciudad grande comparada con otras ciudades del continente, la oferta de taxis en Arequipa es más alta que el promedio latinoamericano¹⁶. Es por ello que una medida como esta podría generar grandes beneficios para la ciudad.

Considerando todo lo mencionado anteriormente, se hizo un análisis restringiendo la circulación al 25% de los autos que circularían en el año 2022. La tabla 67 muestra que los niveles de servicio que se obtuvieron mejoran notablemente, lo mismo pasa con las longitudes de cola promedio, disminuyendo hasta en un 95%, y las demoras hasta en un 82%, comparados con los valores obtenidos en la tabla 66.

Además, este tipo de medidas ofrecería muchas ventajas por las siguientes razones:

- Permitiría garantizar que la propuesta planteada (turborotonda) opere de manera eficiente para el año 2022.
- Se evitaría tener que invertir grandes sumas de dinero para la construcción de nueva infraestructura en el lugar; el dinero podría ser invertido en otros proyectos que permitan reducir los tiempos de viaje entre los distintos distritos o mejorar el sistema de transporte público en la ciudad.
- Se reduciría la contaminación en la ciudad.

¹⁵ <http://www.telam.com.ar/notas/201705/188349-alerta-ambiental-chile-santiago-contaminacion-restriccion-vehicular.html>

¹⁶ <http://www.diariosinfronteras.pe/2016/12/11/arequipa-tiene-4-veces-mas-taxis-que-el-promedio-latinoamericano/>

- La población se vería obligada a usar medios de transporte público, como un hipotético sistema integrado de transporte que tanto requiere la ciudad.

Tabla 67. Reporte del escenario propuesto con restricción – 2022 - 2.

Origen	Destino	Long. de cola		Volumen vehicular	Demora promedio	Nivel de servicio
		Prom.	Máx.			
Trinidad Moran	TM	4.63	107.91	14	31.62	D
	VAB	4.63	107.91	555	1.97	A
	JAQ	4.63	107.91	969	15.70	C
V. Andrés Belaunde	TM	1.78	44.73	621	16.80	C
	VAB	1.78	44.73	44	20.43	C
	JAQ	1.78	44.73	530	1.33	A
J. Abelardo Quiñones	TM	1.81	51.28	987	3.63	A
	VAB	1.81	51.28	590	6.86	A
	JAQ	1.81	51.28	32	18.57	C
Total / Promedio				4342	8.52	A

Fuente: Elaboración propia

Conclusiones

- Los estudios de tránsito permitieron identificar dos características importantes del flujo vehicular; la primera es que en la intersección, al no contar con una señalización adecuada, la regla de *Ceda el Paso* no se cumple; por el contrario, los vehículos que tienen prioridad, muchas veces son los que acceden a la rotonda, quedando como flujo secundario los vehículos que transitan por la calzada de circulación, esto origina que las colas se formen dentro de la rotonda, llegando muchas veces hasta los demás accesos, bloqueándolos y permitiendo que se formen congestiones vehiculares; y la segunda, está referida a los valores de las brechas halladas (2.561 s para Trinidad Morán, 2.621 s para Víctor Andrés Belaunde y 2.334 s para José Abelardo Quiñones), se pudo corroborar lo observado en campo, en relación a que el comportamiento de los conductores es muy agresivo comparado con, por ejemplo, países como Estados Unidos (4.29 s para el carril izquierdo y 4.11 s para el carril derecho); si bien no se observó incidentes graves durante el desarrollo de la investigación, este tipo de comportamientos aumenta la posibilidad de ocurrencia de accidentes vehiculares.
- La capacidad y los niveles de servicio hallados en el análisis operacional varían dependiendo de los valores de intervalos que se adopte; se comprueba que al usar los valores propuestos por el HCM 2010, se obtienen niveles de servicio “F”, que indica que los accesos funcionan de una manera ineficiente, y deberían llegar a la congestión en todos los accesos; sin embargo, al utilizar los valores hallados en campo, se obtiene niveles de servicio satisfactorios, que varían entre los niveles de servicio “A” y “B” en

cada acceso, dependiendo del carril. Esta gran diferencia indica la importancia de contar con datos calibrados de acuerdo al lugar donde se realice el estudio, ya que cuando se emplean modelos desarrollados en otros países, los resultados obtenidos podrían no ser satisfactorios, lo que repercutiría en un mal diseño de las vías y/o intersecciones.

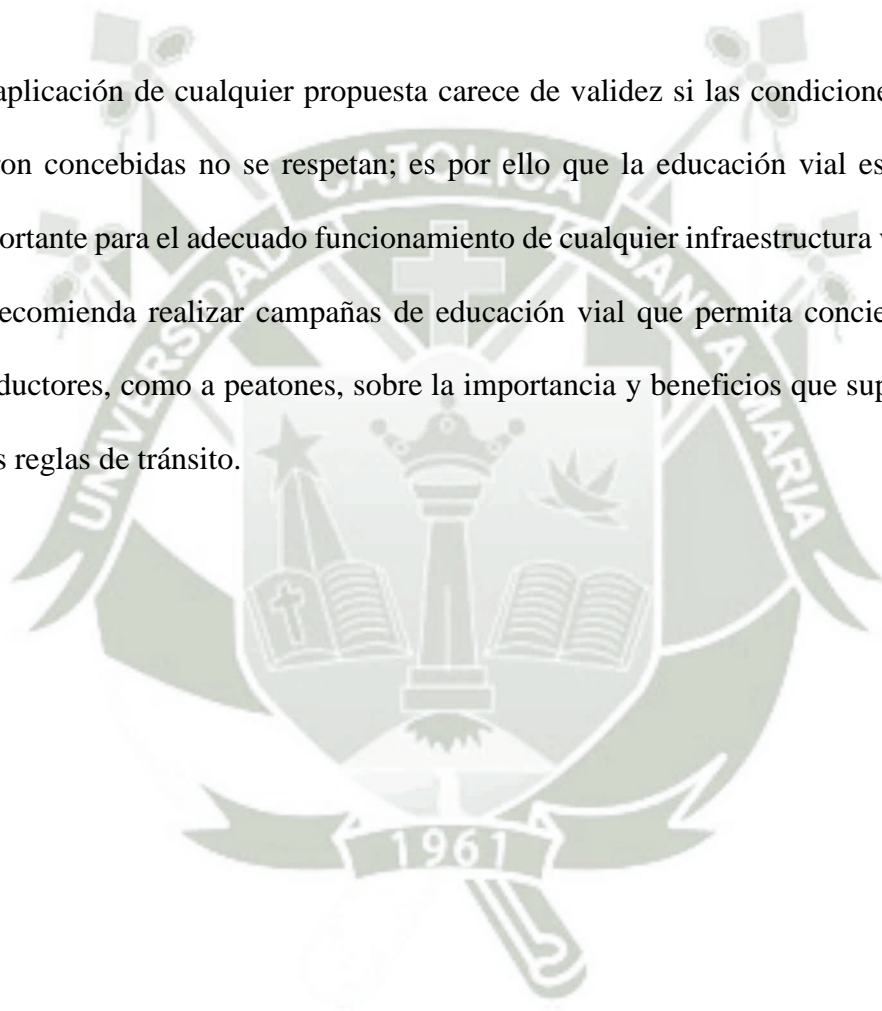
- La microsimulación nos permitió entender la influencia que tienen los semáforos próximos a la rotonda, en el proceso de formación de congestiones; así mismo, los niveles de servicio obtenidos varían entre los niveles “C” y “D”, que indica que la rotonda está en los límites de lo que se podría considerar como un funcionamiento eficiente; la probabilidad de que esta colapse en los próximos años es muy alta.
- La Turborotonda planteada, como propuesta de solución, pudo mejorar las condiciones de circulación de los vehículos en la intersección, obteniendo niveles de servicio óptimos en los accesos (NDS “A”); reduciendo las longitudes de cola promedio hasta en un 96% y las demoras hasta en un 93%; además de ofrecer diversas ventajas, como: operacional, porque ofrece capacidades mayores que una rotonda convencional; económica (ver Anexo 03), ya que requiere una inversión mucho menor, si se compara con un bypass, por ejemplo; estética, ya que al adaptarse a la geometría del lugar, conserva gran parte del paisajismo existente; y porque mejora los niveles de seguridad, ya que se elimina los conflictos dentro de la turborotonda; sin embargo, su implementación requiere que los conductores se familiaricen con este tipo de intersecciones y conozcan las reglas por las que se rige, de esta manera se garantiza que su funcionamiento sea adecuado.

- La simulación hecha para el año 2022 muestra que el crecimiento del parque automotor haría que para este año la propuesta no opere de manera correcta, obteniendo niveles de servicio bajos; sin embargo, al adoptar la medida de restricción vehicular por número de placa, se puede lograr resultados satisfactorios; reduciendo en un 25% la cantidad de autos que circularían por la intersección en el año 2022, en horas pico, se logra que la turborotonda opere una manera mucho mejor, con niveles de servicio que van desde el nivel “A”, hasta el nivel “C”, en el peor de los casos. Además, se debe considerar las ventajas que supone esta medida, como, por ejemplo, una reducción de la contaminación, entre otras.
- Finalmente, se concluye que el uso de micro simuladores resulta adecuado para el estudio del funcionamiento del tránsito, sobre todo por la ventaja que supone el poder experimentar con diferentes propuestas sin que se tenga que intervenir físicamente en el área de estudio. Sin embargo, su construcción requiere la recopilación de una gran cantidad de datos, lo que involucra un mayor tiempo de análisis; además se debe considerar que para que estos modelos recreen el comportamiento de un sistema, necesitan ser calibrados correctamente; lo que requiere que el diseñador posea una base teórica sólida, ya que una mala introducción de parámetros o interpretación de resultados podría llevar a falsas predicciones, y, por consiguiente, un mal diseño.

Recomendaciones

- Los taxis son el tipo de unidad que más transita en la ciudad, se prevé que ellos sigan en aumento, y, por ende, sigan representando un gran problema para la ciudad, generando caos vehicular; por lo que se recomienda la realización de investigaciones a fin de determinar el impacto que tiene y tendrá este medio de transporte en las principales intersecciones y vías de la ciudad, y determinar cómo influiría la aplicación de una medida de restricción vehicular por número de placa, aplicada a los taxis en la ciudad de Arequipa.
- En lo que respecta al uso de las ecuaciones propuestas por el HCM 2010, para el cálculo de la capacidad y niveles de servicio, se recomienda realizar investigaciones que permitan calibrar los valores del intervalo crítico e intervalo de seguimiento para las condiciones locales, en base al análisis de varias rotondas en la ciudad; esto permitiría garantizar que los resultados obtenidos, mediante el uso de esta metodología, sean correctos.
- El incremento del parque automotor que percibe la ciudad de Arequipa cada año llevará inevitablemente al colapso de algunas avenidas e intersecciones; por lo que se recomienda realizar estudios, a nivel macroscópico, que permitan que los vehículos, procedentes de los diversos distritos de la ciudad, puedan movilizarse de una manera más eficiente.

- El uso de simuladores, para el desarrollo de proyectos, es recomendable, debido a que permiten entender el comportamiento de un sistema de manera más profunda, de esta manera se garantiza que las propuestas planteadas tengan un correcto funcionamiento; por lo que se recomienda incluir en las universidades, la enseñanza de este tipo de software.
- La aplicación de cualquier propuesta carece de validez si las condiciones bajo las que fueron concebidas no se respetan; es por ello que la educación vial es el factor más importante para el adecuado funcionamiento de cualquier infraestructura vial; por lo que se recomienda realizar campañas de educación vial que permita concientizar, tanto a conductores, como a peatones, sobre la importancia y beneficios que supone el respeto a las reglas de tránsito.



Bibliografía

- Bañón, L., Beviá, J. (2000). Manual de Carreteras. Alicante: Ortiz e Hijos, Contrastista de Obras, S.A., 2000. Vol. 1. ISBN 84-607-0267-7.
- Borgato, S. (2013). II Comportamento Di Gap-Acceptance In Intersezioni A Rotatoria. Simulazioni In Ambiente Virtuale. Universita degli studi pi padova. Italia
- Bulla, L. (2010). Metodología Para La Evaluación Técnica Y Operativa De Turboglorietas Como Alternativa De Intersección Vial En El Ámbito Urbano. Universidad Nacional De Colombia, Colombia.
- Cal, R., Mayor, R., Cárdenas, J. (2007). Ingeniería de Tránsito, Fundamentos y Aplicaciones. (8° Ed.). México: Alfaomega
- Chavez, V. (Setiembre de 2005). Manual De Diseño Geométrico De Vías Urbanas – 2005 - VCHI. Simposio llevado a cabo en el IV Congreso Obras de Infraestructura Vial, Lima, Perú.
- Fortuijn, L. (2012). Turborotonde En Turboplein: Ontwerp, Capaciteit En Veiligheid. Recuperado de <http://www.turbotrafficsolutions.nl/index.html>
- Fortuijn, L. (2012). Turbo Roundabouts: Design Principles and Safety Performance. Recuperado de <http://www.cedr.fr/>
- Fortuijn, L. (2012). Bijlagen bij Turborotonde en turboplein: ontwerp, capaciteit en veiligheid. Recuperado de <http://www.turbotrafficsolutions.nl/index.html>
- Guzmán, J. (2015). Rediseño del Óvalo de Naranjal. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- Instituto Municipal de Planeamiento (2016). Plan de Desarrollo Metropolitano de Arequipa 2016 – 2025. Arequipa
- Junior Flores, G., Depiante, V. y Galarraga, J. (2013). Calibración Del Modelo De Capacidad De Rotondas Del Hcm2010 A Condiciones Locales: Caso Córdoba, Argentina. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina.
- Martín, M. (2011). Estudio Y Mejora De La Capacidad Y Funcionalidad De Glorietas Con Flujos De Tráfico Descompensados Mediante Microsimulación De Trafico. Aplicación A La Intersección De La CV-500 Con La CV-401, El Saler (T.M. Valencia). Universidad Politécnica de Valencia, España.
- Ministerio De Transportes Y Comunicaciones. (2016). Manual de Dispositivos de Control de Tránsito Automotor en Calles y Carreteras. Perú.

- Ministerio De Vivienda, Construcción Y Saneamiento. (2006). Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú
- Ministerio de transportes y comunicaciones (2013). Manual de Carreteras, Diseño Geométrico DG-2013. Perú
- Mohan. M., Chandra, S. (2016). Review and assessment of techniques for estimating critical gap at two-way stop-controlled intersections. Recuperado de <http://www.istiee.org/>
- National Cooperative highway Reseach Program (2010). NCHRP Report 672, Roundabouts: An Informational Guide (2° Ed.). Recuperado de <http://www.trb.org/Main/Home.aspx>
- Pimentel A. (2013). Comparison Of Procedures To Estimate Critical Headways At Roundabouts. University Of Coimbra. Portugal
- PTV Group. (2017). PTV Vissim 10 User Manual. Recuperado de www.ptvgroup.com
- The Federal Highway Administration (2004). Traffic Analysis Toolbox Volume III: Guidelines For Applying Traffic Microsimulation Modeling Software. Recuperado de <https://www.fhwa.dot.gov/>
- Transportation Research Board (2010) HCM 2010, Highway Capacity Manual. EEUU.
- Torres, A. (2015). Análisis Y Comparación De Criterios De Diseño Geométrico En Las Rotondas Modernas. Universidad de Piura, Perú.
- VicRoads (2011). VicRoads Supplement to the Austroads Guide to Road Design Part 4B – Roundabouts. Recuperado de <https://www.vicroads.vic.gov.au/>
- Villalba, L. (2015). Análisis De La Interconexión Vial Del Ovalo Sector Cayma Del Puente Chilina En La Provincia De Arequipa. Universidad Católica de Santa María, Perú.

Anexos

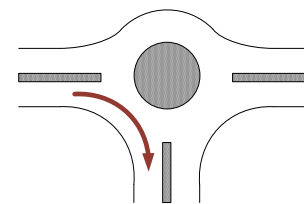




Aforo: 01 - Viernes - TM-VAB

Origen: Trinidad Morán

Destino: Víctor Andrés Belaunde

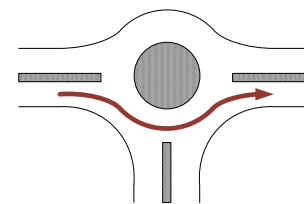


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	2	26	44	12	11	1	0	0	0	96	111
07:15 – 07:30	1	50	56	19	11	0	0	0	0	137	152
07:30 – 07:45	3	43	43	27	10	0	0	0	0	126	141
07:45 – 08:00	6	26	45	28	12	5	1	0	0	123	149
08:00 – 08:15	4	31	43	19	11	1	0	0	0	109	124
08:15 – 08:30	6	17	58	14	14	0	1	0	0	110	125
08:30 – 08:45	2	18	37	19	15	0	2	0	0	93	114
08:45 – 09:00	3	15	42	21	12	0	1	0	0	94	111
12:00 – 12:15	6	21	53	24	11	0	2	0	0	117	133
12:15 – 12:30	6	34	55	23	16	0	1	0	0	135	154
12:30 – 12:45	5	10	39	25	7	0	1	0	0	87	98
12:45 – 01:00	5	31	49	28	12	1	0	0	0	126	144
01:00 – 01:15	10	18	52	25	9	0	1	0	0	115	125
01:15 – 01:30	11	32	54	20	13	0	0	0	0	130	141
01:30 – 01:45	2	40	54	28	11	1	1	0	0	137	157
01:45 – 02:00	7	25	40	29	9	3	0	0	0	113	131
06:00 – 06:15	2	37	48	23	9	2	2	0	0	123	143
06:15 – 06:30	3	35	26	12	12	0	0	0	0	88	101
06:30 – 06:45	5	26	33	9	8	0	1	0	0	82	90
06:45 – 07:00	5	19	40	18	10	0	0	0	0	92	103
07:00 – 07:15	4	10	29	21	5	0	1	0	0	70	79
07:15 – 07:30	4	12	35	14	7	0	0	0	0	72	80
07:30 – 07:45	3	29	49	23	9	0	1	0	0	114	128
07:45 – 08:00	9	29	29	19	10	0	0	0	0	96	105
Total	114	634	1053	500	254	14	16	0	0	2585	2940

Aforo: 02 - Viernes - TM-JAQ

Origen: Trinidad Morán

Destino: José Abelardo Quiñones

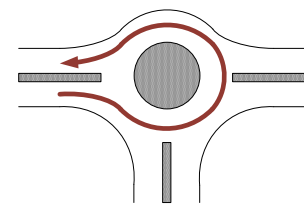


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	10	73	94	65	3	0	1	1	0	247	264
07:15 – 07:30	3	55	62	67	4	2	0	1	0	194	219
07:30 – 07:45	9	43	112	53	2	1	2	0	0	222	236
07:45 – 08:00	11	72	78	50	2	-2	1	0	0	212	217
08:00 – 08:15	7	59	66	29	5	0	1	0	0	167	176
08:15 – 08:30	8	64	101	27	6	0	2	1	0	209	222
08:30 – 08:45	14	65	124	138	3	0	3	1	0	348	383
08:45 – 09:00	11	55	118	50	6	0	4	2	0	246	268
12:00 – 12:15	12	60	108	41	4	1	0	1	0	227	238
12:15 – 12:30	8	36	117	51	0	0	3	0	0	215	227
12:30 – 12:45	8	71	135	48	10	0	0	0	0	272	289
12:45 – 01:00	10	58	112	56	2	2	5	2	0	247	273
01:00 – 01:15	15	56	94	50	4	1	2	1	0	223	237
01:15 – 01:30	2	46	117	49	6	1	4	0	0	225	250
01:30 – 01:45	10	53	101	40	5	1	1	0	0	211	223
01:45 – 02:00	12	52	81	49	4	0	5	0	0	203	219
06:00 – 06:15	15	33	85	38	6	5	2	0	0	184	202
06:15 – 06:30	15	48	93	55	7	2	2	0	0	222	240
06:30 – 06:45	10	66	74	33	-5	12	1	0	0	191	213
06:45 – 07:00	6	40	70	32	-6	14	2	0	0	158	187
07:00 – 07:15	6	41	39	17	5	1	-1	0	0	108	114
07:15 – 07:30	9	72	83	40	3	1	2	0	0	210	222
07:30 – 07:45	6	43	51	24	6	1	3	0	0	134	148
07:45 – 08:00	5	55	66	30	6	6	0	2	0	170	197
Total	222	1316	2181	1132	88	49	45	12	0	5045	5463

Aforo: 03 - Viernes - TM-TM

Origen: Trinidad Morán

Destino: Trinidad Morán

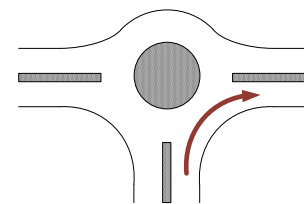


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	0	0	3	0	0	0	0	0	0	3	3
07:15 – 07:30	0	1	4	0	0	0	0	0	0	5	5
07:30 – 07:45	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
07:45 – 08:00	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
08:00 – 08:15	0	1	3	1	0	0	0	0	0	5	5
08:15 – 08:30	0	0	1	3	0	0	0	0	0	4	5
08:30 – 08:45	0	1	3	1	0	0	0	0	0	5	5
08:45 – 09:00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
12:00 – 12:15	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2
12:15 – 12:30	1	0	0	2	0	0	0	0	0	3	3
12:30 – 12:45	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	1
12:45 – 01:00	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	4
01:00 – 01:15	0	0	1	0	0	0	1	0	0	2	4
01:15 – 01:30	0	1	1	4	0	0	0	0	0	6	7
01:30 – 01:45	0	1	1	1	0	0	0	0	0	3	3
01:45 – 02:00	2	0	1	2	0	0	0	0	0	5	4
06:00 – 06:15	0	2	1	0	0	0	1	1	0	5	9
06:15 – 06:30	1	1	0	2	0	0	0	0	0	4	4
06:30 – 06:45	0	0	2	1	0	0	0	0	0	3	3
06:45 – 07:00	0	1	1	2	0	0	0	0	0	4	5
07:00 – 07:15	0	1	0	2	0	0	0	0	0	3	4
07:15 – 07:30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
07:30 – 07:45	1	1	0	0	0	0	0	0	0	2	1
07:45 – 08:00	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2
Total	6	14	27	25	0	0	2	1	0	75	83

Aforo: 04 - Viernes - VAB-JAQ

Origen: Víctor Andrés Belaunde

Destino: José Abelardo Quiñones

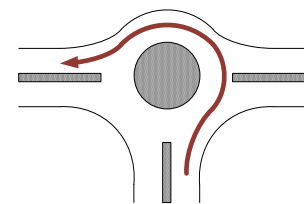


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	1	44	68	22	0	0	4	1	0	140	153
07:15 – 07:30	5	42	62	38	5	2	0	0	0	154	169
07:30 – 07:45	8	43	75	27	6	0	1	0	0	160	169
07:45 – 08:00	8	59	71	25	5	0	2	0	0	170	179
08:00 – 08:15	7	36	76	32	3	0	4	1	0	159	174
08:15 – 08:30	12	43	83	29	1	0	3	0	0	171	176
08:30 – 08:45	6	39	63	19	0	0	4	0	0	131	138
08:45 – 09:00	5	36	66	20	0	0	3	0	0	130	136
12:00 – 12:15	4	36	69	27	0	1	4	0	0	141	153
12:15 – 12:30	5	28	64	18	0	1	4	0	0	120	129
12:30 – 12:45	8	38	52	19	0	1	5	1	0	124	135
12:45 – 01:00	3	33	60	24	0	1	5	0	0	126	139
01:00 – 01:15	1	35	59	23	0	4	2	0	0	124	140
01:15 – 01:30	6	31	62	24	1	0	3	0	0	127	134
01:30 – 01:45	5	42	54	29	1	0	3	1	0	135	147
01:45 – 02:00	8	35	48	29	0	1	1	0	1	123	133
06:00 – 06:15	6	30	65	22	0	1	1	0	0	125	130
06:15 – 06:30	9	33	56	16	0	0	0	1	0	115	115
06:30 – 06:45	6	40	43	22	2	1	1	1	0	116	125
06:45 – 07:00	7	34	48	20	0	0	1	0	0	110	112
07:00 – 07:15	5	43	32	16	0	1	2	0	0	99	105
07:15 – 07:30	7	37	47	25	0	1	0	1	0	118	124
07:30 – 07:45	6	29	34	22	0	3	1	0	0	95	104
07:45 – 08:00	3	44	33	23	0	1	2	0	0	106	115
Total	141	910	1390	571	24	19	56	7	1	3119	3335

Aforo: 05 - Viernes - VAB-TM

Origen: Víctor Andrés Belaunde

Destino: Trinidad Morán

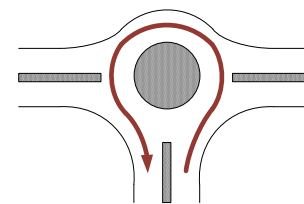


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	2	34	58	17	11	0	0	0	0	122	136
07:15 – 07:30	5	39	47	27	11	0	3	0	0	132	151
07:30 – 07:45	5	33	28	25	11	0	1	0	0	103	118
07:45 – 08:00	5	40	38	36	12	0	0	0	0	131	149
08:00 – 08:15	1	31	62	29	15	0	1	0	0	139	162
08:15 – 08:30	4	33	54	34	12	1	1	1	0	140	164
08:30 – 08:45	7	42	62	29	11	0	0	0	0	151	165
08:45 – 09:00	3	33	52	18	10	0	1	0	0	117	131
12:00 – 12:15	3	34	60	33	10	0	1	0	0	141	159
12:15 – 12:30	4	30	42	31	8	0	0	0	0	115	128
12:30 – 12:45	9	28	41	35	10	0	2	0	0	125	141
12:45 – 01:00	4	35	52	35	10	0	0	0	0	136	152
01:00 – 01:15	7	27	45	43	10	1	1	0	0	134	154
01:15 – 01:30	7	37	60	46	10	0	4	0	0	164	187
01:30 – 01:45	4	40	55	40	10	0	1	0	0	150	169
01:45 – 02:00	11	27	56	28	8	1	0	0	0	131	141
06:00 – 06:15	5	34	54	43	9	1	1	0	0	147	167
06:15 – 06:30	5	37	55	37	14	0	0	0	0	148	168
06:30 – 06:45	3	25	20	26	8	1	0	0	0	83	97
06:45 – 07:00	1	25	28	24	12	1	1	0	0	92	113
07:00 – 07:15	2	27	14	14	9	1	0	0	0	67	80
07:15 – 07:30	4	29	33	20	10	0	0	0	0	96	108
07:30 – 07:45	4	21	24	15	6	0	1	0	0	71	80
07:45 – 08:00	2	48	32	24	11	0	0	0	0	117	133
Total	107	789	1072	709	248	7	19	1	0	2952	3351

Aforo: 06 - Viernes - VAB-VAB

Origen: Víctor Andrés Belaunde

Destino: Víctor Andrés Belaunde

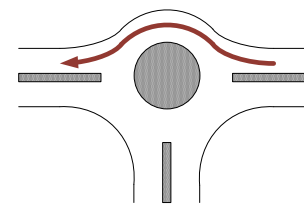


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	0	2	1	1	0	0	0	0	0	4	4
07:15 – 07:30	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	4
07:30 – 07:45	0	1	3	2	0	0	0	0	0	6	7
07:45 – 08:00	0	2	4	0	0	0	0	0	0	6	6
08:00 – 08:15	0	0	1	2	0	0	0	0	0	3	4
08:15 – 08:30	0	2	5	5	0	0	0	0	0	12	13
08:30 – 08:45	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
08:45 – 09:00	0	1	3	2	0	0	0	0	0	6	7
12:00 – 12:15	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3
12:15 – 12:30	0	4	0	2	0	0	0	0	0	6	7
12:30 – 12:45	1	1	1	3	0	0	0	0	0	6	6
12:45 – 01:00	0	4	1	0	0	0	0	0	0	5	5
01:00 – 01:15	0	1	6	2	0	0	0	0	0	9	10
01:15 – 01:30	0	1	2	4	0	0	0	0	0	7	8
01:30 – 01:45	0	3	1	4	0	0	0	0	0	8	9
01:45 – 02:00	1	2	3	1	0	0	0	0	0	7	7
06:00 – 06:15	1	1	3	3	0	0	0	0	0	8	8
06:15 – 06:30	0	5	4	3	0	0	0	0	0	12	13
06:30 – 06:45	0	4	4	1	0	0	0	0	0	9	9
06:45 – 07:00	0	3	3	1	0	0	0	0	0	7	7
07:00 – 07:15	0	3	4	3	0	0	1	0	0	11	13
07:15 – 07:30	0	1	2	1	0	0	0	0	0	4	4
07:30 – 07:45	0	0	0	2	0	0	0	0	0	2	3
07:45 – 08:00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
Total	3	44	54	45	0	0	1	0	0	147	158

Aforo: 07 - Viernes - JAQ-TM

Origen: José Abelardo Quiñones

Destino: Trinidad Morán

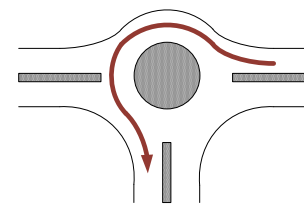


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	11	76	104	52	1	2	2	0	0	248	262
07:15 – 07:30	13	79	95	53	0	3	4	0	0	247	264
07:30 – 07:45	11	72	90	54	1	0	7	0	0	235	253
07:45 – 08:00	22	69	55	45	0	1	5	1	0	198	207
08:00 – 08:15	6	71	92	42	0	0	8	0	0	219	237
08:15 – 08:30	20	45	88	33	0	0	1	0	0	187	183
08:30 – 08:45	18	48	88	36	1	1	5	1	0	198	208
08:45 – 09:00	10	58	97	43	0	0	2	0	0	210	217
12:00 – 12:15	10	67	94	43	0	1	3	0	0	218	229
12:15 – 12:30	16	55	93	40	0	0	1	2	0	207	213
12:30 – 12:45	13	61	133	49	1	0	2	1	0	260	270
12:45 – 01:00	14	77	123	39	2	0	2	2	0	259	269
01:00 – 01:15	6	70	108	41	2	0	4	0	0	231	245
01:15 – 01:30	24	36	106	36	0	2	1	2	1	208	216
01:30 – 01:45	17	63	123	53	1	0	0	0	0	257	260
01:45 – 02:00	11	57	111	58	2	0	0	0	0	239	248
06:00 – 06:15	18	52	99	40	0	0	1	3	0	213	220
06:15 – 06:30	19	60	82	27	1	1	0	2	0	192	194
06:30 – 06:45	13	56	69	20	0	0	1	1	0	160	160
06:45 – 07:00	8	37	53	24	0	2	0	1	0	125	132
07:00 – 07:15	8	40	44	21	0	1	0	1	0	115	119
07:15 – 07:30	14	64	62	31	1	0	3	0	0	175	179
07:30 – 07:45	19	71	67	42	1	0	1	0	0	201	201
07:45 – 08:00	22	56	114	35	0	0	0	3	0	230	232
Total	343	1440	2190	957	14	14	53	20	1	5032	5217

Aforo: 08 - Viernes - JAQ-VAB

Origen: José Abelardo Quiñones

Destino: Víctor Andrés Belaunde

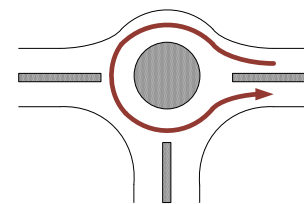


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	3	42	35	22	0	1	1	1	0	105	114
07:15 – 07:30	5	42	44	19	0	2	0	0	0	112	117
07:30 – 07:45	4	58	46	46	0	0	1	0	0	155	165
07:45 – 08:00	4	65	69	34	0	1	1	0	0	174	183
08:00 – 08:15	2	38	51	24	0	0	2	0	0	117	125
08:15 – 08:30	7	23	45	25	0	0	1	0	0	101	104
08:30 – 08:45	4	35	58	26	0	0	0	1	0	124	130
08:45 – 09:00	7	27	31	23	0	0	2	0	0	90	94
12:00 – 12:15	11	19	41	20	0	0	1	1	0	93	95
12:15 – 12:30	5	24	38	23	0	0	3	2	0	95	107
12:30 – 12:45	9	36	45	33	0	0	1	0	0	124	128
12:45 – 01:00	8	35	54	32	0	0	1	0	0	130	134
01:00 – 01:15	15	41	55	29	0	0	1	2	0	143	147
01:15 – 01:30	18	53	48	35	0	2	0	0	0	156	157
01:30 – 01:45	1	50	46	36	0	0	2	0	0	135	146
01:45 – 02:00	5	37	57	28	0	2	1	1	0	131	143
06:00 – 06:15	1	39	49	23	0	0	2	0	0	114	122
06:15 – 06:30	1	33	50	24	0	0	2	1	0	111	122
06:30 – 06:45	6	37	36	40	0	1	0	1	0	121	131
06:45 – 07:00	6	20	24	13	0	0	2	0	0	65	67
07:00 – 07:15	7	30	33	10	0	2	2	0	0	84	89
07:15 – 07:30	3	42	42	32	2	1	0	0	0	122	132
07:30 – 07:45	3	39	40	22	0	0	1	1	0	106	113
07:45 – 08:00	5	32	16	16	0	0	0	0	0	69	70
Total	140	897	1053	635	2	12	27	11	0	2777	2936

Aforo: 09 - Viernes - JAQ-JAQ

Origen: José Abelardo Quiñones

Destino: José Abelardo Quiñones

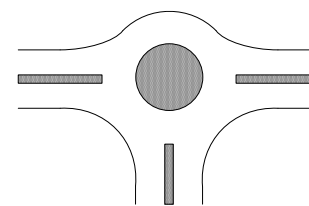


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	0	1	3	0	0	0	0	0	0	4	4
07:15 – 07:30	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2
07:30 – 07:45	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2
07:45 – 08:00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
08:00 – 08:15	0	0	2	0	0	0	0	0	0	2	2
08:15 – 08:30	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	3
08:30 – 08:45	0	2	2	0	0	0	0	0	0	4	4
08:45 – 09:00	0	0	1	1	0	0	0	0	0	2	2
12:00 – 12:15	1	1	2	1	0	0	0	0	0	5	5
12:15 – 12:30	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
12:30 – 12:45	0	1	2	0	0	0	0	0	0	3	3
12:45 – 01:00	0	3	1	0	0	0	0	0	0	4	4
01:00 – 01:15	1	4	0	1	0	0	0	0	0	6	6
01:15 – 01:30	0	1	2	2	0	0	1	0	0	6	8
01:30 – 01:45	2	1	4	1	0	0	0	0	0	8	7
01:45 – 02:00	0	1	0	1	0	0	0	0	0	2	2
06:00 – 06:15	0	2	1	2	0	0	0	0	0	5	6
06:15 – 06:30	0	2	3	1	0	0	0	0	0	6	6
06:30 – 06:45	0	1	1	0	0	0	0	0	0	2	2
06:45 – 07:00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1	1
07:00 – 07:15	0	1	0	2	0	0	0	0	0	3	4
07:15 – 07:30	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
07:30 – 07:45	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
07:45 – 08:00	0	2	1	0	0	0	0	0	0	3	3
Total	4	26	33	14	0	0	1	0	0	78	80

Aforo: 10 - Viernes - Total

Origen: TM, VAB, JAQ

Destino: TM, VAB, JAQ

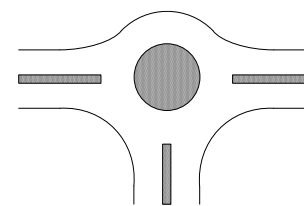


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	29	298	410	191	26	4	8	3	0	969	1051
07:15 – 07:30	32	311	373	223	31	9	7	1	0	987	1083
07:30 – 07:45	41	293	399	234	30	1	12	0	0	1010	1091
07:45 – 08:00	56	334	361	219	31	5	10	1	0	1017	1093
08:00 – 08:15	27	267	396	178	34	1	16	1	0	920	1009
08:15 – 08:30	57	228	437	170	33	1	9	2	0	937	995
08:30 – 08:45	51	251	437	269	30	1	14	3	0	1056	1150
08:45 – 09:00	39	225	411	178	28	0	13	2	0	896	967
12:00 – 12:15	47	238	428	192	25	3	11	2	0	946	1015
12:15 – 12:30	45	212	409	191	24	1	12	4	0	898	970
12:30 – 12:45	53	247	448	212	28	1	11	2	0	1002	1071
12:45 – 01:00	44	276	453	216	26	4	13	4	0	1036	1124
01:00 – 01:15	55	252	420	214	25	6	12	3	0	987	1066
01:15 – 01:30	68	238	452	220	30	5	13	2	1	1029	1107
01:30 – 01:45	41	293	439	232	28	2	8	1	0	1044	1121
01:45 – 02:00	57	236	397	225	23	7	7	1	1	954	1027
06:00 – 06:15	48	230	405	194	24	9	10	4	0	924	1007
06:15 – 06:30	53	254	369	177	34	3	4	4	0	898	963
06:30 – 06:45	43	255	282	152	13	15	4	3	0	767	833
06:45 – 07:00	33	179	267	135	16	17	6	1	0	654	727
07:00 – 07:15	32	196	195	106	19	6	5	1	0	560	606
07:15 – 07:30	41	257	306	163	23	3	5	1	0	799	851
07:30 – 07:45	42	233	266	150	22	4	8	1	0	726	780
07:45 – 08:00	46	267	293	147	27	7	2	5	0	794	856
Total	1080	6070	9053	4588	630	115	220	52	2	21810	23562

Aforo: 11 - Sábado - Total

Origen: TM, VAB, JAQ

Destino: TM, VAB, JAQ

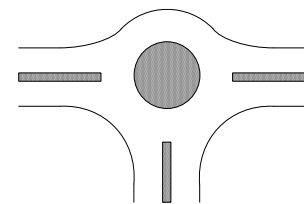


Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	46	201	374	157	26	4	11	3	0	822	888
07:15 – 07:30	43	251	489	107	29	5	13	0	0	937	993
07:30 – 07:45	31	233	386	122	28	2	14	8	0	824	907
07:45 – 08:00	53	241	396	120	31	4	9	3	0	857	911
08:00 – 08:15	57	224	423	194	29	5	22	3	0	957	1047
08:15 – 08:30	39	193	387	132	22	3	21	3	0	800	874
08:30 – 08:45	51	273	496	154	26	7	6	0	0	1013	1066
08:45 – 09:00	26	263	329	147	30	8	6	5	1	815	906
12:00 – 12:15	52	232	385	222	28	6	3	0	0	928	993
12:15 – 12:30	35	254	404	197	25	2	4	8	0	929	1010
12:30 – 12:45	39	291	439	177	25	5	8	6	0	990	1070
12:45 – 01:00	76	276	409	195	26	5	9	4	0	1000	1057
01:00 – 01:15	49	280	424	182	25	4	5	6	0	975	1043
01:15 – 01:30	52	291	366	143	28	5	9	2	0	896	953
01:30 – 01:45	34	277	350	185	24	2	11	3	0	886	961
01:45 – 02:00	36	259	434	180	22	2	10	3	0	946	1015
06:00 – 06:15	17	257	368	187	26	4	4	0	0	863	938
06:15 – 06:30	24	228	395	123	29	1	6	1	0	807	864
06:30 – 06:45	19	236	384	140	27	3	5	1	0	815	880
06:45 – 07:00	22	252	367	156	26	7	7	0	0	837	912
07:00 – 07:15	19	267	352	156	29	5	0	0	0	828	893
07:15 – 07:30	21	256	396	133	22	5	0	2	2	837	902
07:30 – 07:45	21	241	376	130	25	8	9	0	0	810	883
07:45 – 08:00	13	262	358	149	28	2	5	3	0	820	896
Total	875	6038	9487	3788	636	104	197	64	3	21192	22866

Aforo: 12 - Lunes - Total

Origen: TM, VAB, JAQ

Destino: TM, VAB, JAQ



Hora	Moto	Auto	Taxi	Camion eta	Coaster	Bus	Camión	Semi trailer	Trailer	Total Mixto	Total ADE
07:00 – 07:15	33	301	399	176	32	2	9	0	0	952	1023
07:15 – 07:30	29	298	379	216	26	9	6	1	0	964	1055
07:30 – 07:45	37	306	367	196	31	1	11	0	0	949	1022
07:45 – 08:00	39	316	406	203	35	1	9	2	0	1011	1091
08:00 – 08:15	30	303	403	181	32	1	13	1	0	964	1045
08:15 – 08:30	40	232	419	173	34	5	10	1	0	913	991
08:30 – 08:45	43	255	395	184	28	1	9	1	0	916	980
08:45 – 09:00	52	272	417	224	31	1	12	3	0	1012	1092
12:00 – 12:15	53	266	393	181	24	0	8	2	0	927	977
12:15 – 12:30	55	236	430	180	29	1	11	2	1	945	1010
12:30 – 12:45	47	237	411	204	22	1	11	4	0	936	1005
12:45 – 01:00	42	226	421	203	21	6	8	1	0	928	998
01:00 – 01:15	41	242	403	205	24	4	7	3	0	929	1003
01:15 – 01:30	58	275	434	216	23	5	12	1	0	1024	1093
01:30 – 01:45	41	273	379	203	27	1	11	1	0	936	1007
01:45 – 02:00	47	228	425	211	26	3	9	1	1	951	1024
06:00 – 06:15	47	200	341	185	24	5	8	9	0	819	903
06:15 – 06:30	44	259	396	175	28	8	8	5	0	923	1006
06:30 – 06:45	54	272	288	171	15	12	5	3	0	820	880
06:45 – 07:00	44	261	275	116	14	13	7	4	1	735	800
07:00 – 07:15	37	235	289	139	22	9	4	1	0	736	794
07:15 – 07:30	42	183	296	153	23	6	5	2	0	710	769
07:30 – 07:45	43	238	269	166	19	7	8	2	0	752	815
07:45 – 08:00	49	260	274	150	35	4	6	4	0	782	849
Total	1047	6174	8909	4411	625	106	207	54	3	21536	23232



N°	Velocidades (KM/H)						
	Trinidad Morán		V. Andrés Belaunde		J. Abelardo Quiñones		Óvalo
	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Anular
1	37.2	37.0	35.2	42.1	33.9	38.5	22.5
2	45.9	37.0	42.1	33.3	42.3	45.9	23.5
3	34.7	38.3	46.1	38.3	36.5	39.0	26.6
4	45.0	36.0	43.6	51.1	37.3	30.5	21.9
5	42.1	32.4	40.9	39.2	42.6	38.8	28.0
6	36.0	34.5	57.1	40.8	42.9	43.2	25.9
7	36.3	35.9	60.5	39.7	40.5	40.4	31.3
8	42.0	34.6	47.1	48.1	57.0	38.7	23.2
9	56.4	31.7	52.3	30.4	40.3	30.2	36.6
10	50.9	34.7	49.0	35.1	39.9	42.5	19.9
11	43.3	40.0	47.3	35.8	37.4	40.8	24.2
12	39.1	35.2	36.0	35.6	36.6	43.8	22.4
13	46.9	33.3	35.0	32.0	46.1	55.5	31.1
14	38.3	39.8	43.1	40.2	34.9	34.5	25.6
15	50.9	45.8	47.1	35.4	41.8	51.1	25.8
16	46.2	36.2	32.7	30.8	37.6	44.1	26.5
17	44.7	35.1	37.6	38.8	40.9	33.4	28.7
18	49.6	35.9	42.3	37.8	34.2	37.9	23.6
19	47.6	29.4	47.5	38.3	36.0	39.7	33.3
20	60.7	34.3	42.3	36.5	34.2	38.4	25.6
21	46.1	37.0	49.8	38.3	43.0	39.9	26.9
22	36.0	41.5	41.5	46.4	43.4	39.2	23.6
23	44.2	42.6	51.3	40.1	42.0	49.9	21.3
24	54.2	30.1	57.0	49.7	42.0	41.0	19.2
25	54.6	34.9	47.4	43.7	46.5	47.1	27.4

N°	Velocidades (KM/H)						
	Trinidad Morán		V. Andrés Belaunde		J. Abelardo Quiñones		Óvalo
	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Anular
26	38.5	28.3	42.0	35.2	30.1	42.0	23.0
27	51.7	38.9	44.8	38.2	41.4	35.0	24.1
28	54.8	33.7	31.1	38.2	42.3	35.5	22.9
29	41.4	33.9	30.2	38.4	45.0	33.7	21.1
30	38.0	36.4	42.3	36.4	49.2	47.3	31.0
31	40.4	30.0	35.0	30.9	46.6	36.6	19.4
32	45.5	34.3	30.4	35.9	45.4	44.7	23.9
33	40.8	43.0	36.9	37.5	51.9	42.3	28.0
34	48.7	41.1	49.1	36.0	50.4	38.1	30.4
35	34.7	36.7	43.6	38.6	34.3	44.6	29.8
36	41.4	24.9	37.2	40.8	40.6	47.1	16.4
37	47.0	28.1	42.6	35.1	50.6	51.9	17.2
38	48.5	35.0	53.6	46.2	60.8	45.4	20.8
39	44.6	33.4	39.2	41.5	52.4	37.0	22.9
40	36.9	42.5	50.9	29.8	49.5	31.1	26.2
41	56.4	34.2	46.7	32.6	46.5	37.4	24.8
42	38.5	39.1	46.2	45.6	37.2	37.1	23.8
43	54.6	36.9	44.9	36.9	40.3	35.1	24.8
44	50.3	32.9	44.2	43.9	41.7	46.6	32.1
45	49.5	36.8	52.7	32.2	30.1	46.7	17.7
46	48.2	39.0	44.8	31.2	47.7	37.5	16.7
47	32.9	35.1	55.7	36.2	38.0	38.8	17.8
48	39.4	30.0	35.0	43.2	44.0	40.1	17.9
49	47.1	34.1	52.8	38.1	41.4	35.7	26.1
50	59.0	26.5	38.6	37.1	47.1	40.2	22.8

N°	Velocidades (KM/H)						
	Trinidad Morán		V. Andrés Belaunde		J. Abelardo Quiñones		Óvalo
	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Aprox.	Reduc.	Anular
51	42.6	30.1	48.0	42.1	42.1	39.2	19.7
52	48.8	31.6	48.4	41.0	33.3	38.1	23.4
53	43.7	36.4	53.2	26.3	38.3	35.1	17.3
54	42.3	38.1	42.3	37.9	51.1	53.3	20.5
55	42.0	38.4	47.2	38.0	39.2	45.9	20.7
56	49.2	36.4	34.5	45.2	40.8	37.6	26.3
57	39.3	28.5	45.3	41.3	34.2	38.4	16.4
58	35.1	25.5	51.7	39.1	55.6	40.5	18.2
59	43.3	35.7	45.3	36.5	42.6	40.4	24.0
60	50.7	39.5	30.7	33.6	38.5	34.4	18.8
61	45.6	39.7	49.9	32.2	39.4	48.2	20.2
62	44.4	30.7	45.5	30.4	41.5	50.2	24.5
63	38.4	36.8	41.0	32.9	38.0	40.3	25.4
64	43.7	31.2	46.2	33.2	43.8	48.0	19.4
65	40.7	33.9	38.6	45.5	43.7	41.9	26.2
66	59.6	35.5	35.2	42.8	33.9	44.5	22.8
67	45.4	39.3	34.2	26.1	42.3	38.8	22.2
68	36.8	26.7	40.7	29.6	36.5	44.4	18.7
69	42.0	36.1	45.4	41.2	37.3	41.2	23.0
70	47.6	29.3	38.6	39.7	42.6	38.1	16.4



Presupuesto					
Presupuesto	Mejoramiento Del Servicio De Transitabilidad Vehicular En El Óvalo Quiñones				
Cliente	Municipalidad Distrital De Yanahuara				
Lugar	Arequipa - Arequipa - Yanahuara				
Item	Descripción	Und.	Metrado	Precio S/.	Parcial S/.
01	OBRAS PROVISIONALES				
01.01	Caseta De Guardianía Y Almacén	M2	30.00	81.01	2,430.30
01.02	Cartel De Identificación De La Obra De 3.60 X 2.40 M	U	1.00	1,123.46	1,123.46
01.03	Movilización Y Desmovilización De Equipos Y Herramientas	Glb	1.00	8,500.00	8,500.00
02	TRABAJOS PRELIMINARES				
02.01	Trazo, Nivelación Y Replanteo Inicial	M2	10,792.15	1.87	20,181.32
02.02	Limpieza De Terreno Manual	M2	10,792.15	2.84	30,649.71
02.03	Demolición De Pavimento Asfáltico De 2"	M2	6,570.36	8.47	55,650.95
02.04	Demolición De Bermas De Concreto Existente	M2	1,548.79	11.12	17,222.54
02.05	Demolición De Veredas De Concreto Existente C/Equipo	M2	245.42	14.39	3,531.59
02.06	Demolición De Sardineles	M	1,597.12	8.03	12,824.87
02.07	Reubicación De Postes De Luz	U	20.00	652.64	13,052.80
02.08	Eliminación De Material Excedente D > 1 km	M3	6,373.08	21.51	137,085.01
03	PAVIMENTOS				
03.01	Corte A Nivel De Subrasante (Con Equipo)	M3	2,321.74	3.99	9,263.74
03.02	Nivelación Y Compactación De Subrasante Con Equipo	M2	7,739.13	5.12	39,624.35
03.03	Base Granular E=0.20 M R = 2090 M2/Día Fact. Compact. = 1.20	M2	7,739.13	13.06	101,073.04
03.04	Barrido Y Sopleteado De Superficie De La Base	M2	7,739.13	0.94	7,274.78
03.05	Imprimación Asfáltica	M2	7,739.13	5.33	41,249.56
03.06	Carpeta Asfáltica En Frio De 2"	M2	7,739.13	36.46	282,168.68
03.07	Arenado De Calzada	M2	7,739.13	2.68	20,740.87
04	VEREDAS				
04.01	Corte A Nivel De Sub-Rasante De Terreno Normal	M3	41.41	11.48	475.41
04.02	Conformación De Subrasante Veredas Y Bermas	M2	138.04	3.23	445.87
04.03	Conformación De Base Granular E=0.10 M Veredas Y Bermas	M2	138.04	10.39	1,434.24
04.04	CONCRETO F'c=175 Kg/Cm2 VEREDA E=10CM., PASTA 1:2	M2	138.04	41.63	5,746.61
04.05	Encofrado Y Desencofrado Para Veredas	M2	138.04	36.40	5,024.66
04.06	Juntas Asfálticas	M	49.50	6.80	336.60
05	SARDINELES				
05.01	Excavación De Zanjas Para Sardineles	M3	252.25	28.73	7,247.20
05.02	Encofrado Y Desencofrado De Sardinel	M2	840.84	39.39	33,120.69
05.03	CONCRETO F'c=175 Kg/Cm2 PARA SARDINELES	M3	126.13	318.49	40,169.87
05.04	Juntas De Dilatación C/3m (Und)	Und	280	5.47	1,533.13
06	JARDINERAS Y AREAS VERDES				
06.01	PLANTONES ORNAMENTALES	Und	45.00	41.84	1,882.80
06.02	GRASS, SUMINISTRO Y COLOCADO	M2	2,248.76	10.84	24,376.56
07	SEÑALIZACION				
07.01	Señalización Horizontal Con Pintura Trafico	M	2048.82	2.02	4,138.62
07.02	Señalización Cruces Peatonales Y Flechas Con Pintura Trafico	M2	250.06	8.20	2,050.49
07.03	Pintura Trafico En Borde De Veredas	M	1002.8	2.02	2,025.66
07.04	Pintura En Sardineles C/Pintura Trafico	M	840.84	4.49	3,775.37
07.05	Señalización Vertical	Und	20	250.00	5,000.00
08	VARIOS				
08.01	Limpieza Final De Obra	M2	10,792.15	1.13	12,195.13
09	MITIGACIÓN MEDIO AMBIENTE				
09.01	Suministro E Instalación De Baños Químicos	Mes	1	2,700.00	2,700.00
09.02	Riego Permanente De Obra	Día	30	148.36	4,450.80
10	SEGURIDAD Y SALUD				
10.01	Equipo De Protección Personal	Glb	1	17,737.70	17,737.70
10.02	Señalización Temporal De Seguridad	Glb	1	2,506.05	2,506.05
10.03	Capacitación De Seguridad Y Salud	Glb	1	6,141.04	6,141.04
10.04	Recursos Para Respuestas Ante Emergencias	Glb	1	483.18	483.18
10.05	Elaboración, Implementación Y Administración Del Plan De Seguridad Y Salud En El Trabajo	Glb	1	2,500.00	2,500.00

COSTO DIRECTO	S/ 991,145.23
GASTOS GENERALES (10.00%)	S/ 99,114.52
UTILIDAD (9.00%)	S/ 892,030.71
.....
SUT TOTAL	S/ 1,982,290.47
IGV (18.00 %)	S/ 356,812.28
.....
PRESUPUESTO TOTAL	S/ 2,339,102.75

Nota:

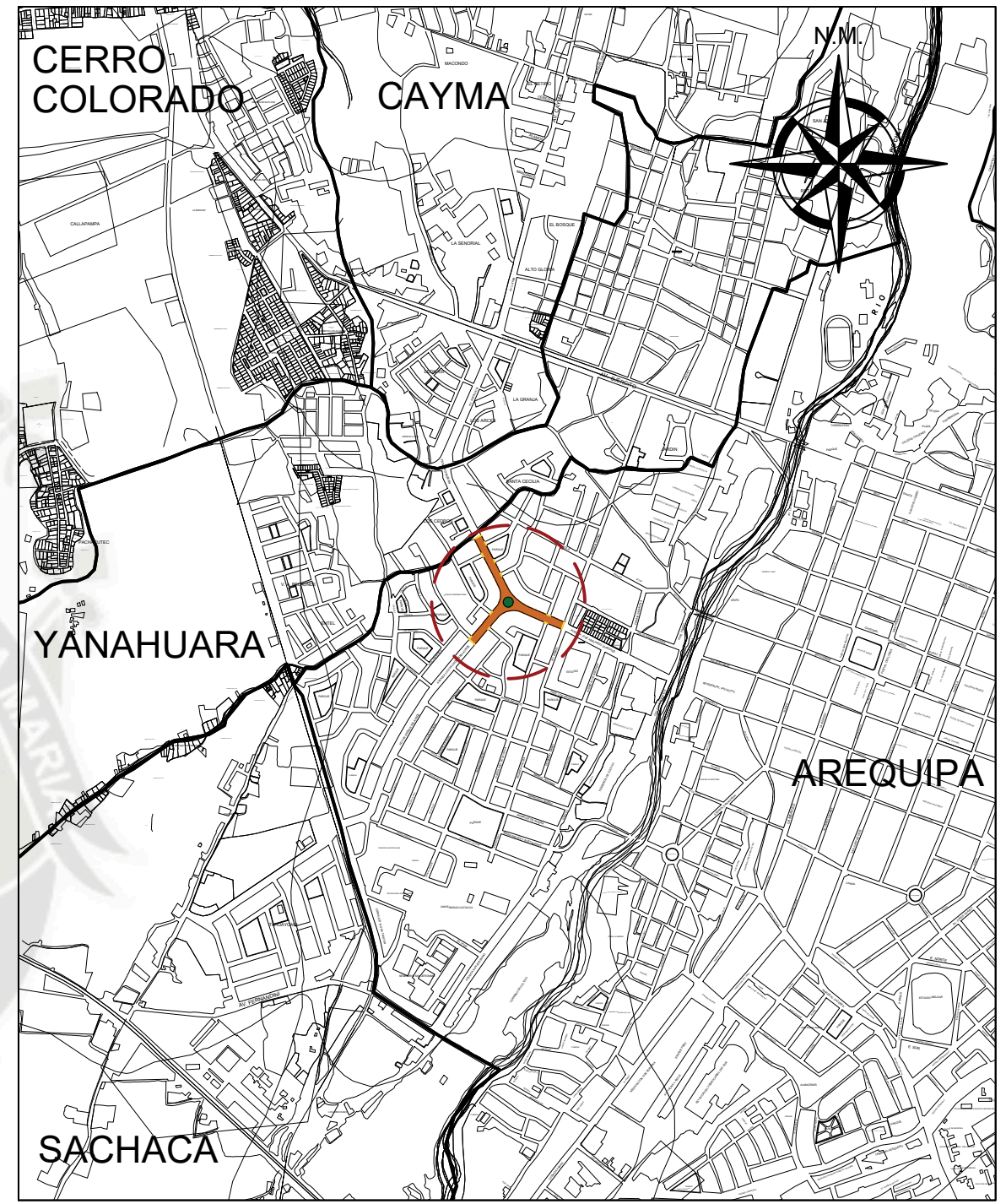
- Las obras incluyen el cambio total de toda la capa asfáltica, desde: calle 5, para Trinidad y Moran; Málaga Grenet, para V. Andrés Belaunde; Garcilaso de la Vega, para J. Abelardo Quiñones.








ESC: 1/5,000

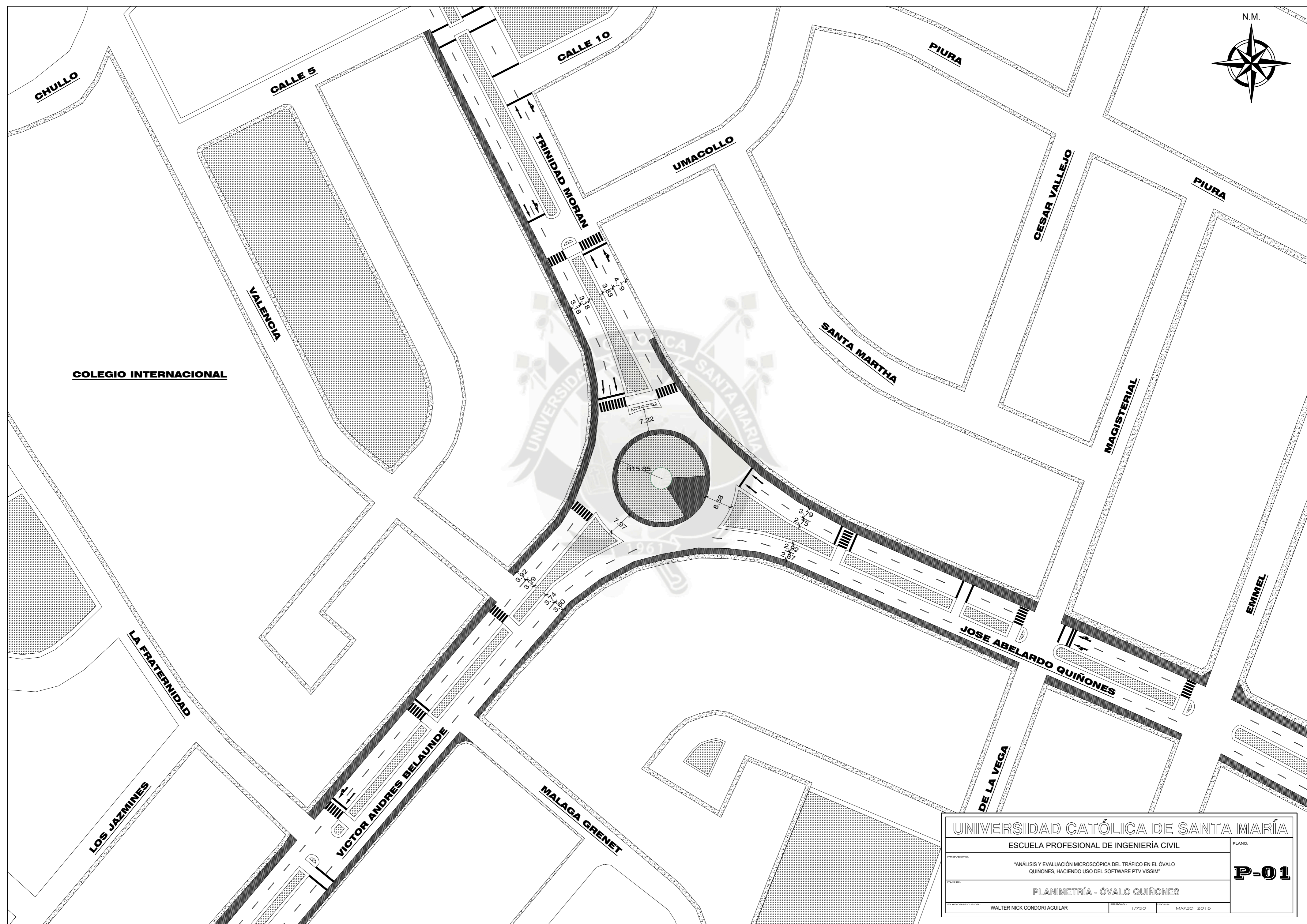


ESC: 1/20,000

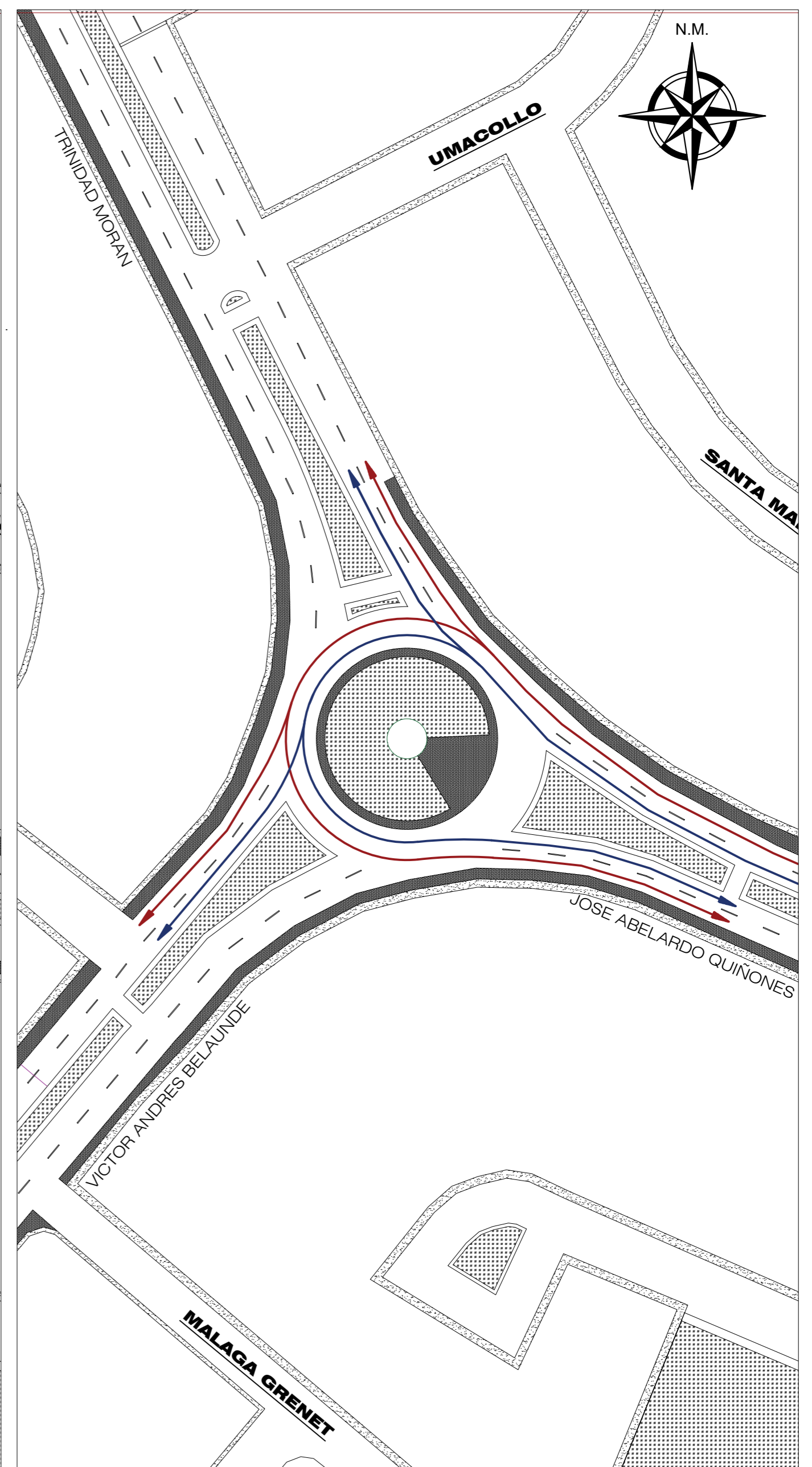
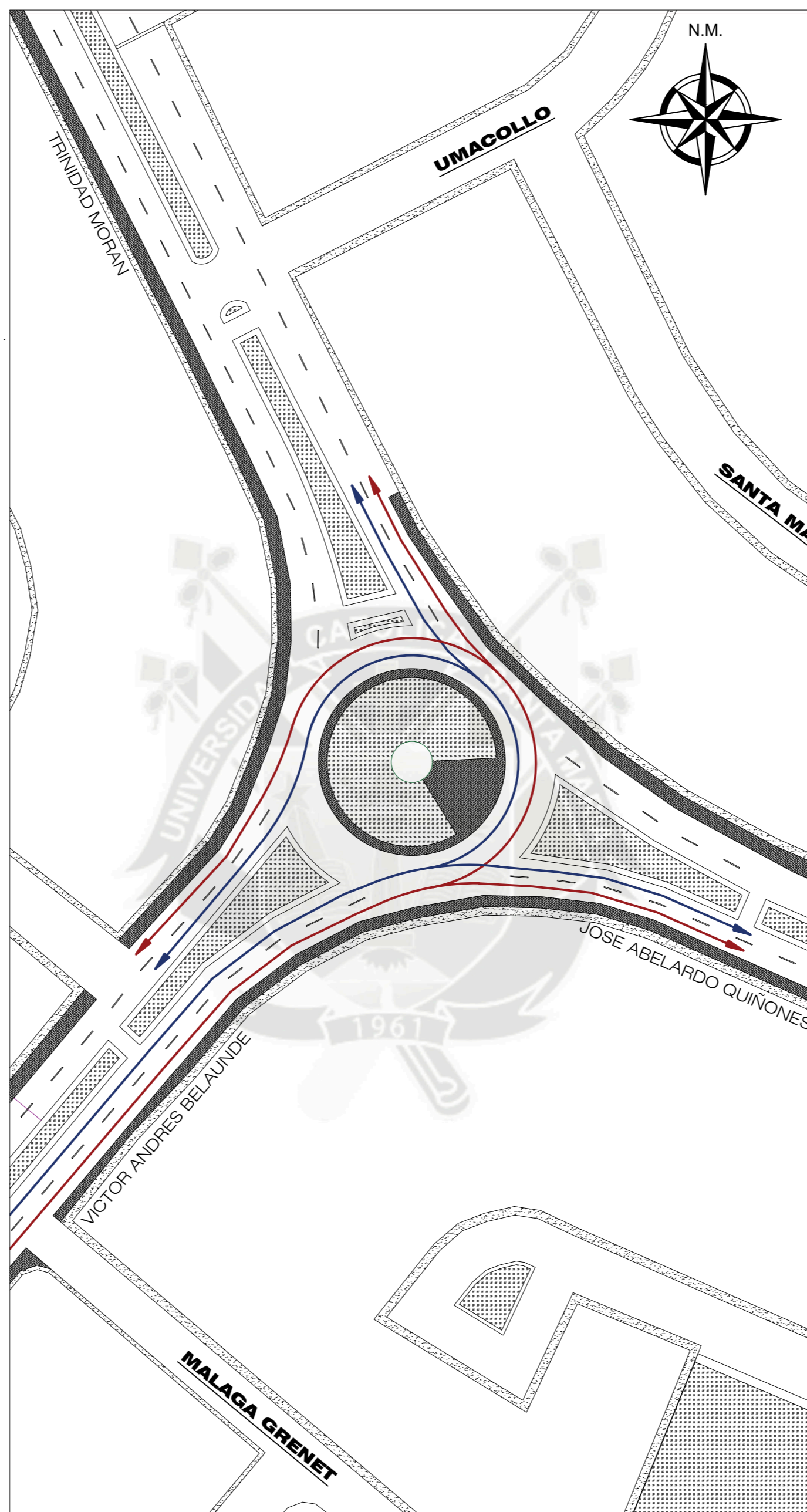
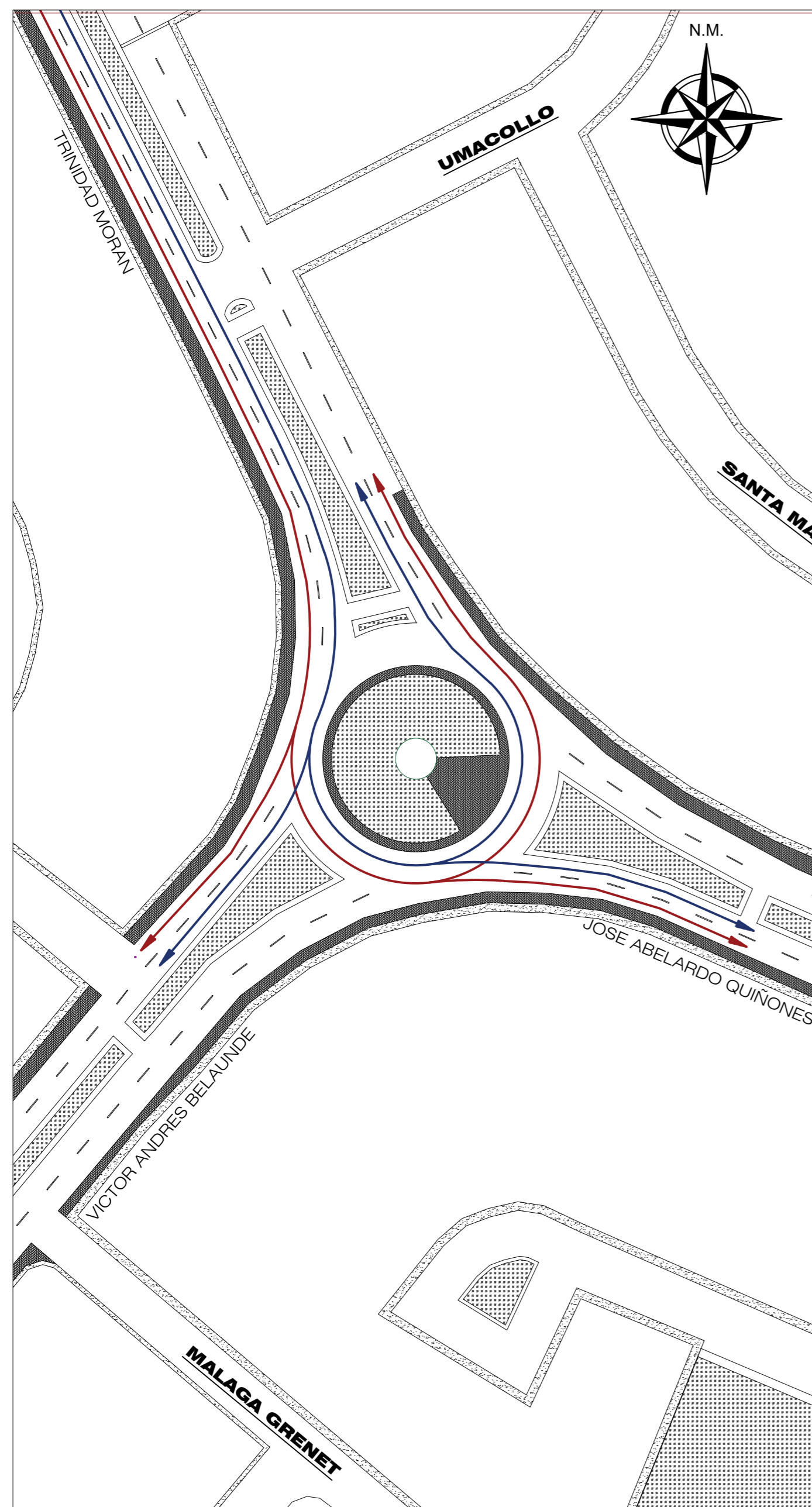
LEYENDA

 LIMITE DISTRITAL	 UBICACIÓN DEL PROYECTO	 ÁREA DE ESTUDIO
--	--	---

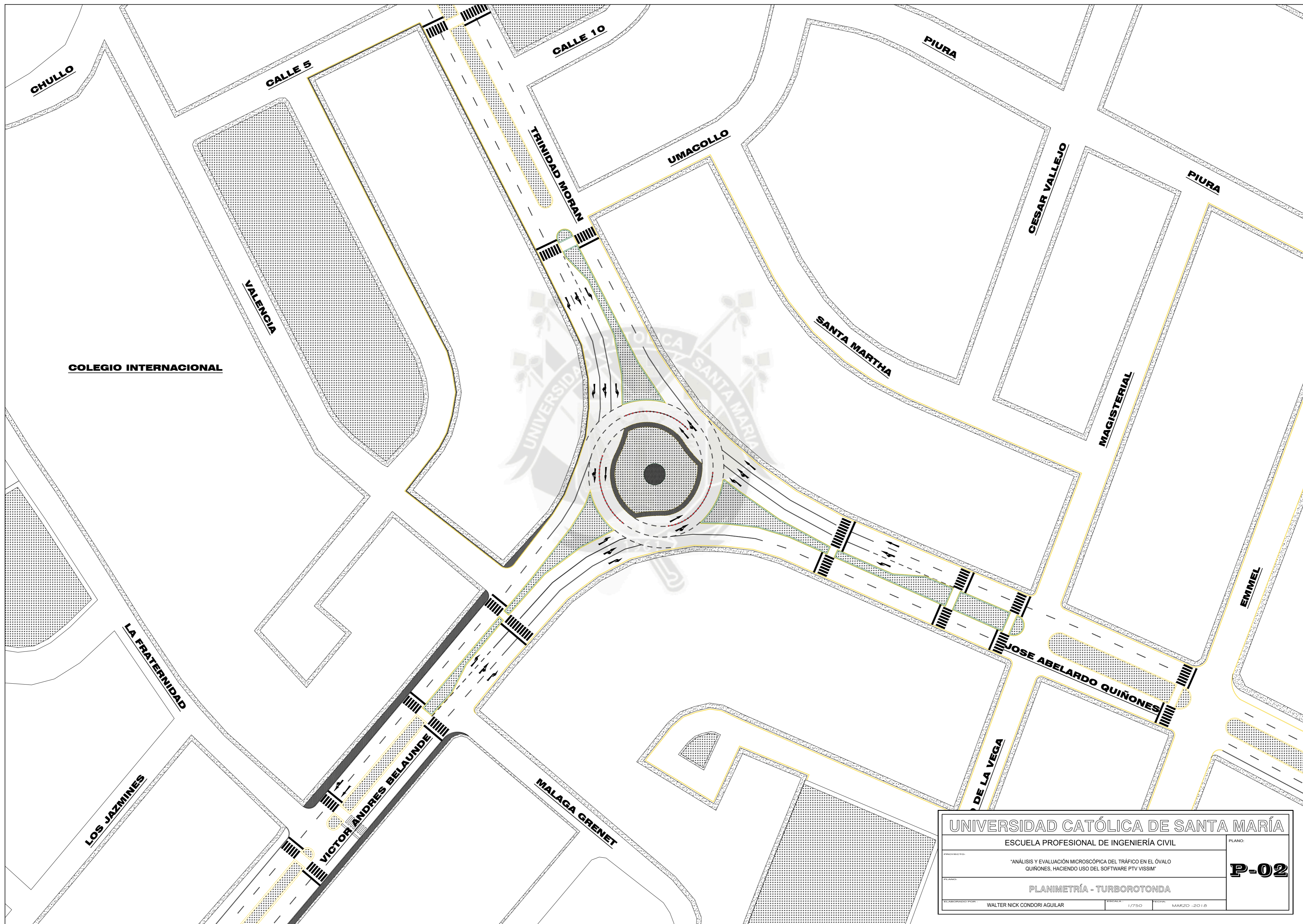
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA			PLANO:  U-01
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL			
PROYECTO: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM"			
PLANO: UBICACIÓN - ÓVALO QUIÑONES			
ELABORADO POR:	WALTER NICK CONDORI AGUILAR	ESCALA:	INDICADA
		FECHA:	MARZO -2018



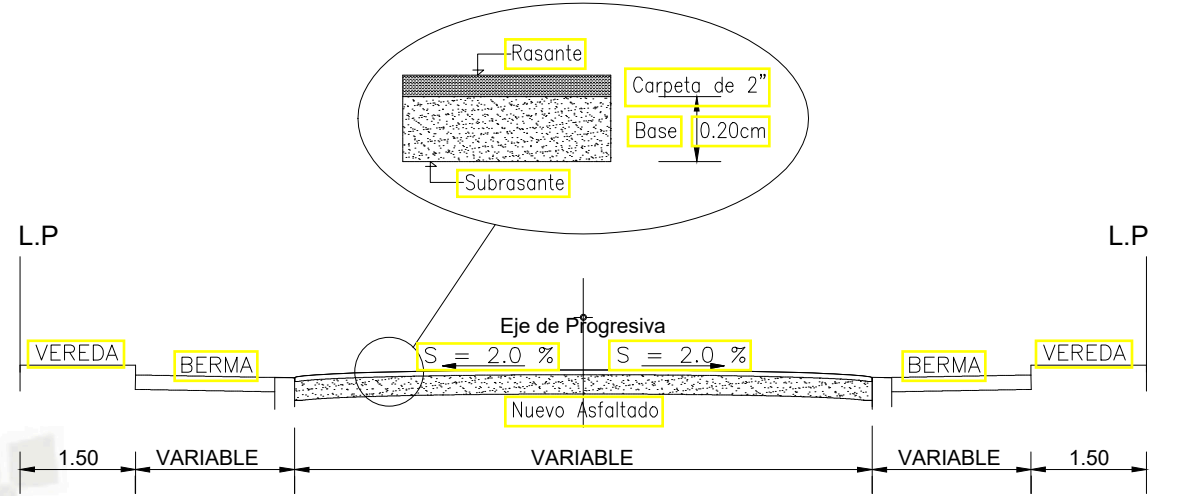
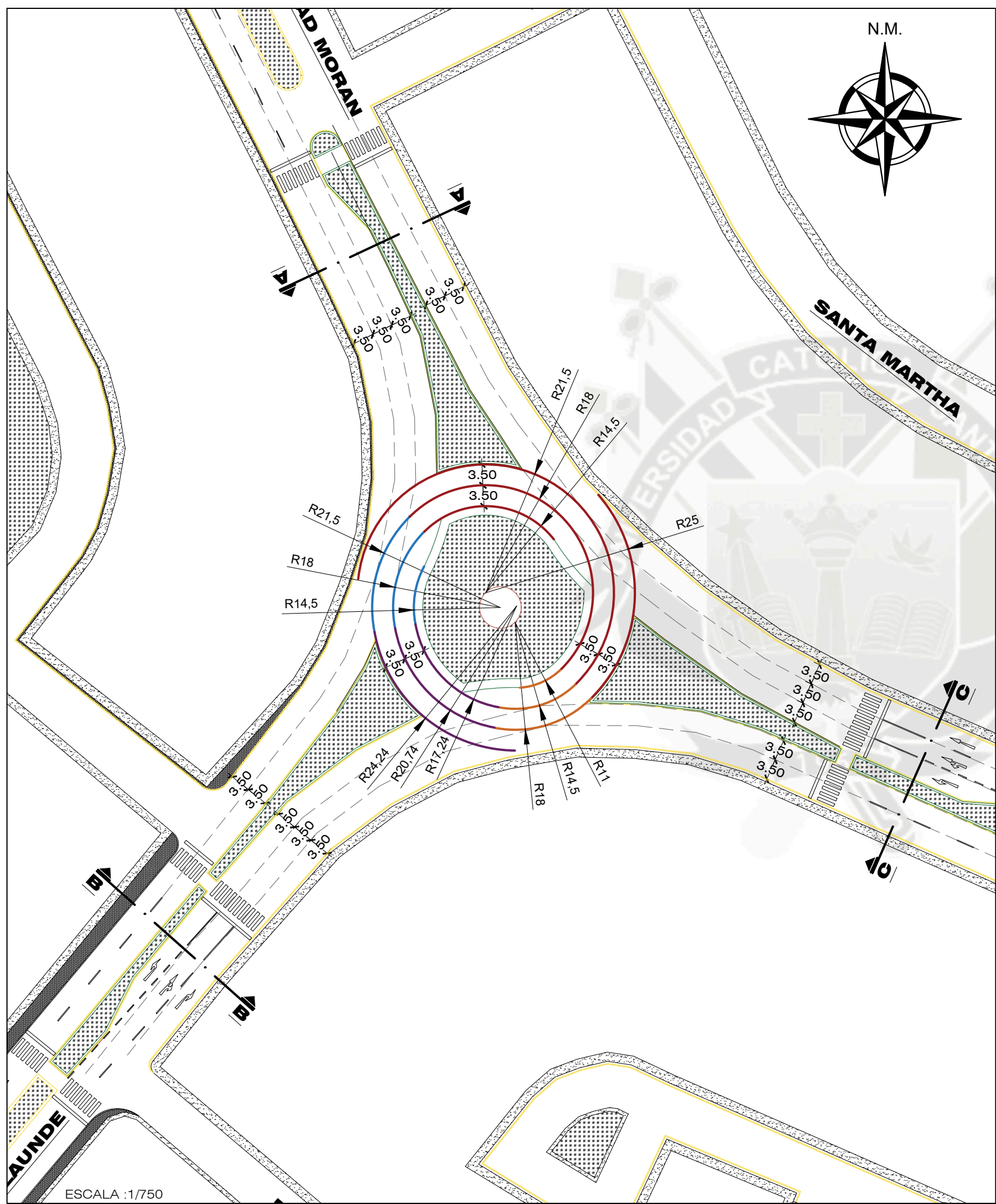
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO: *ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM*		
PLANO: P-01		
ELABORADO POR: WALTER NICK CONDORI AGUILAR	ESCALA: 1/750	FECHA: MARZO -2018



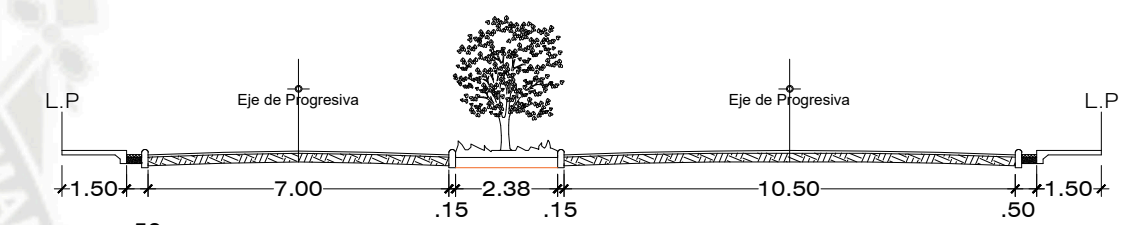
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	*ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM*	
PLANO:	F-01	
ELABORADO POR:	WALTER NICK CONDORI AGUILAR	FECHA: MARZO -2018



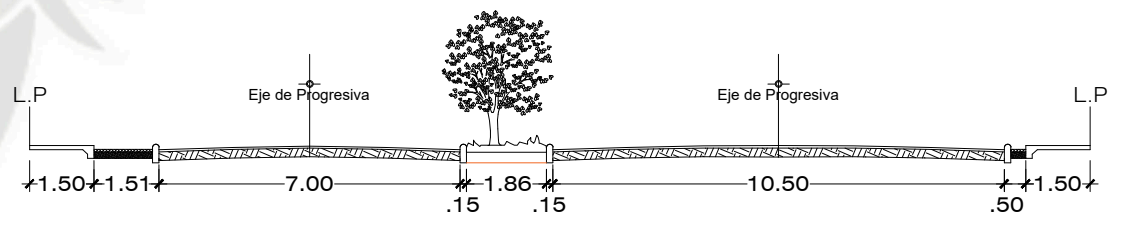
UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM"		
PLANO: PLANIMETRÍA - TURBOROTONDA		
ELABORADO POR: WALTER NICK CONDORI AGUILAR	ESCALA: 1/750	FECHA: MARZO -2018
		PLANO: P-02



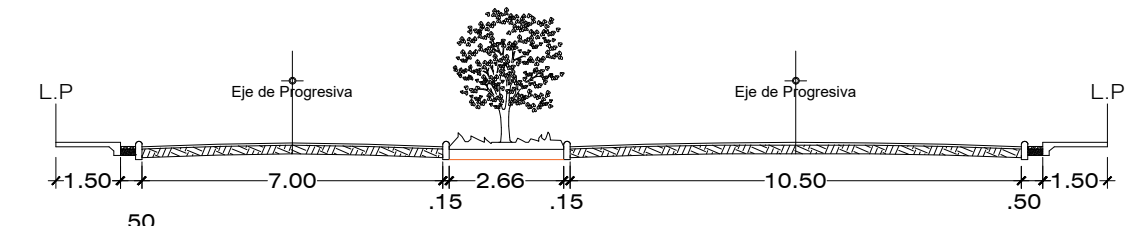
SECCION TIPICA TRANSVERSAL DE PISTA
ESCALA :S/E



CORTE A-A
ESCALA :1/175

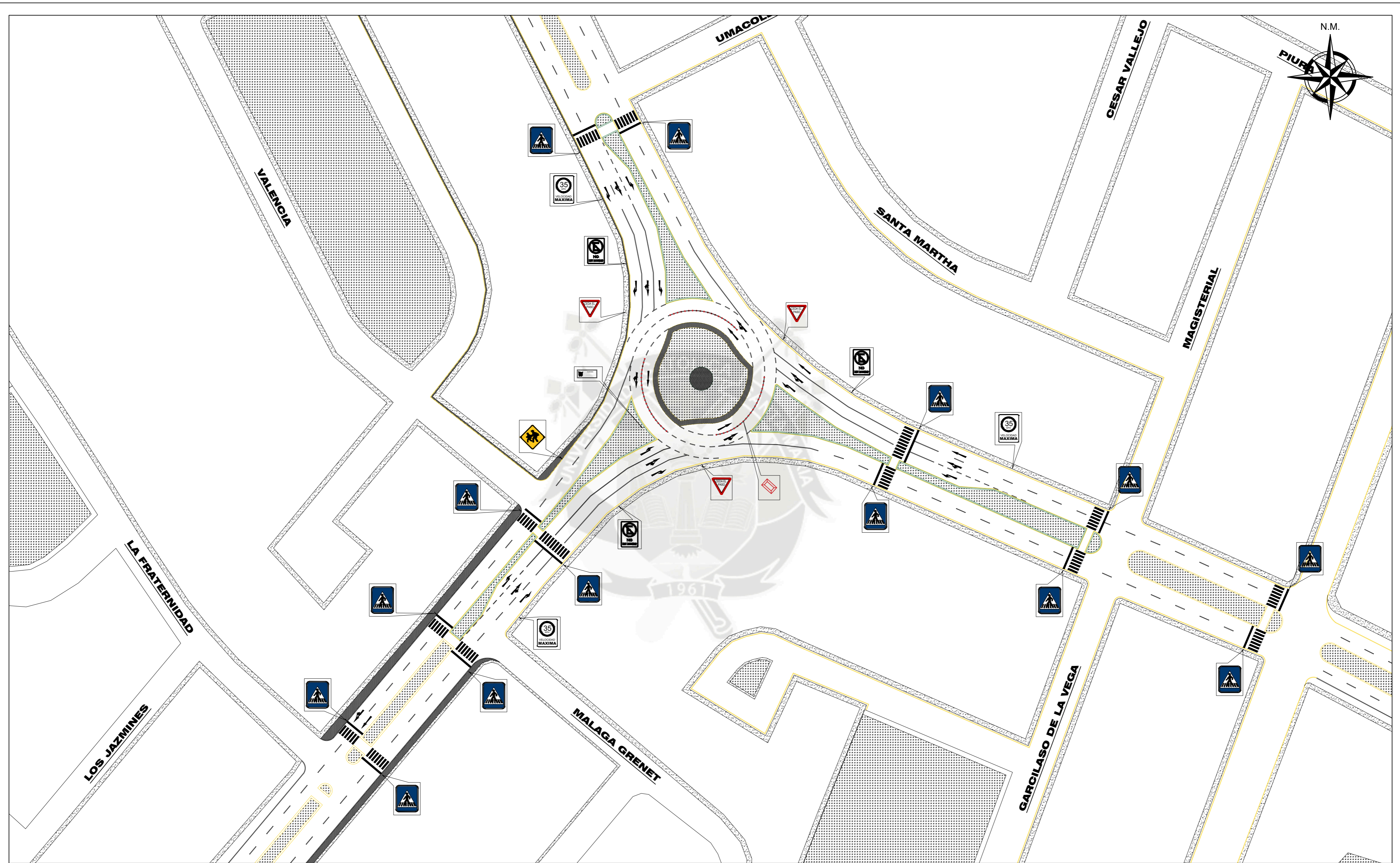


CORTE B-B
ESCALA :1/175



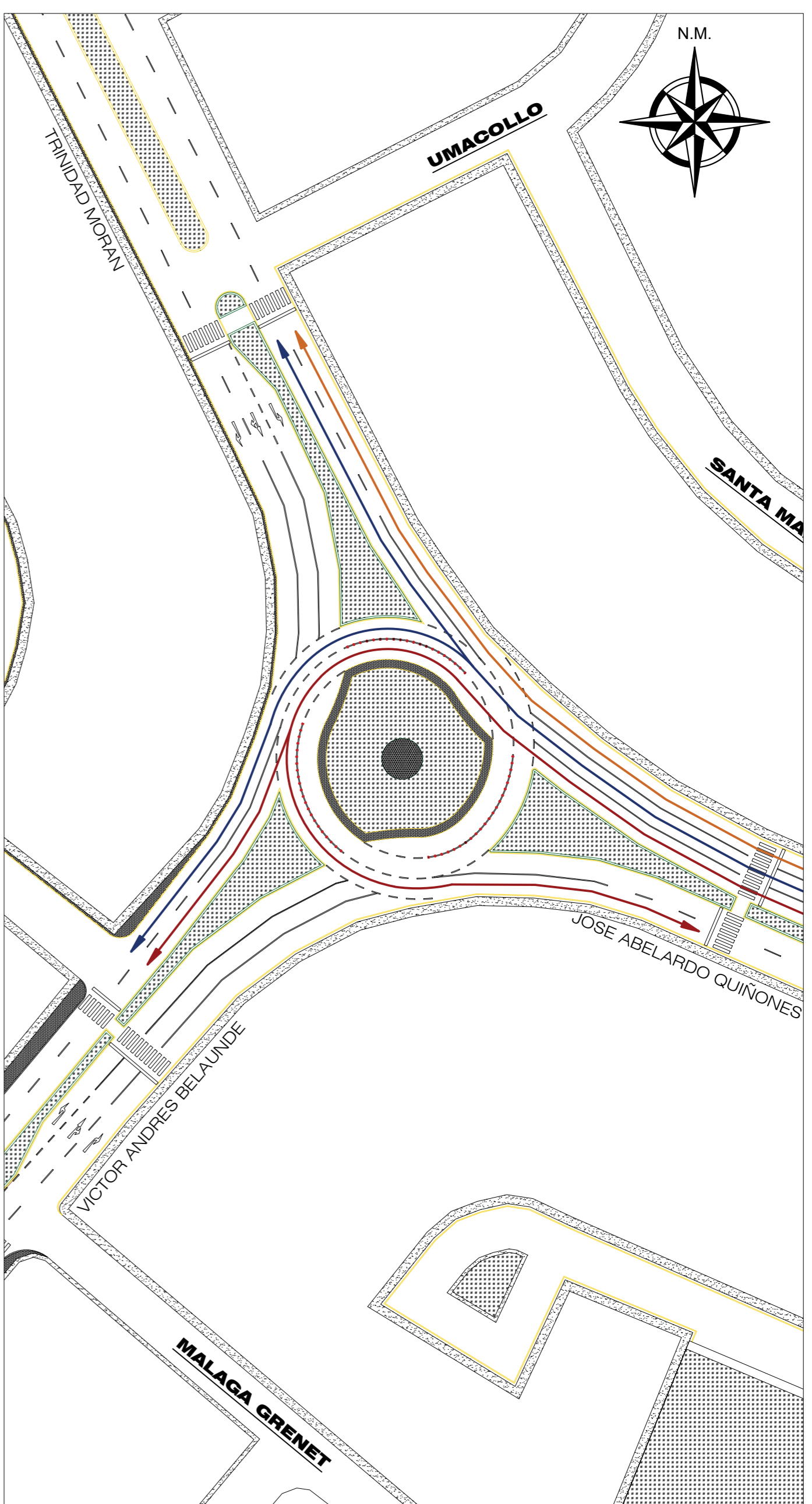
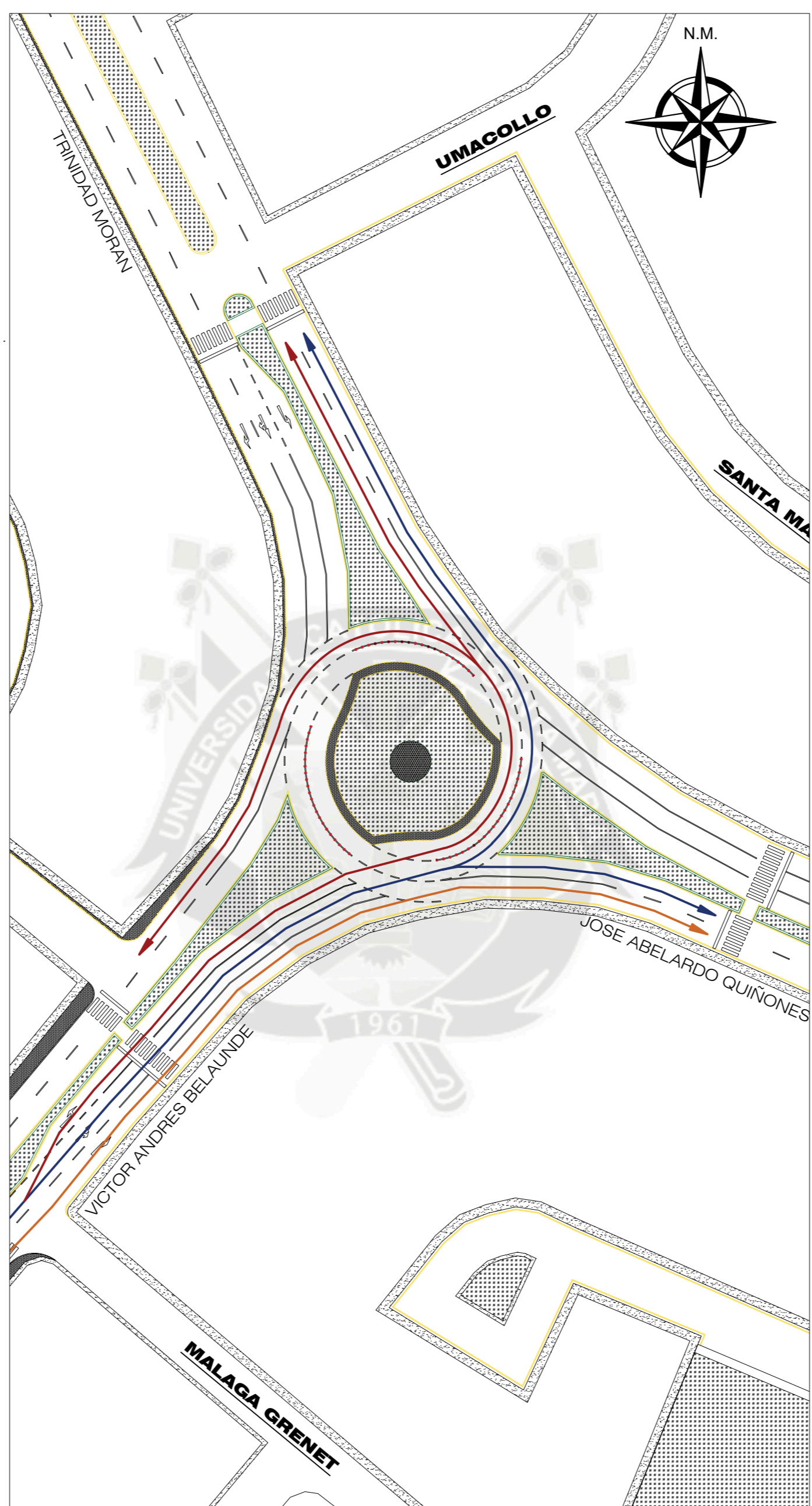
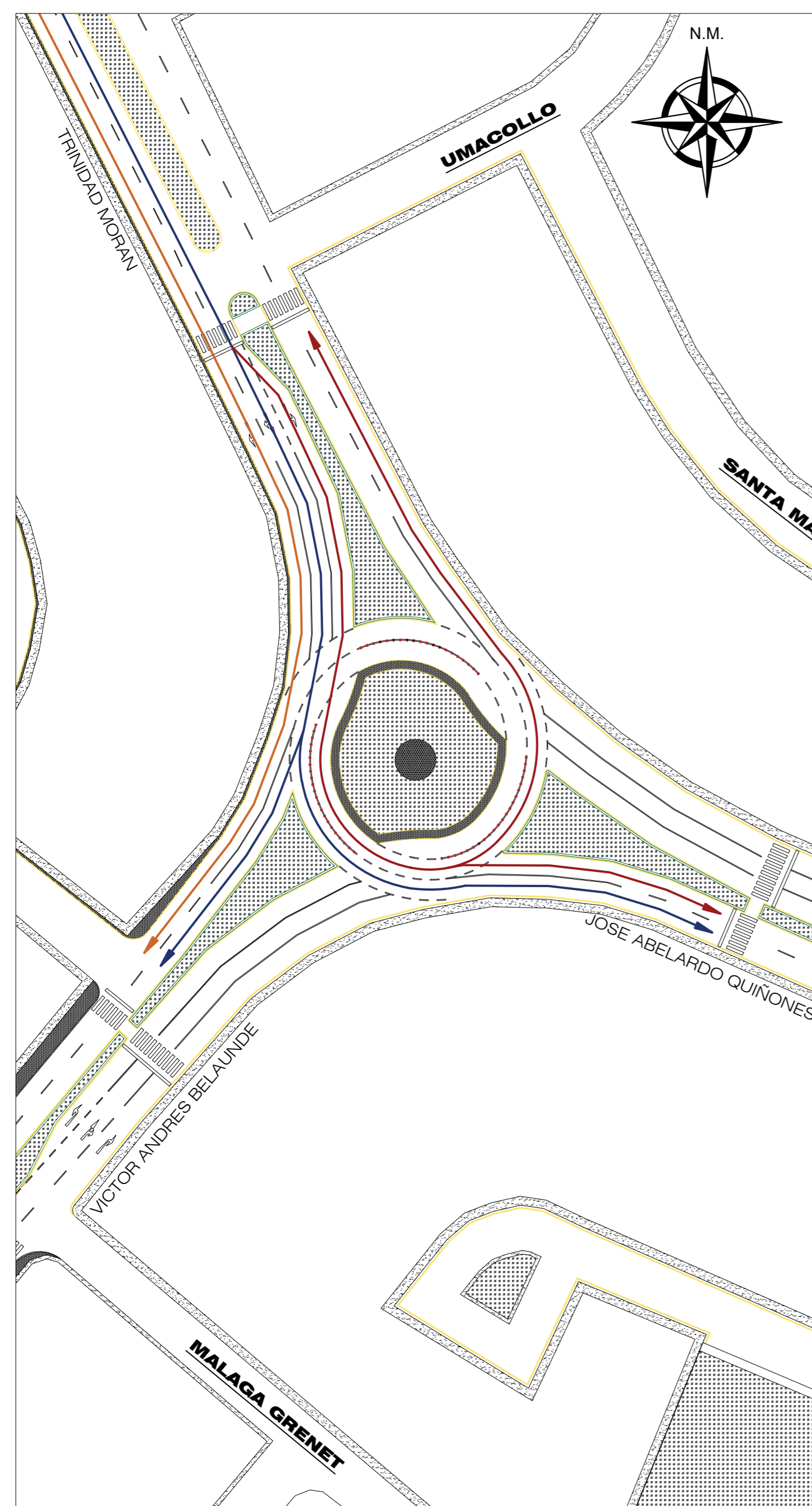
CORTE C-C
ESCALA :1/175

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		PLANO:
PROYECTO: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUÍNONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM"		D-01
PLANO: DETALLES - TURBOROTONDA		
ELABORADO POR: WALTER NICK CONDORI AGUILAR	ESCALA: INDICADA	FECHA: MARZO -2018



LEYENDA	
	P-49/ZONA ESCOLAR
	I-20/SEÑAL PARADERO
	R-1/PARE
	R-30/SEÑAL VELOCIDAD MAXIMA
	CEDA EL PASO
	SEÑAL PASO PEATONAL
	SEÑAL INFORMATIVA I-1
	TACHA REFLECTIVA

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO: "ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIRONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM"		PLANO: S-01
SEÑALIZACIÓN - TURBOROTONDA		
ELABORADO POR: WALTER NICK CONDORI AGUILAR	ESCALA: 1/750	FECHA: MARZO -2018



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA		
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		
PROYECTO:	"ANÁLISIS Y EVALUACIÓN MICROSCÓPICA DEL TRÁFICO EN EL ÓVALO QUIÑONES, HACIENDO USO DEL SOFTWARE PTV VISSIM"	PLANO:
ELABORADO POR:	WALTER NICK CONDORI AGUILAR	F-02
ESCALA:	1/750	FECHA:
		MARZO -2018