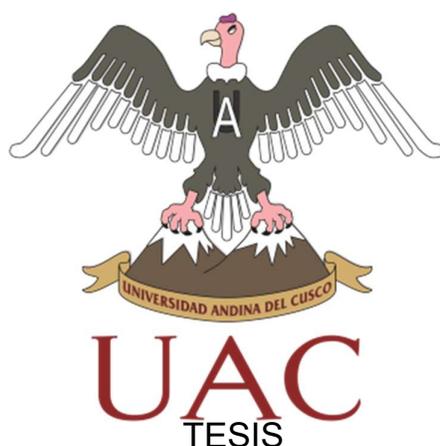




# UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



---

“PROPUESTAS DE REDISEÑO GEOMETRICO DE LA INTERSECCION A NIVEL DENOMINADA “OVALO LIBERTADORES” APLICANDO EL METODO DEL TRL PARA EL CALCULO DE CAPACIDAD”

---

Presentado por

Bach. Ccapatinta Melendez Josue Manuel  
Bach. Quispe Cahua Jestyn Ayrum

Para optar al Título Profesional de  
Ingeniero Civil

Asesor:  
Mgt. Ing. Cabezas Mancilla Jose Humberto

CUSCO – PERÚ  
2020



### **Dedicatoria**

Dedico esta investigación a mis padres Godofredo y Dina, hermanos Miguel y Luciana por ser un apoyo incondicional durante esta etapa, a la vez también a mis amigos por estar ahí con su apoyo

Josue Manuel Ccapatinta Melendez

Dedico este trabajo a mi madre María por el sacrificio que signifco para los dos lograr esta investigación, por ser mi fiel amiga, también por su comprensión incondicional desde pequeño y durante mi vida universitaria.

A mi padre Wilfredo por sus consejos y apoyo durante mi etapa universitaria, por su sabiduría que me guía desde niño y me ha permitido seguir en el buen camino.

Jestyn Ayrum Quispe Cahua



## Agradecimientos

Agradecer a mis padres y hermanos por el apoyo, a mis familiares y amistades por alegrarme la vida con momentos inolvidables.

A mi asesor, Ing. Jose Humberto Cabezas Mancilla, por sus orientaciones y recomendaciones, como también al Mgt. Ing Miguel Flores Dueñas.

A mi compañero de tesis Jestyn por el apoyo y los buenos y malos momentos.

Josue Manuel Ccapatinta Melendez

A mis padres por su constante apoyo y ejemplo que me brindan.

A mi asesor de tesis Mgt. Ing. José Humberto Cabezas Mancilla por las recomendaciones que permitieron concluir esta investigación.

A mi docente Mgt. Ing. Miguel Flores Dueñas por los conocimientos brindados en la ingeniería de transportes.

A mi compañero de tesis Josue por su constante compañerismo durante la elaboración de esta tesis.

Jestyn Ayrum Quispe Cahua



## Resumen

En el siguiente trabajo de investigación se tiene como objetivo realizar propuestas de rediseño geométrico para mejorar los problemas presentes en la intersección a nivel denominado “Ovalo Libertadores” debido a que es nudo de mayor grado de conflicto que conecta polos atractores importantes en la ciudad de Cusco, la circulación vehicular está definida por el diseño geométrico propio de la intersección la cual se ve afectada al no presentar características propias de rotondas. Las propuestas están en base a criterios de control de velocidad y seguridad, aplicando el método del TRL (Transport Research Laboratory) para el cálculo de capacidad vial, analizando los flujos vehiculares actuales y proyectados a 25 años; con la finalidad de mejorar el comportamiento funcional en las propuestas de rediseño de esta intersección

En la zona de estudio se realizó la recolección de información; las características geométricas se obtuvieron mediante el levantamiento topográfico de la zona de estudio, además se realizó un aforo vehicular para determinar la hora de máxima demanda, se hizo una recolección de los ciclos semafóricos además de un inventario vial de las señales de tránsito. La evaluación del comportamiento funcional se realizó a través de los flujos vehiculares determinados en la hora de máxima demanda, el cálculo de la capacidad vial por aproximación, longitudes de colas y niveles de servicio; se evaluó el diseño geométrico de la situación actual, así como para las cinco propuestas de rediseño geométrico, dos de estas a nivel y tres con la consideración de un paso a desnivel que está contemplado en el proyecto del mejoramiento integral de la Vía Expresa. Los diseños geométricos se basan a las consideraciones y criterios del reporte 672 del NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) para rotondas de varios carriles.

Para el cálculo de la capacidad vial de las rotondas se hizo uso del método del TRL, para las longitudes de colas y los niveles de servicio se determinaron mediante el uso del software Junctions 9 Student Version a través de su módulo ARCADY y la verificación de las propuestas de rediseño a través del software Vehicle Tracking para el área de recorrido dentro de la intersección del vehículo de diseño T3S3.

Finalmente se concluyó que el diseño geométrico la situación actual del “Ovalo Libertadores” no tiene características propias de rotondas y no tiene la suficiente capacidad vial para los volúmenes vehiculares presentes, y que las propuestas de rediseño geométrico presentan un mejor comportamiento funcional debido a sus características geométricas y una adecuada implementación de dispositivos de control de tránsito.

**Palabras claves:** Diseño geométrico, método del TRL, comportamiento funcional, Junctions 9



## **Abstract**

This thesis has to objective perform proposals of geometric redesign of level intersection named “Ovalo Libertadores” in base on the geometric design of the current situation, applying the TRL method for capacity calculation, analyzed against current and projected vehicle flows at 25 years; with of the purpose of improve the operational behavior in the redesign proposals of this intersection; this study zone is a joint of greater degree of conflict because it connects important attractor poles in the city, vehicular traffic is defined by the geometric design of the intersection which is affected by not presenting characteristic of roundabouts .

The information in this intersection and their approaches was collected where it was made a vehicle count also was made a topographic survey, a collection semaphore cycle and road inventory of traffic signal, otherwise queue lengths by approximation were determinate during peak demand time. The evaluation of the operational behavior was carried out trough of vehicle flows, capacity of the intersection, queue lengths and level of service; the geometric design current was evaluated, also for the four the redesign proposals, three of these proposals a level and the last with consideration of an overpass as in the project “Mejoramiento integral de la Vía Expresa”. The geometrics designs are based on the consideration a criteria of the National Cooperative Highway Research Program NCHRP Report 672 for multilane roundabouts.

The TRL method was used to calculate the capacity, for queue lengths and level of service were determinate by using the software Junctions 9 Student Version through ARCADY module and the verification of redesign proposals through the Vehicle Tracking software for the swept path within the intersection of the T3S3 vehicle design.

Level of service F was obtained in the current situation; levels of services B were obtained in the proposals with current vehicle volumes and level of service C and D were obtained in the vehicle projected at 25 years

Finally, it is concluded that the redesign proposals of level intersection named “Ovalo Libertadores” present a better operational behavior because geometric characteristics and adequate implementation of traffic control devices.

**Keywords:** Geometric design, TRL method, operational behavior, ARCADY



## Introducción

En la actualidad la congestión vehicular genera que colapsen las infraestructuras viales del país afectando a los usuarios que hacen uso de estas, las intersecciones urbanas son las más afectas, esto debido a que son zonas donde se cruzan dos o más vías que conectan puntos de interés dentro una ciudad; el Cusco no es ajeno a los problemas mencionados, el aumento del tráfico y la congestión vehicular sumado a un crecimiento urbano sin planificación, ocasiona que las intersecciones viales a nivel presenten más problemas de congestión vehicular en horas determinadas a causa de la adaptación de los diseños geométricos en la ciudad donde se presentan niveles servicio deficientes.

El Perú es un país que en la ingeniería de transito urbano se encuentra en vías de desarrollo, actualmente nuestro país cuenta con un manual de diseño geométrico de carreteras, en el cual las rotondas se tratan de manera muy superficial, estas consideraciones básicas se pueden apreciar en algunos óvalos hasta la década pasada en todo el país, sin embargo, hoy en día en la ciudad de Lima y Arequipa se puede observar la implementación de óvalos con mejores características geométricas.

La implementación de rotondas con diseños geométricos en base a criterios de control de velocidad y seguridad, presentes en esta investigación, tiene como finalidad mejorar los problemas que se presentan en estas intersecciones a nivel.

En el siguiente trabajo de investigación se realizó un análisis de la situación actual de la Intersección a nivel denominado “Ovalo libertadores”, de la misma manera se plantearon cinco propuestas de rediseño geométrico, dos de las propuestas presentadas son a nivel y tres considerando de pasos a desnivel, como lo contempla el nuevo proyecto del mejoramiento de la Vía Expresa.

Esta investigación se desarrolló con el fin de dar nuevos conocimientos sobre óvalos y su diseño geométrico de una manera técnica, optima y moderna, para lograr que la ciudad del Cusco tenga características de una ciudad moderna en ámbito vial.



## Índice general

Dedicatoria .....	i
Agradecimientos.....	ii
Resumen.....	iii
Abstract.....	iv
Introducción .....	v
Índice general .....	vi
Índice de tablas.....	x
Índice de figuras .....	xiv
1    Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1    Identificación del Problema.....	1
1.1.1    Descripción del problema .....	1
1.1.2    Formulación interrogativa del problema.....	17
1.2    Justificación e Importancia de la investigación .....	18
1.2.1    Justificación técnica .....	18
1.2.2    Justificación social .....	19
1.2.3    Justificación por viabilidad .....	19
1.2.4    Justificación por relevancia.....	19
1.3    Limitaciones de la Investigación .....	20
1.4    Objetivo de la investigación .....	20
1.4.1    Objetivo General .....	20
1.4.2    Objetivos Específicos.....	20
2    Capitulo II: Marco Teórico .....	22
2.1    Antecedentes de la tesis.....	22
2.1.1    Antecedentes a Nivel Nacional .....	22
2.1.2    Antecedentes a Nivel Internacional .....	23
2.2    Aspectos Teóricos Pertinentes.....	25



2.2.1	Componentes del tránsito.....	25
2.2.2	Infraestructura Vial .....	26
2.2.3	Sistema vial .....	26
2.2.4	Volúmenes de tránsito.....	28
2.2.5	Volúmenes de tránsito absoluto y totales.....	29
2.2.6	Volúmenes de tránsito promedios diarios.....	29
2.2.7	Volúmenes de tránsito horarios.....	30
2.2.8	Patrón de volúmenes .....	31
2.2.9	Composición de volúmenes .....	31
2.2.10	Vehículo de diseño.....	32
2.2.11	Clasificación vehicular.....	32
2.2.12	Variaciones de los volúmenes de tránsito. ....	33
2.2.13	Análisis de flujo vehicular .....	34
2.2.14	Proyección de Volúmenes.....	34
2.2.15	Velocidad .....	36
2.2.16	Nudos .....	38
2.2.17	Rotondas.....	39
2.2.18	Criterios de diseño geométrico de rotondas.....	48
2.2.19	Funcionalidad Operacional .....	67
2.2.20	Modelos de simulación .....	75
2.2.21	Simulación del transporte.....	76
2.2.22	JUNCTIONS – ARCADY .....	77
2.2.23	Barrido de Vehículos .....	78
2.2.24	Dispositivos de control.....	80
2.2.25	Plan General de Usos del Suelo .....	85
2.3	Hipótesis .....	85
2.3.1	Hipótesis general.....	85



2.3.2	Sub- hipótesis .....	86
2.4	Definición de variables .....	86
2.4.1	Variables independientes .....	86
2.4.2	Variables dependientes .....	87
2.4.3	Cuadro de operacionalización de variables.....	89
3	Capitulo III: Metodología .....	90
3.1	Metodología.....	90
3.1.1	Enfoque de la metodología .....	90
3.1.2	Nivel de la investigación.....	90
3.1.3	Método de la investigación .....	90
3.2	Diseño de investigación.....	90
3.2.1	Diseño metodológico .....	90
3.2.2	Diseño de ingeniería.....	91
3.3	Universo y muestra .....	92
3.3.1	Universo .....	92
3.3.2	Muestra.....	93
3.3.3	Criterios de inclusión .....	94
3.4	Instrumentos .....	95
3.4.1	Instrumentos metodológicos .....	95
3.4.2	Instrumentos de ingeniería .....	100
3.5	Procedimiento de recolección de datos .....	104
3.5.1	Recolección de datos de la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores”	104
3.6	Procedimiento de análisis de datos.....	124
3.6.1	Variación horaria del volumen vehicular.....	124
3.6.2	Día y hora de máxima demanda.....	126
3.6.3	Composición vehicular .....	140
3.6.4	Velocidades.....	141



3.6.5	Vehículo de diseño.....	142
3.6.6	Uso de suelos .....	143
3.6.7	Proyecciones de tránsito a futuro .....	144
3.6.8	Determinación del flujo circulante.....	144
3.6.9	Representación de características geométricas y parámetros en una rotonda.....	147
3.6.10	Modelación de las propuestas de rediseño – Junctions 9.....	148
3.6.11	Situación actual – Intersección “Óvalo Libertadores” .....	151
3.6.12	Propuesta N°1 – Rotonda convencional de tres carriles.....	157
3.6.13	Propuesta N°2 – Turborotonda de tres carriles .....	166
3.6.14	Propuesta N°3 – Rotonda convencional con dos pasos a desnivel.....	175
3.6.15	Propuesta N°4 – Rotonda con paso a desnivel (Proyecto Vía Expresa) .....	184
3.6.16	Propuesta N°5 – Rotonda convencional con paso a desnivel.....	193
3.6.17	Señalización .....	202
4	Capítulo IV: Resultados .....	204
5	Capítulo V: Discusión.....	208
	GLOSARIO.....	212
	CONCLUSIONES .....	214
	RECOMENDACIONES .....	216
	REFERENCIAS .....	217
	ANEXOS.....	220



## Índice de tablas

Tabla 1 Parámetros de diseño vinculados a la clasificación de vías urbanas.....	28
Tabla 2 Clasificación vehicular.....	33
Tabla 3 Tasa de crecimiento anual de la población .....	35
Tabla 4 Clasificación de rotondas .....	44
Tabla 5 Diámetro de círculo inscrito.....	48
Tabla 6 Alineación de los ramales .....	49
Tabla 7 Angulo entre los ramales de aproximación .....	50
Tabla 8 Criterios de diseño geométrico - Wardrop.....	52
Tabla 9 Ancho de entrada.....	54
Tabla 10 Rangos de los parámetros para el cálculo de capacidad .....	70
Tabla 11 Nivel de servicio para intersecciones semaforizadas.....	72
Tabla 12 Nivel de servicio para rotondas.....	72
Tabla 13 Radios y longitudes de cuerda para resalto de sección circular .....	84
Tabla 14 Longitudes de rampas y pendientes para resalto de sección trapezoidal .....	84
Tabla 15 Cuadro de operacionalización de variables.....	89
Tabla 16 Ficha de aforo vehicular.....	95
Tabla 17 Ficha de aforo vehicular - flujos vehiculares .....	96
Tabla 18 Ficha de características geométricas .....	96
Tabla 19 Ficha de velocidad de aproximación.....	97
Tabla 20 Ficha de velocidad de ingreso .....	97
Tabla 21 Ficha de velocidad de circulación .....	97
Tabla 22 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. Qosqo .....	98
Tabla 23 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. 28 de Julio .....	98
Tabla 24 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. Velasco Astete.....	99
Tabla 25 Ficha de longitud de colas – Aproximación Vía Expresa .....	99
Tabla 26 Ficha de ciclo semafórico.....	100
Tabla 27 Ficha de inventario vial.....	100
Tabla 28 Aforo vehicular jueves – Av. Velasco Astete .....	109
Tabla 29 Aforo vehicular viernes – Av. Velasco Astete.....	110
Tabla 30 Aforo vehicular sábado – Av. Velasco Astete .....	111
Tabla 31 Aforo vehicular lunes – Av. Velasco Astete.....	112
Tabla 32 Aforo vehicular martes – Av. Velasco Astete.....	113



Tabla 33 Aforo vehicular jueves– Av. 28 de Julio.....	114
Tabla 34 Aforo vehicular viernes– Av. 28 de Julio .....	115
Tabla 35 Aforo vehicular sábado – Av. 28 de Julio.....	116
Tabla 36 Aforo vehicular lunes – Av. 28 de Julio .....	117
Tabla 37 Aforo vehicular martes – Av. 28 de Julio .....	118
Tabla 38 Características geométricas Av. 28 de julio - 01.....	119
Tabla 39 Características geométricas Av. 28 de julio - 02.....	119
Tabla 40 Características geométricas Av. 28 de julio - 03.....	120
Tabla 41 Características geométricas Av. 28 de julio - 04.....	120
Tabla 42 Características geométricas Av. Velasco Astete - 01.....	120
Tabla 43 Características geométricas Av. Velasco Astete - 02.....	121
Tabla 44 Características geométricas Av. Qosqo - 01 .....	121
Tabla 45 Características geométricas Av. Qosqo - 02 .....	121
Tabla 46 Características geométricas Vía Expresa - 01 .....	122
Tabla 47 Características geométricas Vía Expresa - 02 .....	122
Tabla 48 Características geométricas “Ovalito Libertadores” .....	122
Tabla 49 Ciclo semafórico Av. 28 de Julio.....	123
Tabla 50 Ciclo semafórico Av. Velasco Astete .....	123
Tabla 51 Ciclo semafórico Av. Qosqo .....	123
Tabla 52 Ciclo semafórico Av. Qosqo.....	124
Tabla 53 Volumen diario – Av. Velasco Astete.....	126
Tabla 54 Volumen diario – Av. 28 de Julio .....	127
Tabla 55 Determinación del factor horario de máxima demanda .....	129
Tabla 56 Aforo vehicular Av. 28 de Julio – Periodo de máxima demanda .....	131
Tabla 57 Aforo vehicular Av. Qosqo– Periodo de máxima demanda .....	132
Tabla 58 Aforo vehicular Av. Velasco Astete– Periodo de máxima demanda.....	133
Tabla 59 Aforo vehicular Vía Expresa– Periodo de máxima demanda .....	134
Tabla 60 Determinación de la hora de mayor demanda.....	135
Tabla 61 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. 28 de Julio .....	136
Tabla 62 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. Velasco Astete.....	137
Tabla 63 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. Qosqo .....	138
Tabla 64 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Vía Expresa .....	139
Tabla 65 Composición vehicular en la hora de máxima demanda.....	140
Tabla 66 Velocidades promedio por aproximación .....	142



Tabla 67 Proyecciones futuras a 25 años .....	144
Tabla 68 Características de diseño geométrico – Situación actual .....	152
Tabla 69 Radios de camino rápido – Situación actual .....	152
Tabla 70 Distancias de visibilidad – Situación actual.....	152
Tabla 71 Parámetros para el modelo TRL- situación actual .....	153
Tabla 72 Calculo de capacidad – situación actual.....	153
Tabla 73 Longitudes de cola – situación actual .....	156
Tabla 74 Niveles de servicio – Situación Actual .....	156
Tabla 75 Características de diseño geométrico – Propuesta N°1 .....	158
Tabla 76 Radios de camino rápido – Propuesta N°1 .....	158
Tabla 77 Distancias de visibilidad – Propuesta N°1.....	159
Tabla 78 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°1 .....	159
Tabla 79 Calculo de capacidad – Propuesta N° 1.....	159
Tabla 80 Longitudes de cola – Propuesta N°1 .....	162
Tabla 81 Niveles de servicio – Propuesta N°1 – Volúmenes actuales .....	162
Tabla 82 Niveles de servicio – Propuesta N°1 – proyección futura .....	164
Tabla 83 Longitudes de cola – Propuesta N°1 – proyección futura .....	165
Tabla 84 Características de diseño geométrico – Propuesta N°2 .....	167
Tabla 85 Radios de camino rápido – Propuesta N°2.....	167
Tabla 86 Distancias de visibilidad – Propuesta N°2.....	168
Tabla 87 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°2 .....	168
Tabla 88 Calculo de capacidad – Propuesta N°2.....	168
Tabla 89 Longitudes de cola – situación actual .....	171
Tabla 90 Niveles de servicio – Propuesta N°2 – Volúmenes actuales .....	171
Tabla 91 Niveles de servicio – Propuesta N°2 – proyección futura .....	173
Tabla 92 Longitudes de cola – Propuesta N°2 – proyección futura .....	174
Tabla 93 Características de diseño geométrico – Propuesta N°3 .....	176
Tabla 94 Radios de camino rápido – Propuesta N°3 .....	176
Tabla 95 Distancias de visibilidad – Propuesta N°3.....	177
Tabla 96 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°3 .....	177
Tabla 97 Calculo de capacidad – Propuesta N°3.....	177
Tabla 98 Longitudes de cola – situación actual .....	180
Tabla 99 Niveles de servicio – Propuesta N°3 – Volúmenes actuales .....	180
Tabla 100 Niveles de servicio – Propuesta N°3 – proyección futura .....	182



Tabla 101 Longitudes de cola – Propuesta N°3 – proyección futura .....	183
Tabla 102 Características de diseño geométrico – Propuesta N°4 .....	185
Tabla 103 Radios de camino rápido – Propuesta N°4 .....	185
Tabla 104 Distancias de visibilidad – Propuesta N°4.....	186
Tabla 105 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°4 .....	186
Tabla 106 Calculo de capacidad – Propuesta N°4.....	186
Tabla 107 Longitudes de cola – situación actual .....	189
Tabla 108 Niveles de servicio – Propuesta N°4 – Volúmenes actuales .....	189
Tabla 109 Niveles de servicio – Propuesta N°4 – proyección futura .....	191
Tabla 110 Longitudes de cola – Propuesta N°4 – proyección futura .....	192
Tabla 111 Características de diseño geométrico – Propuesta N°5 .....	194
Tabla 112 Radios de camino rápido – Propuesta N°5 .....	194
Tabla 113 Distancias de visibilidad – Propuesta N°5.....	195
Tabla 114 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°5 .....	195
Tabla 115 Calculo de capacidad – Propuesta N°5.....	195
Tabla 116 Longitudes de cola – situación actual .....	198
Tabla 117 Niveles de servicio – Propuesta N°5 – Volúmenes actuales .....	198
Tabla 118 Niveles de servicio – Propuesta N°5 – proyección futura .....	200
Tabla 119 Longitudes de cola – Propuesta N°5 – proyección futura .....	201
Tabla 120 Comparación de los niveles de servicio por propuesta frente a la situación actual .....	205
Tabla 121 Comparación de los niveles de servicio entre las propuestas de rediseño en la proyección a 25 años .....	207
Tabla 122 Matriz de consistencia.....	221
Tabla 123 Ficha de inventario vial aproximación Vía Expresa .....	222
Tabla 124 Ficha de inventario vial aproximación Av. 28 de Julio .....	223
Tabla 125 Ficha de inventario vial aproximación Av. Qosqo.....	224
Tabla 126 Ficha de inventario vial aproximación Av. Velasco Astete.....	225
Tabla 127 Determinación de las velocidades de la Av. 28 de Julio.....	226
Tabla 128 Determinación de las velocidades de la Av. Velasco Astete .....	227
Tabla 129 Determinación de las velocidades de la Av. Qosqo.....	228
Tabla 130 Determinación de las velocidades de la Vía Expresa.....	229
Tabla 131 Determinación de las distancias de visibilidad en la situación actual.....	230
Tabla 132 Determinación de las distancias de visibilidad en la propuesta N°1 .....	231



Tabla 133 Determinación de las distancias de visibilidad en la propuesta N°2 .....	232
Tabla 134 Determinación de las distancias de visibilidad en la propuesta N°3 .....	233
Tabla 135 Determinación de las distancias de visibilidad en la propuesta N°4 .....	234
Tabla 136 Determinación de las distancias de visibilidad en la propuesta N°5 .....	235
Tabla 137 Puntos de levantamiento topográfico .....	249

### Índice de figuras

Figura 1 Ubicación geográfica de la investigación .....	1
Figura 2 Vías nacionales y regionales en la intersección “Ovalo Libertadores” .....	2
Figura 3 Circulación vehicular en la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” .....	3
Figura 4 Problema uno en la intersección “Ovalo Libertadores” .....	4
Figura 5 Problema dos en la intersección “Ovalo Libertadores” .....	5
Figura 6 Problema tres en la intersección “Ovalo Libertadores” .....	6
Figura 7 Colas generadas en la calzada de circulación .....	6
Figura 8 Colas generadas por la Av. Qosqo – Av. Velasco Astete .....	7
Figura 9 Flujo vehicular en la Av. Qosqo .....	8
Figura 10 Giro en U en la Av. Qosqo .....	8
Figura 11 Colas máximas generadas en la Av. Qosqo .....	9
Figura 12 Colas generadas en la Av. Qosqo .....	9
Figura 13 Vehículo de gran longitud ingresando a la intersección “Ovalo Libertadores” .....	11
Figura 14 Colas máximas generadas en la Av. 28 de Julio .....	11
Figura 15 Colas máximas generadas en la Av. 28 de Julio .....	12
Figura 16 Colas generadas en la Av. 28 de Julio .....	12
Figura 17 Superposición de carriles en el ingreso de la Av. Velasco Astete .....	13
Figura 18 Colas máximas generadas en la Av. Velasco Astete .....	14
Figura 19 Colas generadas en la Av. Velasco Astete - 1 .....	14
Figura 20 Colas generadas en la Av. Velasco Astete - 2 .....	15
Figura 21 Señal reguladora en la Vía Expresa .....	16
Figura 22 Colas máximas generadas en la Vía Expresa .....	16
Figura 23 Colas generadas en el giro exclusivo de la Vía Expresa .....	17
Figura 24 Colas generadas en la Vía Expresa .....	17
Figura 25 Forma general de las variaciones del volumen de tránsito .....	31



Figura 26 Tasa de crecimiento promedio anual por departamento .....	36
Figura 27 Representación esquemática de intersección y enlaces .....	38
Figura 28 Tipos de intersecciones .....	38
Figura 29 Tipo de intersección apropiada según intensidad media diaria .....	39
Figura 30 Esquema de una intersección giratoria o rotonda .....	40
Figura 31 Elementos de una rotonda.....	41
Figura 32 Puntos de conflicto entre una intersección tipo cruz y una glorieta .....	42
Figura 33 Puntos de conflicto entre rotonda doble carril y turbo rotonda .....	42
Figura 34 Radios de camino rápido.....	43
Figura 35 Mini-rotonda .....	44
Figura 36 Rotonda de un carril.....	45
Figura 37 Rotonda de varios carriles.....	46
Figura 38 Detalle bloque-turbo de uno a cuatro ejes .....	46
Figura 39 Turborotonda .....	47
Figura 40 Esquema básico de una intersección tipo rotonda o glorieta .....	51
Figura 41 Elementos contenidos en la fórmula de Wardrop .....	52
Figura 42 Ensanchamiento de aproximación mediante un carril completo agregado.....	54
Figura 43 Ensanchamiento de aproximación mediante un ensanche gradual de la entrada ....	55
Figura 44 Vía principal de varios carriles y un carril en la vía secundaria .....	56
Figura 45 Rotonda de dos carriles con doble giro a la izquierda .....	56
Figura 46 Superposición de trayectoria en el ingreso de vehículos .....	57
Figura 47 Alineación de la aproximación .....	58
Figura 48 Dimensiones mínimas de la isla divisoria.....	59
Figura 49 Conflicto en la salida causado por la separación larga entre las aproximaciones ...	60
Figura 50 Posibles modificaciones de la configuración de carril para resolver conflictos en la salida.....	60
Figura 51 Realineación para resolver conflictos en la salida .....	61
Figura 52 Trayectoria de vehículo de diseño con isla canalizadora en la entrada .....	61
Figura 53 Relación velocidad-radio .....	62
Figura 54 Ejemplo de camino rápido en la Intersección de US 50/Connector Road en Emporia, Kansas.....	62
Figura 55 Distancia visual de parada en la entrada a la rotonda .....	64



Figura 56 Distancia visual de parada en la calzada de circulación .....	64
Figura 57 Distancia visual de parada al paso de peatones en la salida .....	64
Figura 58 Distancia visual a la intersección.....	65
Figura 59 Distancias visuales en rotondas .....	66
Figura 60 Parámetros geométricos para el cálculo de capacidad de rotondas método TRRL .	69
Figura 61 Método TRRL.....	69
Figura 62 Clasificación de los modelos de simulación según el nivel de detalle .....	76
Figura 63 Interfaz del programa Junctions 9 Student Version.....	78
Figura 64 Vehicle Tracking - Software.....	79
Figura 65 Barrido de vehículo de diseño .....	79
Figura 66 Señales reguladoras o de reglamentación .....	80
Figura 67 Señales de prevención.....	80
Figura 68 Señales de información para una rotonda .....	81
Figura 69 Delineador de piso tipo tachón .....	81
Figura 70 Demarcación para rotondas .....	82
Figura 71 Resalto tipo circular .....	83
Figura 72 Resalto trapezoidal.....	83
Figura 73 Resalto tipo cojines.....	84
Figura 74 Sección típica de resalto circular y trapezoidal .....	84
Figura 75 Uso de suelo – Zona de estudio .....	85
Figura 76 Diseño de ingeniería .....	91
Figura 77 Estación total.....	101
Figura 78 Nivel de ingeniero.....	101
Figura 79 Cámara DSLR.....	101
Figura 80 Cámara filmadora .....	102
Figura 81 Cronometro .....	102
Figura 82 Cinta métrica.....	102
Figura 83 Laptop .....	103
Figura 84 AutoCAD Civil 3D.....	103
Figura 85 Microsoft Excel.....	103
Figura 86 Junctions 9 Student Version .....	104
Figura 87 Ficha de inventario vial.....	104



Figura 88 Codificación de movimientos vehiculares .....	105
Figura 89 Puntos de aforo vehicular .....	105
Figura 90 Vista desde el punto uno de aforo vehicular .....	106
Figura 91 Vista desde el punto dos de aforo vehicular .....	106
Figura 92 Vista desde el punto tres de aforo vehicular .....	107
Figura 93 Variación horaria del volumen vehicular – Av. Velasco Astete.....	124
Figura 94 Variación horaria del volumen vehicular – Av. 28 de Julio .....	125
Figura 95 Variación horaria del volumen vehicular en día atípico– Av. Velasco Astete .....	125
Figura 96 Variación horaria del volumen vehicular en día atípico – Av. 28 de Julio.....	126
Figura 97 Variación diaria del volumen vehicular en la intersección “Ovalo Libertadores”	127
Figura 98 Variación horaria de las Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio.....	128
Figura 99 Volumen vehicular de las Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio .....	128
Figura 100 Variación del volumen vehicular en el periodo de máxima demanda .....	130
Figura 101 Composición vehicular de la intersección .....	140
Figura 102 Composición vehicular de la intersección .....	141
Figura 103 Composición vehicular de vehículos pesados .....	141
Figura 104 Vehículo de diseño T3S3 .....	142
Figura 105 Vehículo de diseño camión de 3 ejes.....	142
Figura 106 Uso de suelo – zona de estudio.....	143
Figura 107 Flujos circulantes – Volúmenes actuales .....	145
Figura 108 Flujos circulantes – proyección futura.....	146
Figura 109 Flujos circulantes para propuesta N°4 – situación actual.....	146
Figura 110 Flujos circulantes para propuesta N°4 – proyección futura .....	147
Figura 111 Características geométricas de una rotonda.....	147
Figura 112 Parámetros para el modelo UK TRL .....	148
Figura 113 Definir intersección Junctions 9 .....	149
Figura 114 Definir unidades Junctions 9.....	149
Figura 115 Plano de fondo Junctions 9 .....	149
Figura 116 Características geométricas Junctions 9 .....	150
Figura 117 Origen destino Junctions 9.....	150
Figura 118 Situación actual.....	151
Figura 119 Capacidad por aproximación – situación actual .....	153



Figura 120 Área de barrido en la Av. 28 de Julio – Situación actual.....	154
Figura 121 Área de barrido en la Av. Velasco Astete – Situación actual .....	155
Figura 122 Propuesta N°1.....	157
Figura 123 Capacidad por aproximación – Propuesta N°1 .....	160
Figura 124 Área de barrido 1 – Propuesta N°1 .....	160
Figura 125 Área de barrido 2 – Propuesta N°1 .....	161
Figura 126 Superposición de la propuesta N°1 .....	163
Figura 127 Capacidad por aproximación – Propuesta N°1 (25 años) .....	164
Figura 128 Propuesta N°2.....	166
Figura 129 Capacidad por aproximación – Propuesta N°2 .....	169
Figura 130 Área de barrido 1 – Propuesta N°2 .....	169
Figura 131 Área de barrido 2 – Propuesta N°2 .....	170
Figura 132 Superposición de la propuesta N°2 .....	172
Figura 133 Capacidad por aproximación – Propuesta N°2 (25 años) .....	173
Figura 134 Propuesta N°3.....	175
Figura 135 Capacidad por aproximación – Propuesta N°3 .....	178
Figura 136 Área de barrido 1 – Propuesta N°3 .....	178
Figura 137 Área de barrido 2 – Propuesta N°3 .....	179
Figura 138 Superposición de la propuesta N°3 .....	181
Figura 139 Capacidad por aproximación – Propuesta N°3 (25 años) .....	182
Figura 140 Propuesta N°4.....	184
Figura 141 Capacidad por aproximación – Propuesta N°4 .....	187
Figura 142 Área de barrido 1 – Propuesta N°4 .....	187
Figura 143 Área de barrido 2 – Propuesta N°4 .....	188
Figura 144 Superposición de la propuesta N°4 .....	190
Figura 145 Capacidad por aproximación – Propuesta N°4 (25 años) .....	191
Figura 146 Propuesta N°5.....	193
Figura 147 Capacidad por aproximación – Propuesta N°5 .....	196
Figura 148 Área de barrido 1 – Propuesta N°5 .....	196
Figura 149 Área de barrido 2 – Propuesta N°5 .....	197
Figura 150 Superposición de la propuesta N°5 .....	199
Figura 151 Capacidad por aproximación – Propuesta N°5 (25 años) .....	200



Figura 152 Señalización empleada 1 .....	202
Figura 153 Señalización empleada 2 .....	203
Figura 154 Comparación de la capacidad de la intersección por propuesta frente a la situación actual .....	204
Figura 155 Comparación de la longitud de cola máxima por propuesta frente a la situación actual .....	204
Figura 156 Comparación de la capacidad total de la intersección en la proyección a 25 años entre las propuestas de rediseño .....	206
Figura 157 Comparación de la capacidad total de la intersección en la proyección a 25 años entre las propuestas de rediseño .....	206
Figura 158 Aumento de la capacidad en porcentaje en comparación a la situación actual ...	207
Figura 159 Regresión lineal UK -TRL – situación actual.....	236
Figura 160 Regresión lineal UK -TRL – Propuesta N°1 .....	236
Figura 161 Regresión lineal UK -TRL – Propuesta N°2.....	237
Figura 162 Regresión lineal UK -TRL – Propuesta N°3 .....	237
Figura 163 Regresión lineal UK -TRL – Propuesta N°4.....	238
Figura 164 Regresión lineal UK -TRL – Propuesta N°5.....	238
Figura 165 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – situación actual.....	239
Figura 166 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – situación actual .....	239
Figura 167 Modelación de la situación actual software Junctions 9 .....	239
Figura 168 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – propuesta N°1 .....	240
Figura 169 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – propuesta N°1 .....	240
Figura 170 Modelación de la propuesta N°1 software Junctions 9 .....	240
Figura 171 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – propuesta N°1 .....	241
Figura 172 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – propuesta N°2 .....	241
Figura 173 Modelación de la propuesta N° 2 software Junctions 9 .....	241
Figura 174 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – propuesta N°3 .....	242
Figura 175 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – propuesta N°3 .....	242
Figura 176 Modelación de la propuesta N° 3 software Junctions 9 .....	242
Figura 177 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – propuesta N°4 .....	243
Figura 178 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – propuesta N°4 .....	243
Figura 179 Modelación de la propuesta N° 4 software Junctions 9 .....	243



Figura 180 Aproximaciones de entrada al software Junctions 9 – propuesta N°5 .....	244
Figura 181 Parámetros geométricos al software Junctions 9 – propuesta N°5 .....	244
Figura 182 Modelación de la propuesta N° 5 software Junctions 9 .....	244
Figura 183 Ajuste de parámetros de capacidad – Junctions 9.....	245
Figura 184 Ejemplo de una evaluación de una propuesta – Junctions 9.....	245
Figura 185 Reducción de carriles en la calzada de circulación.....	246
Figura 186 Colas por no respetar la señal de transito .....	246
Figura 187 Aforo con cámara filmadora .....	247
Figura 188 Punto de aforo vehicular – Parque Pukllaycancha.....	247
Figura 189 Levantamiento topográfico .....	248
Figura 190 Aforo vehicular en el periodo de estudio.....	248

## 1 Capítulo I: Planteamiento del problema

### 1.1 Identificación del Problema

#### 1.1.1 Descripción del problema

##### Ubicación Geográfica

Esta investigación se desarrolla en la ciudad del Cusco, en la Provincia de Cusco, Región de Cusco, y se ubica como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 1 Ubicación geográfica de la investigación

Fuente: INEI, 2014

La zona de estudio del presente trabajo de investigación es la intersección a nivel denominada “Óvalo Libertadores” cuyo centro está ubicado en coordenadas  $13^{\circ}31'59.3''S$   $71^{\circ}57'19.0''W$ , y está delimitada por las aproximaciones: Av. 28 de Julio, Av. Velasco Astete, Av. Qosqo y la Vía Expresa. En la intersección “Óvalo Libertadores” circulan grandes volúmenes vehiculares provenientes de las cuatro aproximaciones presentes generándose muchos problemas por congestión vehicular, esto se produce debido a que la intersección conecta varios polos de atracción en la ciudad del Cusco, entre ellos hacia el norte el Hospital Nacional “Adolfo Guevara Velasco” – EsSalud, el Coliseo Casa de la Juventud - IPD, la UNSAAC ,el Hospital Regional del Cusco y el centro comercial Real Plaza Cusco, al oeste el centro histórico de la Ciudad del Cusco, hacia al este la Vía Expresa que representa una de las pocas vías longitudinales que actualmente es un proyecto de mejora vial; hacia al sur tenemos el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete, junto con la Vía de Evitamiento, este último representa una de las salidas principales hacia el sur de la ciudad; de esta manera en la figura 2 se muestra que en esta intersección circula una vía nacional de denominación PE-3S que conecta la Av. 28 de Julio con la Vía Expresa haciendo uso de la intersección a nivel, y una

vía regional cuya denominación es PE-28G que inicia en la Av. Qosqo dando salida desde la intersección hacia el Valle Sagrado de los Incas según el sistema nacional de carreteras (SINAC).

Actualmente la ciudad del Cusco no cuenta con suficientes ejes de vías transversales y longitudinales lo que origina que la interacción a nivel denominada “Ovalo Libertadores” se vuelva una vía de paso obligatorio para los conductores, volúmenes altos provienen desde la Vía de Evitamiento junto al volumen que genera la presencia del Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete que se aproximan por la Av. Velasco Astete, así mismo los vehículos pesados que se aproximan por la Vía Expresa debido a la restricción que se presenta a la altura del cuarto paradero de San Sebastián que obliga el paso hacia esta avenida, por último la población existente en el sector de Agua Buena y todo su prolongación que desean transportarse hacia el otro lado de la ciudad presentan dificultades debido al problema mencionado al inicio de este párrafo.



Figura 2 Vías nacionales y regionales en la intersección “Ovalo Libertadores”

Fuente: Adaptación propia

Como ya se mencionó anteriormente la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” presenta un gran volumen vehicular lo cual genera que el flujo vehicular no sea libre e ininterrumpido, la circulación vehicular está definida por el diseño geométrico propio de la intersección y sus aproximaciones la cual se ve afectada al no presentar características propias de rotondas, así mismo se puede apreciar que la composición vehicular es variada, está compuesta desde



vehículos pequeños hasta vehículos pesados de grandes longitudes. Al tener características de una intersección giratoria se muestra que existen entre 3 a 4 movimientos por aproximación (hacia la izquierda, derecha, de frente y en U), los cuales generan diversos problemas en la circulación dentro de la intersección a nivel.



Figura 3 Circulación vehicular en la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”

Fuente: Propia

Unos de los problemas más recurrentes presentes en la intersección a nivel es el ingreso de vehículos de la Av. 28 de Julio y de la Vía Expresa hacia la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” el ingreso se da al mismo tiempo debido a que comparten las mismas fases semafóricas, esto genera que en zonas específicas se produzcan colas por los movimientos de ingreso hacia la intersección desde las aproximaciones, en la figura 4 se puede observar que los flujos de la aproximación de la Av. 28 de Julio definidos por líneas de color azul, realizan un movimiento libre hacia la derecha con dirección hacia la Av. Velasco Astete, de igual manera el movimiento de frente hacia la Vía Expresa, sin embargo los movimientos hacia la izquierda con dirección hacia la Av. Qosqo se observa que los vehículos se ven obligados a realizar una pausa en su recorrido debido a que los vehículos circulantes de la Vía Expresa van con dirección hacia la Av. 28 de Julio esto hasta que termine la fase verde del semáforo de la Vía Expresa, de igual manera se puede observar los flujos de la aproximación de la Vía expresa definidos por líneas de color morado, el giro hacia la derecha con dirección hacia la Av. Qosqo se caracteriza por ser un giro exclusivo, el movimiento hacia la izquierda con dirección a la Av. Velasco Astete tiene una restricción solo para vehículos de servicio Urbano obligando a todos aquellos vehículos que desean ir con dirección a la Av. Velasco Astete deben de tomar una ruta

alterna con dirección hacia la Av. Qosqo realizando un giro en U como se muestra en la figura 8 con dirección hacia la Av. Velasco Astete, se pudo observar que un pequeño porcentaje de vehículos no respetan esta restricción generando colas en la calzada de circulación con dirección hacia la Av., Velasco Astete.

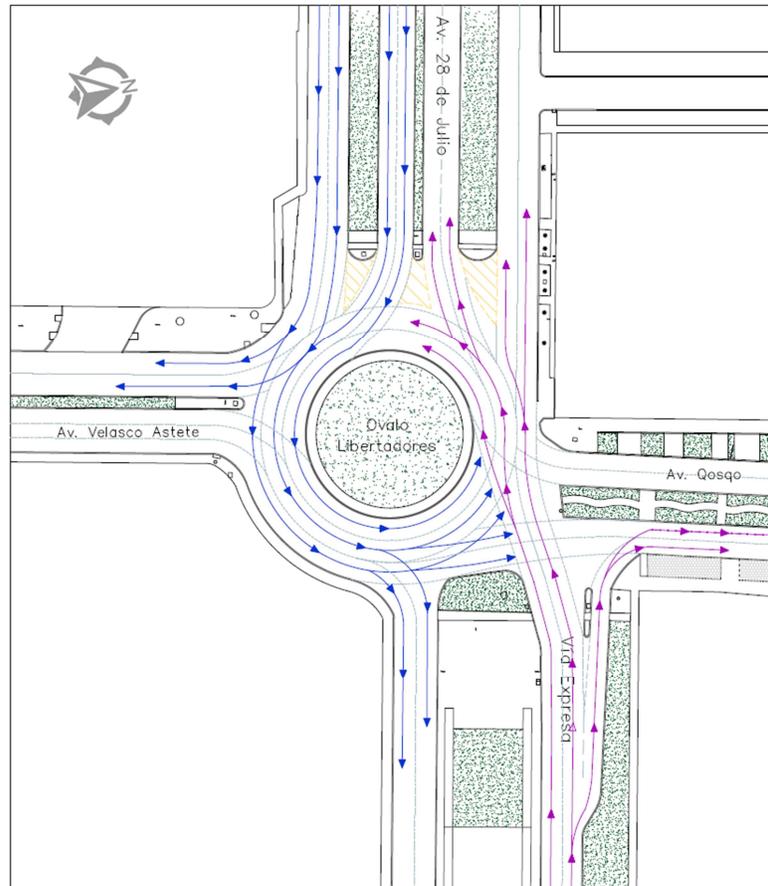


Figura 4 Problema uno en la intersección “Ovalo Libertadores”

Fuente: Propia

Los vehículos de la Av. Qosqo y la Av. Velasco Astete ingresan a la intersección a nivel “ovalito Libertadores” al mismo tiempo debido a que su fase en verde se da al mismo tiempo pero con diferentes periodos, un problema muy particular es cuando los vehículos provenientes de la Av. 28 de Julio que no terminaron su recorrido en la anterior fase, generando colas en la calzada de circulación como esta denotado por líneas color azul en la figura 5, en consecuencia los vehículos que ingresan de la Av. Velasco Astete denotado por líneas color rojo, se suman a estas colas ya existentes mencionadas anteriormente.

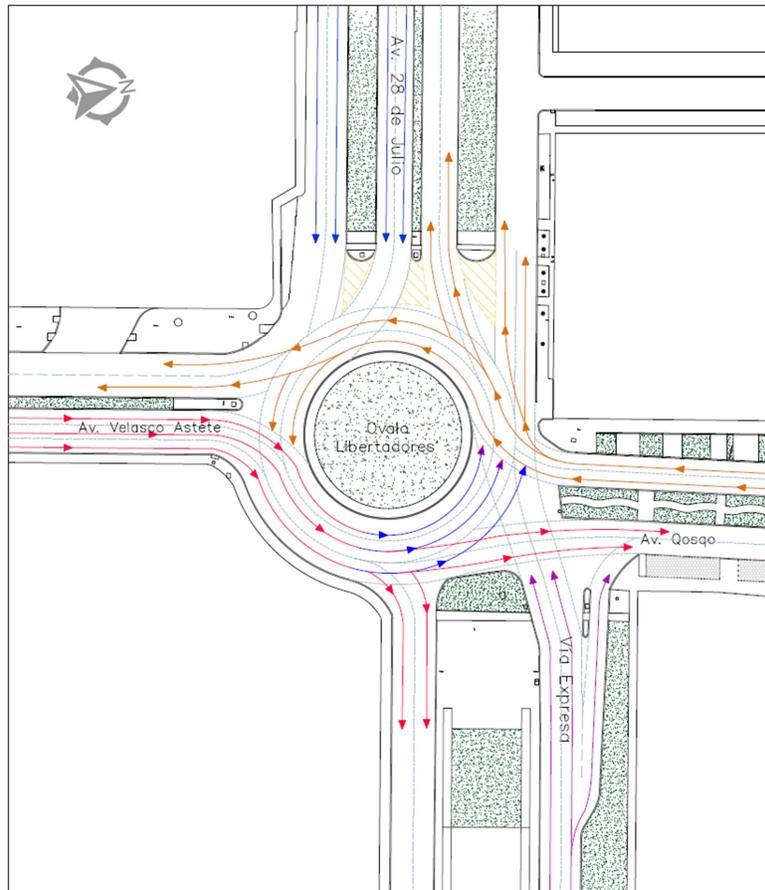


Figura 5 Problema dos en la intersección “Oval Libertadores”

Fuente: Propia

Un problema muy particular, pero a la vez muy frecuente en la intersección a nivel se da cuando los vehículos circulantes de la Av. Velasco Astete no terminaron su recorrido denotado con líneas roja como se observa en la figura 6, se generan colas debido a que la fase verde de la Vía Expresa empezó sin que los vehículos de la Av. Velasco Astete terminen su recorrido dentro de la intersección, esto a la vez genera que los vehículos de la Av. 28 de Julio representados por líneas color azul, que están ingresando al mismo instante que los vehículos de la Vía Expresa representados por líneas color morado, se ven afectadas por las colas generadas por los vehículos de la Av. Velasco Astete, generando mayores colas en la calzada de circulación, lo que ocasiona que en ciertos momentos los vehículos que se aproximan por la Av. 28 de Julio se queden en la fase roja haciendo que las colas en esta aproximación aumenten.

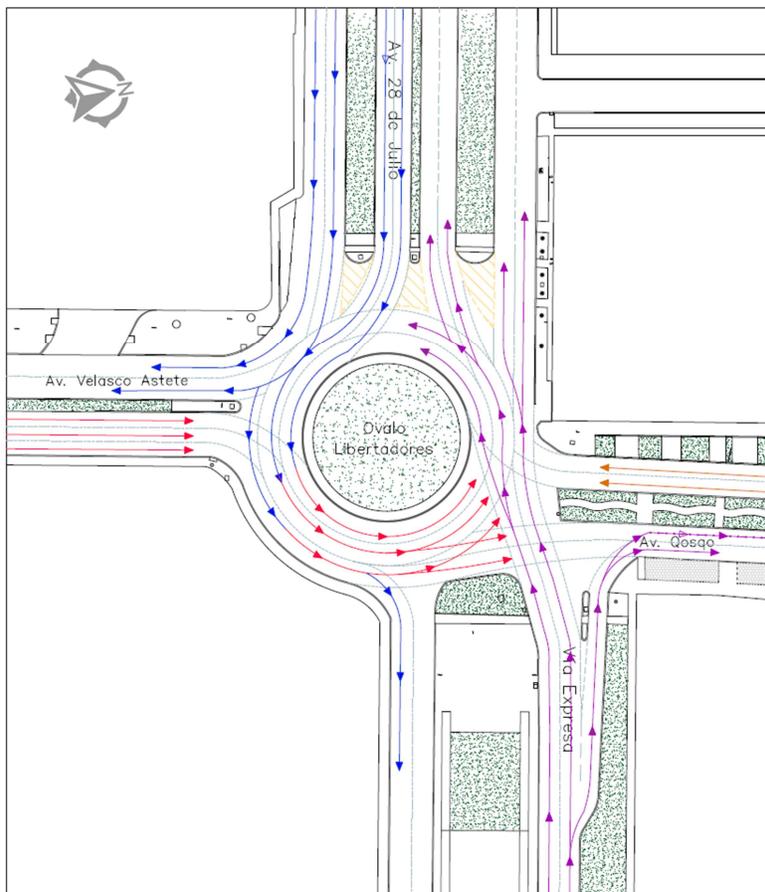


Figura 6 Problema tres en la intersección "Ovalo Libertadores"

Fuente: Propia



Figura 7 Colas generadas en la calzada de circulación

Fuente: Propia



Figura 8 Colas generadas por la Av. Qosqo – Av. Velasco Astete

Fuente: Propia

### **Aproximación 1 – Av. Qosqo:**

La aproximación de la Av. Qosqo cuenta con una vía de ingreso de dos carriles con 3 metros de ancho cada uno y una vía de salida con dos carriles de 3 metros de ancho por carril, las vías presentan pavimento rígido en buen estado, además las fases del ciclo semafórico que regula ingreso de los vehículos son de 25 segundos en la fase verde, 3 segundos en ámbar y 72 en la fase roja. La geometría del ingreso y de la salida no es propio a un óptimo diseño geométrico de una rotonda, la aproximación presenta una alineación hacia la izquierda del centro de la rotonda, la zona de entrada a la intersección no permite un adecuado ingreso de los vehículos produciendo velocidades bajas de ingreso a la intersección, entonces el ingreso de esta aproximación se puede definir como una adaptación a las características de la intersección.

En la vía de ingreso a la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” no hay presencia de estacionamientos no permitidos ni paraderos de empresas de transporte público. En horas críticas las colas en esta vía pueden alcanzar un valor aproximado de 150 m cruzando la intersección con la Av. Libertad, debido a la presencia de un giro en U se generan colas en la vía, gran porcentaje de los vehículos que realizan este giro es debido a una restricción ubicada en la Vía Expresa, en la siguiente figura 9 se muestra como es el desplazamiento de los vehículos representado por las flechas y líneas punteadas de color morado, cuando los conductores realizan el giro en U obstruyen el ingreso de los vehículos que se aproximan a la intersección representados de color naranja.

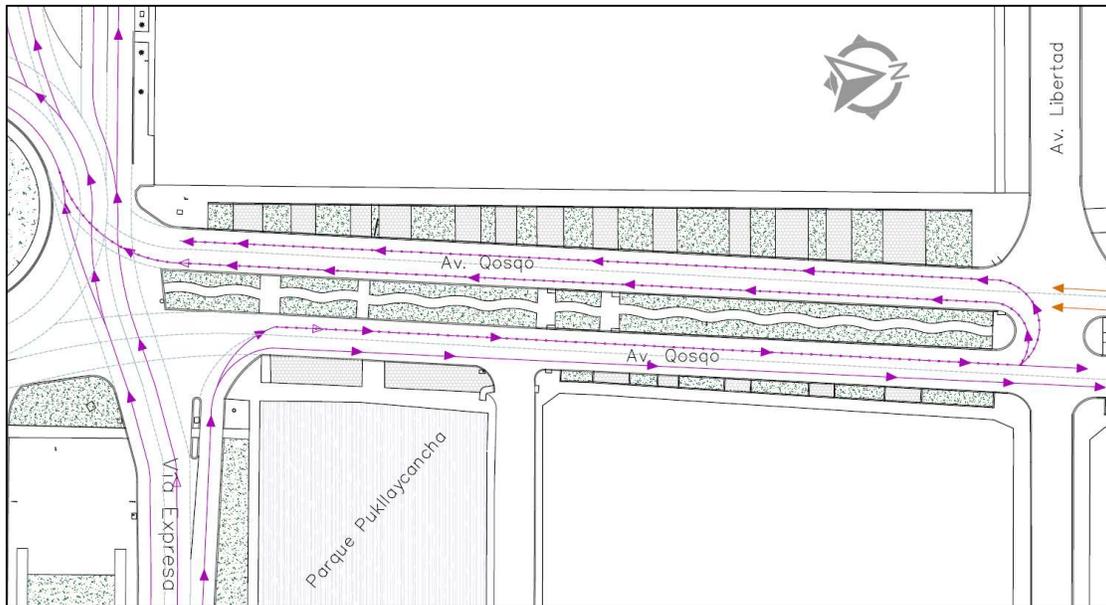


Figura 9 Flujo vehicular en la Av. Qosqo

Fuente: Propia



Figura 10 Giro en U en la Av. Qosqo

Fuente: Propia

En el inicio de la vía de salida de la aproximación, esta presenta un ingreso de volumen vehicular por parte de un giro exclusivo a la derecha proveniente de la Vía Expresa, a lo largo de la vía de salida en el carril derecho se observa presencia de estacionamiento no permitidos, debido a esto la capacidad de la vía se reduce generándose colas; en la intersección entre la Av. Qosqo y la Av. Libertad existe la presencia de un giro en U permitido donde también se generan colas vehiculares. A la altura de la puerta principal del parque Pukllaycancha existe el paradero



de la empresa de transporte público “Ttio- La florida” el cual incide en la generación de colas por parte de los vehículos que ingresan por el giro exclusivo ya mencionado anteriormente. En la siguiente figura 11 se aprecia las colas máximas colas que se generan en la Av. Qosqo representadas por el sombreado naranja con una longitud equivalente a 140 m y en la figura 12 se muestra las colas generadas durante el estudio de la zona.

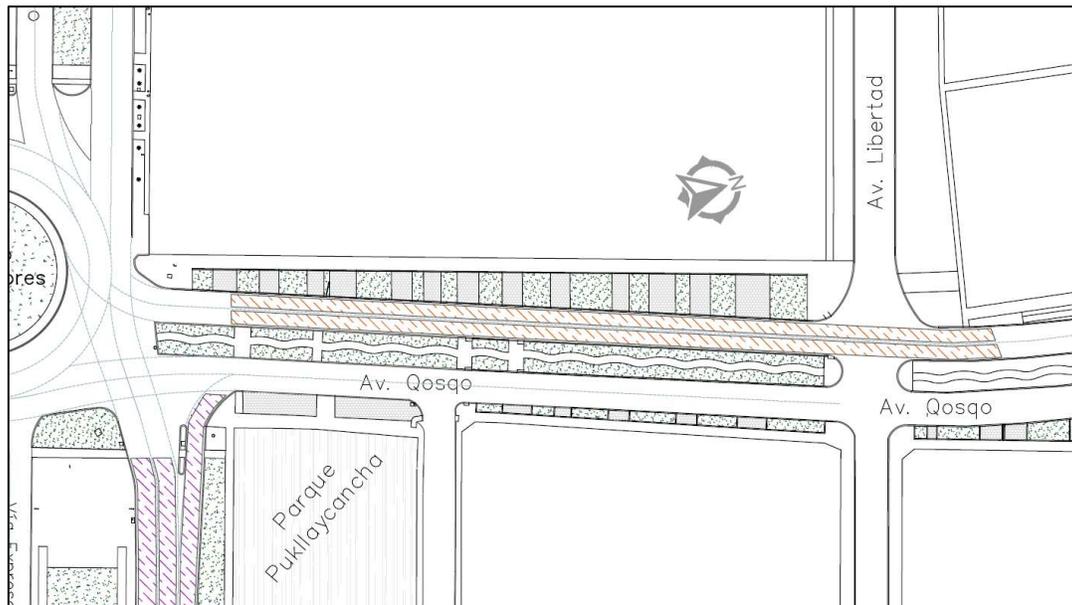


Figura 11 Colas máximas generadas en la Av. Qosqo

Fuente: Propia

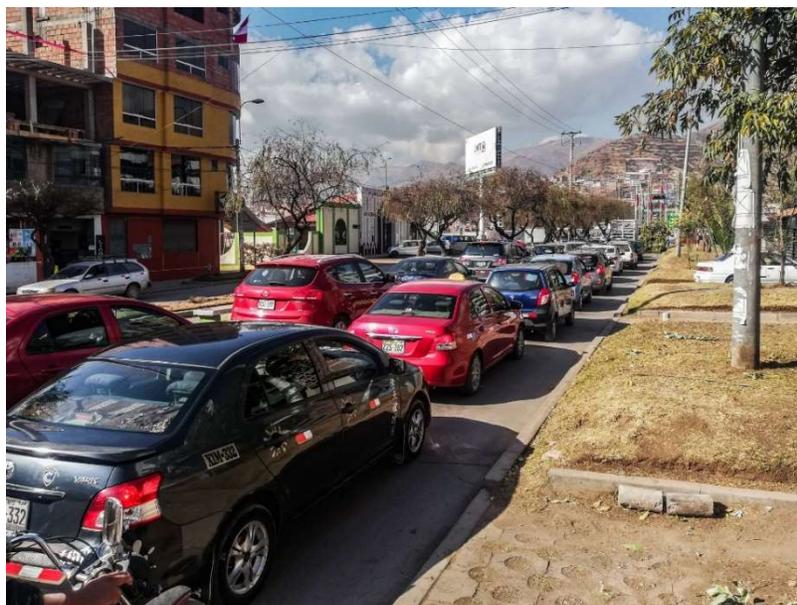


Figura 12 Colas generadas en la Av. Qosqo

Fuente: Propia



### **Aproximación 2 – Av. 28 de Julio:**

Esta aproximación está conformada por 2 vías principales de ingreso y salida ubicadas al medio de la alineación con respecto al centro de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y con 2 vías auxiliares de ingreso y salida ubicadas a los extremos, las vías principales de ingreso y salida presentan dos carriles cada una con un ancho de 3.3 metros por carril, las vías auxiliares también presentan dos carriles cada una con un ancho de 3.8 metros por carril; la Av. 28 de Julio presenta pavimento rígido en buen estado, además las fases del ciclo semafórico que regula ingreso de los vehículos son de 40 segundos en la fase verde, 3 segundos en ámbar y 57 en la fase roja. Por otra parte el diseño geométrico de las dos vías principales presenta características geométricas que se pueden considerar regulares a comparación de un óptimo diseño, aquí se presenta velocidades bajas de ingreso debido a que los conductores se ven obligados a realizar maniobras dentro de la intersección para poder acomodarse en el carril que requiera; el diseño en las vías auxiliares no es característico de una rotonda, las velocidades de ingreso que se producen en la vía auxiliar son moderadas debido a que el ingreso hacia la rotonda es muy ortogonal.

En las vías auxiliares hay presencia de estacionamiento permitidos que no influyen directamente en la circulación normal de los vehículos, también hay presencia de paraderos de empresas de transporte publico permitidos a lo largo de las vías auxiliares, en las vías principales no hay presencia de paraderos ni de estacionamientos no permitidos.

Existe una consideración que realizan los vehículos de grandes longitudes cuando se aproximan a la intersección y pretender salir hacia la Av. Velasco Astete, estos vehículos realizan una vuelta a la intersección para poder salir a su destino, esto con el fin de no interrumpir el flujo libre de los otros vehículos que se aproximan, a su vez esto ocasiona que se reduzca la capacidad de circulación en la calzada de circulación. En la figura 13 se puede observar un vehículo de longitud grande ingresando a la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” desde la vía de ingreso principal de la Av. 28 de Julio.



Figura 13 Vehículo de gran longitud ingresando a la intersección “Oval Libertadores”

Fuente: Propia

Se presentan problemas en el ingreso entre los vehículos que se aproximan por la vía principal y la vía auxiliar generándose una superposición de trayectorias, debido a una reducción de carriles en el ingreso a la intersección, de 4 carriles de la Av. 28 de Julio a 2 carriles de la intersección a nivel, lo descrito se puede observar en la siguiente figura 14.



Figura 14 Colas máximas generadas en la Av. 28 de Julio

Fuente: Propia



La figura 15 muestra las colas máximas colas que se generan en la Av. 28 de Julio representadas por el sombreado azul con una longitud equivalente a 160 metros en la vía auxiliar y una longitud de 120 metros en la vía principal y en la figura 16 se observan las colas en campo.

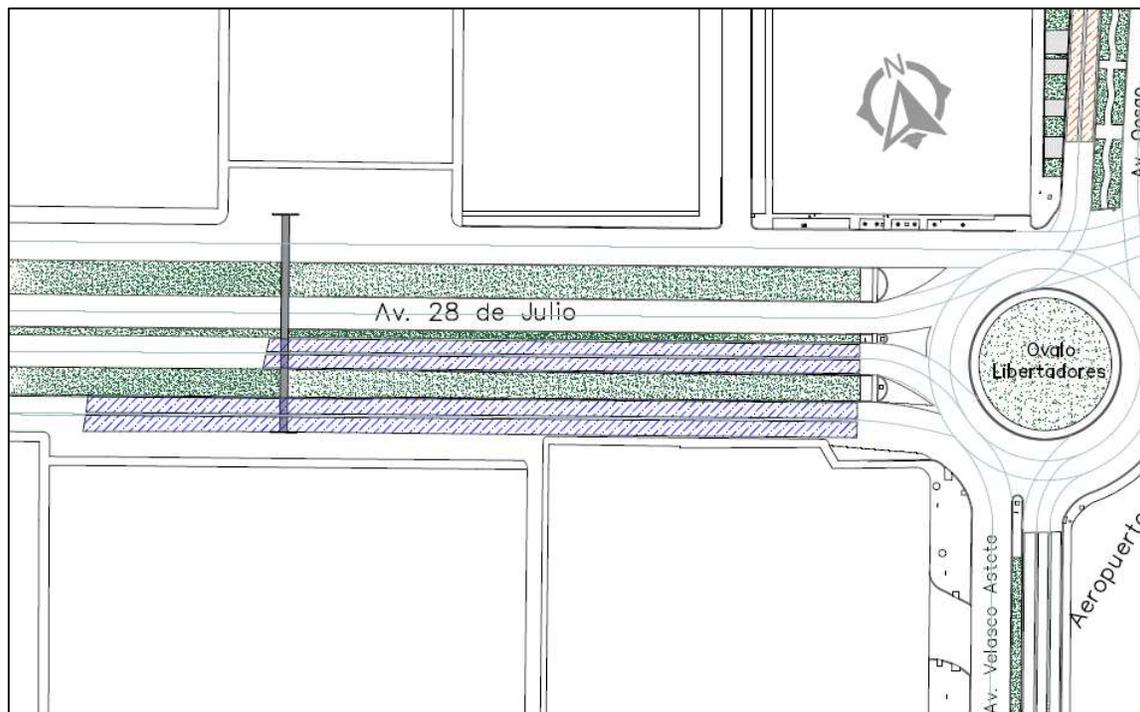


Figura 15 Colas máximas generadas en la Av. 28 de Julio

Fuente: Propia



Figura 16 Colas generadas en la Av. 28 de Julio

Fuente: Propia



### Aproximación 3 – Av. Velasco Astete:

La Av. Velasco Astete presenta con una vía de ingreso de 3 carriles con 2.7 metros de ancho cada uno y una vía de salida con dos carriles de 4 metros de ancho por carril, las vías presentan pavimento rígido en buen estado, además las fases del ciclo semafórico que regula ingreso de los vehículos son de 40 segundos en la fase verde, 3 segundos en ámbar y 57 en la fase roja. La aproximación presenta una ligera alienación con respecto del centro de la intersección “Ovalo Libertadores”, la geometría del ingreso y de la salida no es propio a un óptimo diseño geométrico de una rotonda, en la zona de entrada se produce una superposición de trayectorias de las rutas de los vehículos (figura 17), asimismo la zona de entrada no permite un adecuado ingreso de los vehículos produciendo velocidades bajas de ingreso a la intersección debido a que los conductores se ven obligados a realizar maniobras dentro de la intersección para poder acomodarse en el carril de salida hacia su destino.

En las vías de entrada y salida no hay presencia de estacionamiento no permitidos ni paraderos de empresas de transporte público; se puede apreciar un aumento en el número de carriles en la vía de ingreso de dos a tres carriles este aumento se puede inicia al final de la curva de la Av. Velasco Astete, el aumento de carril se originó para disminuir las colas que se generan en esta avenida, sin embargo, este aumento genera la superposición de trayectorias ya mencionada. Existe una intersección tipo T entre la Av. Velasco Astete y la Av. Jorge Chávez por la cual circulan vehículos hacia la esta última avenida o hacia el ingreso a la intersección.



Figura 17 Superposición de carriles en el ingreso de la Av. Velasco Astete

Fuente: Propia



Las colas que se generan en esta avenida se pueden apreciar en la siguiente figura 18 las cuales están representadas por las áreas sombreadas de color rojo llegando hasta una longitud máxima de 300 metros, en la figura 19 y 20 se muestran las colas generadas durante el estudio de la zona.

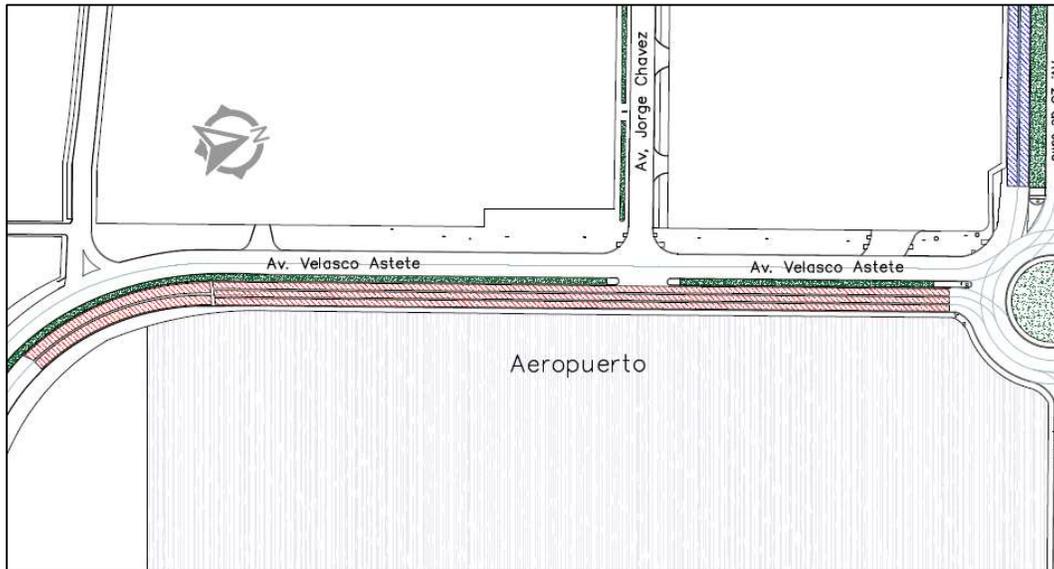


Figura 18 Colas máximas generadas en la Av. Velasco Astete

Fuente: Propia



Figura 19 Colas generadas en la Av. Velasco Astete - 1

Fuente: Propia



Figura 20 Colas generadas en la Av. Velasco Astete - 2

Fuente: Propia

#### **Aproximación 4 – Vía Expresa:**

Esta avenida cuenta con una vía de ingreso de dos carriles con 4 metros de ancho cada uno, un giro exclusivo hacia la Av. Qosqo con un ancho de carril de 3.5 metros y una vía de salida con dos carriles de 4 metros de ancho por carril, las vías presentan pavimento flexible en regular estado, además cuenta con una berma central de 19.5 metros de ancho a lo largo de la aproximación; por otra lado las fases del ciclo semafórico que regula ingreso de los vehículos son de 40 segundos en la fase verde, 3 segundos en ámbar y 57 en la fase roja. La aproximación presenta una alienación a la derecha con respecto del centro de la intersección “Ovalo Libertadores”, la geometría del ingreso y de la salida no es propio a un óptimo diseño geométrico de una rotonda, en la zona de entrada los vehículos pueden acceder de una manera continua sin presentarse mayor problema con lo que se genera velocidades moderadas a elevadas de ingreso.

En la vía de ingreso existe una señal reguladora que obliga a los vehículos particulares que quieran dirigirse a la Av. Velasco Astete haciendo uso de la intersección “Ovalo Libertadores” deben realizar el ingreso por la Av. Qosqo (figura 21), cabe resaltar que existe un porcentaje que hace caso omiso a la señal ya mencionada. Existen áreas que no son empleadas por el desplazamiento de los vehículos lo que genera un ineficiente aprovechamiento del lugar.



Figura 21 Señal reguladora en la Vía Expresa

Fuente: Propia

Las colas que se generan en esta avenida se pueden apreciar en la siguiente figura 22 las cuales están representadas por las áreas sombreadas de color morado llegando hasta una longitud máxima de 300 metros, en la figura 23 se muestra las colas generadas en el giro exclusivo y en la figura 24 de muestran las colas generadas en la Vía Expresa durante el estudio de la zona.

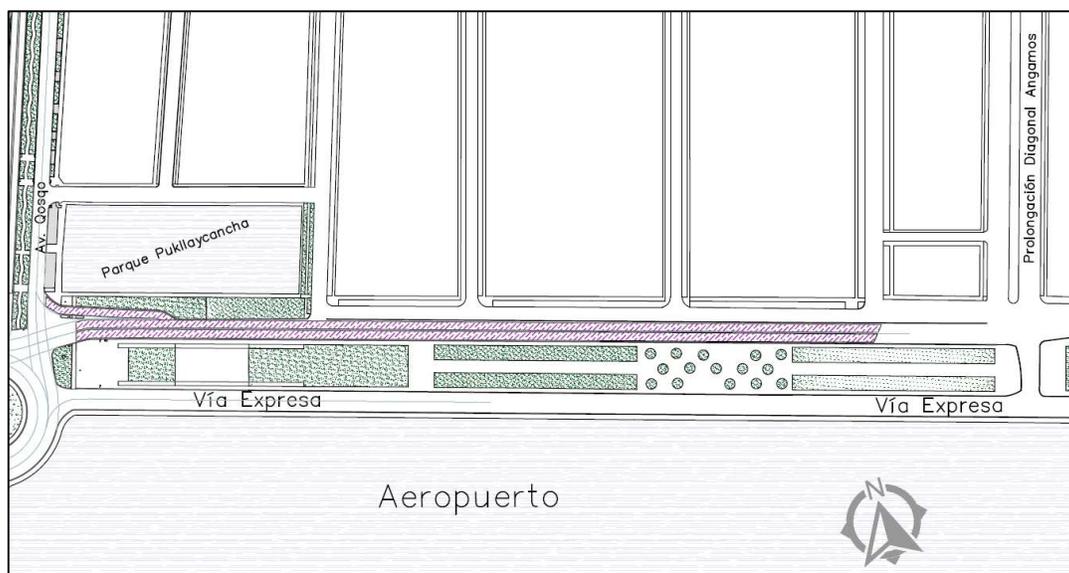


Figura 22 Colas máximas generadas en la Vía Expresa

Fuente: Propia



Figura 23 Colas generadas en el giro exclusivo de la Vía Expresa

Fuente: Propia



Figura 24 Colas generadas en la Vía Expresa

Fuente: Propia

## 1.1.2 Formulación interrogativa del problema

### 1.1.2.1 Formulación interrogativa del problema general

¿Cómo es el comportamiento funcional de la situación actual y como puede variar en las propuestas de rediseño geométrico de la infraestructura vial de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores"?



### 1.1.2.2 Formulación interrogativa de los problemas específicos

#### Problema específico # 1

¿Cómo son los flujos vehiculares en la situación actual y como pueden variar en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores"?

#### Problema específico # 2

¿Cuál es la capacidad vial de la situación actual y como puede variar en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" aplicando el método del TRL?

#### Problema específico # 3

¿Como es el área de recorrido del vehículo de diseño en la entrada, en la calzada de circulación y en la salida de la situación actual y como pueden variar en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores"?

#### Problema específico # 4

¿Cuáles son las longitudes de colas que se generan en las aproximaciones de la situación actual y como pueden variar en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores"?

#### Problema específico # 5

¿Cuál es el nivel de servicio de la situación actual y como pueden variar en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores"?

## 1.2 Justificación e Importancia de la investigación

### 1.2.1 Justificación técnica

Nuestro objetivo con el trabajo de investigación es contribuir con propuestas de mejora a los problemas que se presentan en la zona de estudio, aplicando nuestros conocimientos ingenieriles y herramientas necesarias para un correcto desarrollo de las alternativas de mejora, esto se lograra mediante un análisis a detalle de la situación actual, y buscar optimas mejoras del diseño geométrico aplicando reglamento internacional para ello; se empleara un software especializado para la evaluación del diseño geométrico en rotondas, también se empleara otro software para la correcta validación de los diseños geométricos con respecto a los vehículos de



diseño por aproximación necesarios para la intersección, evaluando rotondas a nivel y con paso a desnivel, obteniendo de esta manera resultados correctos desde un punto de vista técnico.

### **1.2.2 Justificación social**

Con la presente investigación se pretende mejorar los problemas que se generan en la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores”, beneficiando principalmente a los usuarios de la intersección, haciendo que estos tengan menores tiempos de viaje, un mayor confort al momento de hacer uso de la intersección generando que los conductores tengan un flujo libre e ininterrumpido al momento de circular; por otro parte consideramos que las propuestas de mejora pueden ser a nivel o a desnivel, lo que conlleva a un mejor aprovechamiento de los recursos del gobierno teniendo en cuenta que se desea realizar un mejoramiento integral de la Vía Expresa, dentro de la cual está considerada la intersección de esta investigación. La finalidad es que la ciudad del Cusco tenga características viales de una ciudad moderna trayendo con si progreso a la población.

### **1.2.3 Justificación por viabilidad**

Nuestra investigación es viable debido a que podemos contar con la cantidad de vehículos que hacen uso de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” mediante un aforo manual con apoyo de material filmado, a su vez tenemos el diseño geométrico a detalle de la intersección gracias a un levantamiento topográfico de la zona de estudio, para el análisis y procesamiento de datos se cuenta con todos los recursos necesarios (humanos, instrumentos de ingeniería y técnicos), por otra parte se realizó la adquisición del software Junctions 9 Student Version para la evaluación del diseño geométrico a través del módulo Arcady 9 y se cuenta con Vehicle Tracking para evaluación del vehículo de diseño.

### **1.2.4 Justificación por relevancia**

La investigación es de importancia debido a que este trabajo se puede emplear con fines educativos y de investigación, haciendo que trascienda en el tiempo, se desea generar conocimiento sobre un óptimo proceso de diseño geométrico y evaluación de rotondas en el país, asimismo con esta investigación se muestra otras metodologías internacionales para el cálculo de capacidad en rotondas, lo que conlleva que nuestro trabajo es relevante a nivel educativo y debido a que muestra la realidad de la ingeniería de tránsito actual en el país. Por otro lado, este trabajo puede servir como base para proyectos que se puedan desarrollar en la zona de estudio o similares.



### **1.3 Limitaciones de la Investigación**

La limitación por espacio está delimitada por la zona de estudio que comprende la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" y las aproximaciones: Av. 28 de Julio hasta la altura del "4to paradero de Ttio", Av. Qosqo en toda su longitud, Av. Velasco Astete desde el inicio de la curva y la Vía Expresa hasta la intersección con la Prolongación Diagonal Angamos comprendidos en un radio aproximado de 350 metros desde el centro de la intersección.

La limitación por datos está dada por el aforo vehicular que se realizó en un periodo de 7:00 am a 10:00 pm en los días lunes, martes, jueves, viernes y sábado, asimismo el levantamiento topográfico se realizó en la limitación por espacio ya mencionado.

La limitación por fuente de base para el diseño geométrico, debido a que nuestro país no cuenta con bibliografía para el diseño de rotondas, está definido por las consideraciones del diseño geométrico de rotondas comprendidas en la guía norteamericana NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) REPORT 672 Roundabouts: An Informational Guide. Para el cálculo de la capacidad vial se empleará el método del TRL que fue desarrollada por Kimber, las longitudes de colas serán estimadas mediante el método desarrollado por Kimber, el nivel de servicio se determinará mediante el software Junctions 9 Student Version, a su vez el diseño geométrico será evaluado con el Junctions 9 Student Version. En el caso de la señalización en rotondas se hará uso del Manual de Dispositivos de Control de nuestro país y la guía NCHRP (National Cooperative Highway Research Program) REPORT 672 Roundabouts: An Informational Guide.

### **1.4 Objetivo de la investigación**

#### **1.4.1 Objetivo General**

Proponer rediseños geométricos de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" en base a la situación actual aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad.

#### **1.4.2 Objetivos Específicos**

##### **Objetivo específico # 1**

Analizar los flujos vehiculares en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores".



**Objetivo específico # 2**

Calcular la capacidad vial aplicando el método del TRL en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores".

**Objetivo específico # 3**

Determinar el área de recorrido del vehículo de diseño en la entrada, calzada de circulación y en la salida en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores".

**Objetivo específico # 4**

Calcular las longitudes de colas que se generan en las aproximaciones en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores".

**Objetivo específico # 5**

Determinar el nivel de servicio en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" empleando el Software Junctions 9.



## 2 Capítulo II: Marco Teórico

### 2.1 Antecedentes de la tesis

#### 2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

El primer antecedente es la investigación realizada por Carlos Michel Nieto Medina (2016) de la Pontificia Universidad Católica del Perú, la tesis de pregrado para obtener el título de ingeniero civil, cuyo título es “***APLICABILIDAD DEL MODELO LINEAL DE KIMBER PARA DETERMINAR LA CAPACIDAD DE ROTONDAS EN LIMA***”, la tesis verifica si el modelo lineal de Kimber es aplicable para la determinación de la capacidad en los óvalos Villarreal y Los Delfines, ubicados en los distritos de Miraflores y Santiago de Surco respectivamente; menciona que en el modelo de Kimber las características geométricas son muy importantes para el cálculo de capacidad puesto que el comportamiento de los conductores no afecta el cálculo de la capacidad en la entrada, además Kimber sostiene que la capacidad de una entrada disminuye a medida que el flujo circulante se incrementa; la evaluación de medidas de eficiencia se consideró la longitud de cola realizando una comparación entre las calculadas y medidas, pudo concluir que no necesariamente se obtendrán grados de saturación elevados cuando la cantidad de vehículos que puedan ingresar a la rotonda pueden disminuir si el flujo circulante es alto; las diferencia entre las longitudes de colas calculadas y medidas es pequeña en grados de saturación cercanos a 0.9 mientras que para grados de saturación elevados la diferencia es mayor. Este primer antecedente aporta a nuestro trabajo de investigación con una base teórica sobre diseño geométrico de rotondas y el método empírico desarrollado por Kimber, así como la aplicación y validación en la evaluación de la capacidad en rotondas en Lima.

Como segundo antecedente tenemos la investigación elaborada por Fabiola Amparo Breña Silvera (2015) de la Universidad Ricardo Palma, la tesis de pregrado para obtener el título de ingeniero civil, denominada “***EVALUACIÓN DE GIROS DE VEHICULOS UTILIZANDO EL SOFTWARE VEHICLE TRACKING SOBRE AUTOCAD CIVIL 3D***”, la tesis verifica las condiciones de seguridad en el diseño de curvas horizontales de vías mediante el uso del software Vehicle Tracking, evaluando el proyecto “Mejoramiento y Rehabilitación de la carretera Sullana – El Alamor, Eje Vial N.º 02 de la intersección Vial Perú – Ecuador” además muestra una evaluación con Vehicle Tracking del Ovalo Gutiérrez en Lima; por otra parte esta investigación representa una guía metodológica para la aplicación del software; dando como resultado de la evaluación del proyecto que presenta sobrecanchos y radios mínimos errados



resultando en condiciones de seguridad no optimas, en el caso del Ovalo Gutiérrez el software va alertando cuando los parámetros ingresados no son adecuados, finalmente concluyendo que se puede simular giros para verificar radios de giro y sobrecanchos necesarios en la ingeniería de tránsito, además se puede generar vehículos de diseño propios en la interfaz del software. Este antecedente aporta a nuestro trabajo de investigación con una base teórica sobre diseño geométrico de intersecciones a nivel y el manejo del software Vehicle Tracking para la evaluación de vías e intersecciones.

### **2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional**

Como primer antecedente a nivel internacional tenemos la investigación realizada por Pedro Alexander Sosa Martínez e Iván Darío Dueñas Bohórquez (2018) de la Universidad Santo Tomas de Aquino – Bogotá, Colombia, para optar al título de Magister en Infraestructura Vial, cuyo título de investigación es ***“ESTUDIO COMPARATIVO ENTRE UNA GLORIETA TARGET Y UNA GLORIETA CONVENCIONAL POR MEDIO DE SU DISEÑO GEOMÉTRICO Y MICROSIMULACIÓN DE TRÁFICO COMO ALTERNATIVA DE INTERSECCIÓN VIAL EN BOGOTÁ”*** en el presente trabajo, se determinaron las ventajas y desventajas en la implementación de una glorieta moderna tipo target para la intersección “Museo de los Niños”, ubicada en la ciudad de Bogotá, en comparación con la glorieta convencional que regula actualmente en dicha intersección. La comparación se realizó, desarrollando un diseño geométrico en planta de la glorieta target y efectuando la caracterización del tránsito de la intersección actual, y a partir de estos datos, se construyeron escenarios de modelación; a partir del análisis, procesamiento de datos y proyección del tráfico actual de la hora de máxima demanda a 5, 10 y 20 años de proyección. Se obtuvo como resultado de las modelaciones se obtuvieron indicadores de gestión de tránsito tales como la demora total, demora promedio y niveles de servicio, Para el cálculo de la capacidad se aplica métodos empíricos utilizando la fórmula de Wardrop identificando las ventajas y desventajas entre los dos tipos de glorietas estudiadas, para los escenarios planteados. Se identifica una reducción del 33% en los puntos de conflicto de la Glorieta Target, frente a la glorieta convencional y la eliminación de las zonas de entrecruzamiento; Aunque la implementación de la Glorieta Target divide los flujos al tener dos niveles, y prioriza los giros a la derecha en los accesos, la calzada giratoria reduce su capacidad a un solo carril (diminución de los puntos de conflicto), contrario a las características geométricas de la intersección existente que cuenta con tres carriles, lo que repercute en la demora total y desfavoreciendo la Glorieta Target frente a la convencional; La Glorieta Target presenta mejor desempeño para flujos vehiculares entre



3.500 y 5.500 veh/h, lo cual apunta a que su uso es recomendable para intersecciones viales suburbanas. El aporte a nuestro trabajo de investigación es una base teórica sobre rotondas modernas y la validación del empleo de métodos empíricos para el cálculo de capacidad en rotondas.

Como segundo antecedente internacional se presenta la investigación elaborada por Danilo Yosimar Vera Pacheco (2014) de la Universidad Austral de Chile, para optar el título de ingeniero civil, de título ***“ESTUDIO Y MEJORA DE LA FLUIDEZ DEL TRANSITO MEDIANTE EL DISEÑO DE UNA ROTONDA EN LA INTERSECCION LOS ROBLES – LOS LAURELES, VALDIVIA”*** en el presente trabajo, se realiza el diseño geométrico de una rotonda en la intersección los “Robles - Los Laureles”, Valdivia, XIV Región de los Ríos, para desarrollar el diseño geométrico se midió el flujo vehicular en la intersección, seleccionando el tipo de rotonda más adecuado y finalmente se calcula la capacidad de la rotonda por aproximación mediante el método empírico de Kimber del TRRL (Método TRL – Reino Unido) y el manual norteamericano del Transport Research Board 2010, al comparar los resultados de capacidad entre el TRL y Transport Manual Security 2000, establece que el método del Reino Unido es más completo debido a que toma en cuenta el flujo vehicular y características geométricas para el cálculo de capacidad. El diseño geométrico planteado no se puede adaptar en las dimensiones actuales de la intersección, trayendo en consecuencia realizar expropiaciones en la zona. Esta investigación aporta a nuestro trabajo con una base teórica sobre el método empírico desarrollado por Kimber, así como la aplicación y validación en la evaluación de la capacidad en rotondas en Latinoamérica.

Como tercer antecedente internacional se presenta la investigación elaborada por Lenin Alexander Bulla Cruz (2010) de la Universidad Nacional de Colombia, para optar el título de Magíster en Ingeniería – Transporte, cuyo título es ***“METODOLOGÍA PARA LA EVALUACION TÉCNICA Y OPERATIVA DE TURBOGLORIETAS COMO ALTERNATIVA DE INTERSECCIÓN VIAL EN EL ÁMBITO URBANO”*** en el presente trabajo, se establece una metodología que caracteriza, diseña y evalúa turboglorietas desde el punto técnico y operativo como alternativa de solución, proporcionando elementos de juicio y decisión a los planificadores viales, a partir de un estudio en la intersección a nivel de la Calle 47 Sur por Transversal 61 A; concluyendo que la configuración de turboglorietas representa un diseño ingenioso que controla los desplazamientos y velocidades vehiculares e induce a generar la cultura de atención a la señalización, de esta manera menciona que las turboglorietas sean



alternativas de intersección viable que debe implementarse en Bogotá. En la intersección analizada se logra un 7% más de capacidad en comparación a la intersección actual; por otra parte, si se desea aumentar la oferta de carriles lo que en un futuro corresponderá a la afectación urbanística. Esta investigación aporta a nuestro trabajo con una base teórica sobre turborotondas, así como el diseño geométrico de estas.

## **2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes**

### **2.2.1 Componentes del tránsito**

#### **2.2.1.1 Usuario**

Cada vez que se trate de la planeación, estudio, proyecto y operación de un sistema de transporte urbano, se debe conocer las necesidades, habilidades y limitaciones que tiene el usuario, como elemento de la ingeniería de tránsito. Los seres humanos, son elementos primordiales del tránsito por las calles y carreteras, los cuales deben ser estudiados y entendidos de forma clara con el propósito de poder ser controlador y guiados de manera apropiada. El comportamiento del individuo en el flujo de tránsito, es con frecuencia, uno de los factores que establece sus características. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 42)

#### **2.2.1.2 El peatón**

Según (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007) se puede considerar como peatón potencial a la población en general. Es importante estudiar al peatón debido a que es un elemento el cual es víctima del tránsito vehicular, sino también es una de las causas de estas.

#### **2.2.1.3 El conductor**

Es aquel individuo que maniobra un vehículo en el espacio destinado para esta actividad; este individuo debe tener conocimiento del mecanismo de funcionamiento del vehículo automotor, de las velocidades a las cuales está permitido circular por ciertas vías de la ciudad. El individuo que maneja un vehículo automotor, sin la pericia del caso, puede con un leve movimiento del pedal ocasionar una serie de accidentes de tránsito de manera repentina.

El conductor debe tener la capacidad de poder adaptarse a los cambios e imprevistos que se presenten a la hora de la conducción, de esta manera se previene accidentes que pueden involucrar directamente a los peatones u otros conductores.



## 2.2.2 Infraestructura Vial

Este constituye todo el conjunto de elementos que permite el desplazamiento de vehículos en forma confortable, segura y eficiente desde un punto a otro en un sistema vial.

En el caso de la infraestructura vial, los análisis generalmente se basan en el periodo de máxima demanda, en el que se presenta los mayores volúmenes de tránsito del día. A este periodo normalmente corresponden los niveles de servicio más bajos, caracterizados por las más altas demoras en las intersecciones y, en general, por las condiciones más críticas de operación del día. (Bonett Peña & Yatto Grados, 2017, pág. 14)

## 2.2.3 Sistema vial

### 2.2.3.1 Sistema vial urbano

Dentro de un criterio amplio de planeación, la red vial tanto rural como urbana se debe clasificar de tal manera que se pueda fijar funciones específicas a las diferentes vías y calles para así atender las necesidades de movilidad de personas y mercancías de una manera rápida, confortable y segura. (Instituto de Construcción y Gerencia, 2005)

#### 2.2.3.1.1 Clasificación funcional de sistemas viales urbanos

- **Vías expresas**

El flujo vehicular que caracteriza a las vías expresas principalmente son las de paso entre un origen y destino alejados, este flujo también se caracteriza por ser ininterrumpido. Funcionan como un nexo entre zonas con altos volúmenes vehiculares, caracterizados por accesos controlados, por estas vías se desplazan grandes volúmenes de vehículos que circulan a velocidades altas. Los vehículos pesados suelen hacer uso de las vías expresas, cuyas dimensiones son consideradas para el diseño geométrico necesario.

- **Vías arteriales**

Para el flujo vehicular en estas vías se debe evitar las interrupciones, sin embargo, si es necesario son controlados en su mayoría por intersección semaforizadas, en intersecciones continuas las fases semafóricas de preferencia deberán estar uniformizados entre estas intersecciones, la composición vehicular en este tipo de vías es variado siendo los vehículos livianos los de mayor volumen; suelen conectarse hacia vías expresas, vías arteriales y con vías colectoras.



- **Vías colectoras:**

Estas vías coleccionan y distribuyen el flujo vehicular que vienen desde las vías locales o van hacia las mismas, las vías colectoras lleven el tráfico vehicular hacia las vías arteriales, también pueden conectarse hacia vías expresas de ser el caso. La composición vehicular en estas vías es variada, teniendo en consideración que en zonas comerciales o industriales los vehículos pesados tienen mayor incidencia en la composición.

- **Vías locales**

La función principal de estas vías es de conectar internamente las urbanizaciones, los volúmenes vehiculares son propios a una zona, se unen con otras vías locales y su volumen es dirigido hacia vías colectoras. La composición vehicular en su mayoría son vehículos livianos, aunque con poca frecuencia hay presencia de vehículos semipesados. En estas vías hay presencia de estacionamientos permitidos.

- **Vías de diseño especial**

Son todas aquellas cuyas características no se ajustan a la clasificación establecida anteriormente.

Se puede mencionar, sin carácter restrictivo los siguientes tipos:

- Vías peatonales de acceso a frentes de lote
- Pasajes peatonales
- Malecones
- Paseos
- Vías que forman parte de parques, plazas o plazuelas
- Vías en túnel que no se adecuan a la clasificación principal (Chavez Loaiza, 2005, pág. 2/5)

En el 2005 se presentó una propuesta para un manual de diseño geométrico de vías urbanas donde se presenta un cuadro que muestra la clasificación de vías urbanas versus los atributos y restricciones como la velocidad de diseño, las características del flujo, control de accesos, número de carriles, además de la relación con otras vías, con las propiedades adyacentes, con el transporte público, con estacionamientos y lugares de carga y descarga de mercaderías. La propuesta no fue aprobada, sin embargo, las definiciones presentadas en la clasificación de vías urbanas son relevantes para la presente investigación.



Tabla 1 Parámetros de diseño vinculados a la clasificación de vías urbanas

ATRIBUTOS Y RESTRICCIONES	VÍAS EXPRESAS	VÍAS ARTERIALES	VÍAS COLECTORAS	VÍAS LOCALES
<b>Velocidad de Diseño</b>	Entre 80 y 100 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del Reglamento Nacional de Tránsito (RNT) vigente.	Entre 50 y 80 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 40 y 60 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.	Entre 30 y 40 Km/hora Se registrará por lo establecido en los artículos 160 a 168 del RNT vigente.
<b>Características del flujo</b>	Flujo ininterrumpido. Presencia mayoritaria de vehículos livianos. Cuando es permitido, también por vehículos pesados. No se permite la circulación de vehículos menores, bicicletas, ni circulación de peatones.	Debe minimizarse las interrupciones del tráfico. Los semáforos cercanos deberán sincronizarse para minimizar interferencias. Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos, correspondiendo el flujo mayoritario a vehículos livianos. Las bicicletas están permitidas en ciclovías	Se permite el tránsito de diferentes tipos de vehículos y el flujo es interrumpido frecuentemente por intersecciones a nivel. En áreas comerciales e industriales se presentan porcentajes elevados de camiones. Se permite el tránsito de bicicletas recomendándose la implementación de ciclovías.	Está permitido el uso por vehículos livianos y el tránsito peatonal es irrestricto. El flujo de vehículos semipesados es eventual. Se permite el tránsito de bicicletas.
<b>Control de Accesos y Relación con otras vías</b>	Control total de los accesos. Los cruces peatonales y vehiculares se realizan a desnivel o con intercambios especialmente diseñados. Se conectan solo con otras vías expresas o vías arteriales en puntos distantes y mediante enlaces. En casos especiales, se puede prever algunas conexiones con vías colectoras, especialmente en el Área Central de la ciudad, a través de vías auxiliares	Los cruces peatonales y vehiculares deben realizarse en pasos a desnivel o en intersecciones o cruces semaforizados. Se conectan a vías expresas, a otras vías arteriales y a vías colectoras. Eventual uso de pasos a desnivel y/o intercambios. Las intersecciones a nivel con otras vías arteriales y/o colectoras deben ser necesariamente semaforizadas y considerarán carriles adicionales para volteo.	Incluyen intersecciones semaforizadas en cruces con vías arteriales y solo señalizadas en los cruces con otras vías colectoras o vías locales. Reciben soluciones especiales para los cruces donde existan volúmenes de vehículos y/o peatones de magnitud apreciable	Se conectan a nivel entre ellas y con las vías colectoras.
<b>Número de carriles</b>	Bidireccionales: 3 o más carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 2 ó 3 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 ó 3 carriles Bidireccionales: 1 ó 2 carriles/sentido	Unidireccionales: 2 carriles Bidireccionales: 1 carril/sentido
<b>Servicio a propiedades adyacentes</b>	Vías auxiliares laterales	Deberán contar preferentemente con vías de servicio laterales.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes.	Prestan servicio a las propiedades adyacentes, debiendo llevar únicamente su tránsito propio generado.
<b>Servicio de Transporte público</b>	En caso se permita debe desarrollarse por buses, preferentemente en " Carriles Exclusivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía.	El transporte público autorizado debe desarrollarse por buses, preferentemente en "Carriles Exclusivos " o " Carriles Solo Bus " con paraderos diseñados al exterior de la vía o en bahía.	El transporte público, cuando es autorizado, se desarrolla generalmente en carriles mixtos, debiendo establecerse paraderos especiales y/o carriles adicionales para volteo.	No permitido
<b>Estacionamiento, carga y descarga de mercaderías</b>	No permitido salvo en emergencias.	No permitido salvo en emergencias o en las vías de servicio laterales diseñadas para tal fin. Se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente.	El estacionamiento de vehículos se realiza en estas vías en áreas adyacentes, especialmente destinadas para este objeto. Se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente.	El estacionamiento está permitido y se registrará por lo establecido en los artículos 203 al 225 del RNT vigente

Fuente: Propuesta de Manual de diseño geométrico de vías urbanas 2005 (No aprobado)

### 2.2.4 Volúmenes de tránsito

En la ingeniería de tránsito la medición básica más importante es el conteo o aforo ya sea de vehículos, ciclistas, pasajeros y/o peatones los conteos se realizan para obtener estimaciones. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007)

#### a) Volumen

Se refiere a la cantidad de personas o vehículos que pasan por un punto durante un tiempo específico.

#### b) Tasa de flujo

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos o personas durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente

#### c) Demanda

Es el número de vehículos que deben viajar y pasan por un punto durante un tiempo específico donde existe congestión la demanda es mayor al volumen, ya que algunos viajes se desvían a rutas alternas y otros simplemente no se realizan debido a las restricciones del sistema vial.



#### **d) Capacidad vial**

Es el número máximo de vehículos que pueden pasar por un punto específico, es una característica del sistema vial y representa su oferta. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, págs. 168,169)

#### **2.2.5 Volúmenes de tránsito absoluto y totales**

Se define como el número total de vehículos que pasan durante un intervalo de tiempo determinado. Dependiendo del dicho lapso de tiempo determinado. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007)

Se obtienen los siguientes volúmenes absolutos y totales que se muestran a continuación:

##### **2.2.5.1 Tránsito anual (TA)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un año. Entonces para este caso  $T= 1$  año.

##### **2.2.5.2 Tránsito mensual (TM)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un mes. Entonces para este caso  $T= 1$  mes.

##### **2.2.5.3 Tránsito semanal (TS)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una semana. Entonces para este caso  $T= 1$  semana.

##### **2.2.5.4 Tránsito diario (TD)**

Es el número total de vehículos que pasan durante un día. Entonces para este caso  $T= 1$  día.

##### **2.2.5.5 Tránsito horario (TH)**

Es el número total de vehículos que pasan durante una hora. Entonces para este caso  $T= 1$  hora. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, págs. 170,171)

#### **2.2.6 Volúmenes de tránsito promedios diarios**

Se define el volumen de tránsito promedio diario (TPD), como el número total de vehículos que pasan durante un periodo (en días completos) igual o menor a un año y mayor que un día, dividido entre el número de días del periodo. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 171)

Dependiendo del número de días, se obtienen los siguientes volúmenes promedios diarios, que se muestran a continuación:



#### 2.2.6.1 Tránsito promedio diario anual (TPDA)

$$TPDA = \frac{TA}{365}$$

#### 2.2.6.2 Tránsito promedio diario mensual (TPDM)

$$TPDA = \frac{TM}{30}$$

#### 2.2.6.3 Tránsito promedio diario semanal (TPDS)

$$TPDA = \frac{TS}{7}$$

### 2.2.7 Volúmenes de tránsito horarios

Con base en la hora seleccionada, se definirán los siguientes volúmenes de tránsito horarios, dados en vehículos por hora. Estos volúmenes horarios permiten determinar la longitud y magnitud de los periodos de máxima demanda, evaluar deficiencias en la capacidad, también favorece a la instalación de controles de tránsito como pueden ser señales, semáforos y marcas horizontales, sentidos de circulación y rutas de tránsito; así como la prohibición de estacionamientos, paradas y maniobras de vueltas. Es importante debido a que permiten proyectar y rediseñar geoméricamente intersecciones (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007)

#### 2.2.7.1 Volumen horario máximo anual (VHMA)

Es el máximo volumen horario que ocurre en un punto o sección de un carril o de una calzada durante un año determinado. En otros términos, es la hora de mayor volumen de las 8760 horas del año. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007)

#### 2.2.7.2 Volumen horario de máxima demanda (VHMD)

Es el máximo número de vehículos que pasan por un punto o sección de un carril o de una calzada durante 60 minutos consecutivos. Es el representativo de los periodos de máxima demanda que se pueden presentar durante un día en particular. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 172)

#### 2.2.7.3 Volumen horario de proyecto (VHP)

Es el volumen de tránsito horario que servirá para determinar las características geométricas de la vialidad. Fundamentalmente se proyecta como un volumen horario pronosticado. No se trata de considerar el máximo número de vehículos por hora que se pueda presentar durante un año,

ya que exigiera inversiones demasiado cuantiosas, sino un volumen horario que se pueda dar un número máximo de veces en el año, previa convención al respecto. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 172)

### 2.2.8 Patrón de volúmenes

Los patrones representan la distribución de los volúmenes durante un periodo de tiempo y se suelen expresar por una serie de porcentaje que indican la relación entre el volumen promedio medio durante fracciones del periodo de tiempo (día, semana, año) y el volumen; Sirve para inferir volúmenes a partir de otros volúmenes medidos en sitios similares. (William McShane y Ken Crowley, 1976)

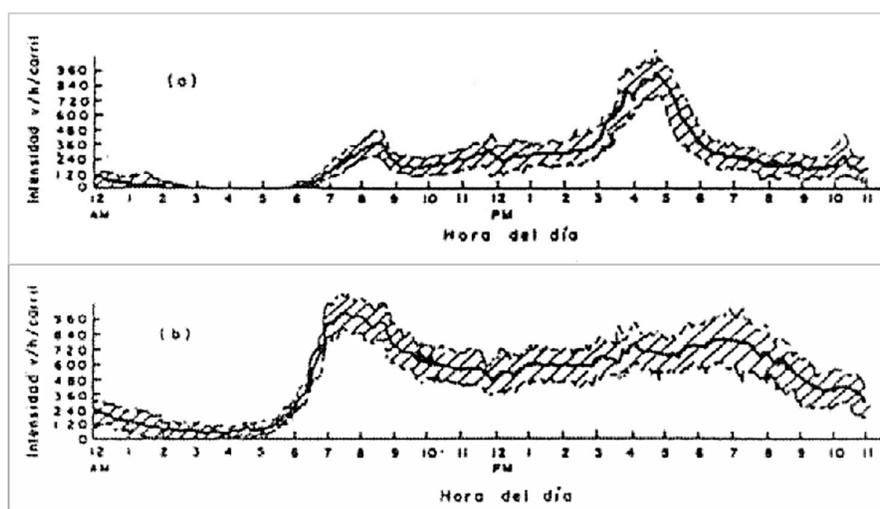


Figura 25 Forma general de las variaciones del volumen de tránsito

Fuente: William McShane y Ken Crowley, 1976

### 2.2.9 Composición de volúmenes

En general los volúmenes de tránsito están compuestos por unidades muy heterogéneas, y esta tendencia se acentúa a medida que aumenta el número de vehículos por unidad de longitud de vía es necesario conocer la composición de estos volúmenes (Radelat Egües, 2003, pág. 27)

- Los efectos que ejercen los vehículos entre sí, dependen de sus características, los vehículos de grandes dimensiones suelen limitar las velocidades que circulan a su alrededor así mismo los vehículos que realizan paradas frecuentes entorpecen la circulación de los vehículos.
- Las proporciones de vehículos de grandes dimensiones y radio de giro determina las características geométricas que deben de tener las vías. (Valencia Alaix, 2007, pág. 29)



### **2.2.10 Vehículo de diseño**

El diseño geométrico en planta de diversas infraestructuras viales se encuentra definido la circulación del tipo de vehículo, dimensiones y otras características. Las características de los vehículos definen aspectos geométricos como pueden ser el ancho del vehículo influye en el ancho de carril, calzada, bermas y sobrecanchos de sección transversal, el radio mínimo de giro, intersecciones y gálibo; la distancia entre ejes afecta en el ancho y los radios externos e internos de giro de los carriles. Para seleccionar el vehículo de diseño se toma en cuenta la composición vehicular del tráfico de la zona de estudio, donde se considera la mayor frecuencia de paso y el vehículo de mayor dimensión.

### **2.2.11 Clasificación vehicular**

Según el Manual de Diseño geométrico de carreteras 2018 (DG 2018) clasifica a los vehículos ligeros una categoría que tiene la denominación L los cuales tienen menos de cuatro ruedas (donde existen las subcategorías L1, L2, L3 y L4 en función al número de ruedas y la velocidad máxima) y los M1 que presentan cuatro ruedas para el transporte de pasajeros que cuentan con ocho o menos asientos (donde existen las subcategorías M1, M2 y M3 en función al número de asientos y el peso bruto vehicular hasta más de 5 toneladas las categorías M2 y M3 de acuerdo a la disposición de los pasajeros en Clase I, Clase II y Clase III), y en vehículos pesados donde en la categoría M que son vehículos de cuatro ruedas para el transporte de pasajeros a excepción de la M1, la categoría N que son vehículos cuatro ruedas o más que sirven para el transporte de mercancías (donde existen las subcategorías N1, N2 y N3 de acuerdo al peso bruto del vehículo desde menos de 3.5 toneladas hasta más de 12 toneladas), la categoría O donde se encuentran los remolques y semirremolques (donde existen las subcategorías O1, O2, O3 y O4 de acuerdo al peso bruto del vehículo desde menos de 0.75 toneladas hasta más de 10 toneladas) y la categoría S que son combinaciones especiales de los M, N y O las cuales requieren carrocerías y/o equipos especiales pudiendo ser casas rodantes, vehículos blindados que transportan valores y ambulancias

La clasificación vehicular es muy importante para la elaboración de los aforos, mediante una inspección previa de los diversos vehículos que circulan en la zona de estudio, se toma en consideración de acuerdo a las solicitudes de la investigación a realizar pudiendo ser para diseños estructurales de pavimentos o de diseños geométricos de diversas infraestructuras viales, para el caso de diseño geométrico en la clasificación vehicular se toma como principales parámetros la longitud y el ancho de los vehículos agrupándolos según las características geométricas y de función.

Tabla 2 Clasificación vehicular

Tipos	Modelos			
Autos	Auto	Station Wagon		
L = 4.50 m A = 2.10 m				
Camionetas	Pick Up	SUV		
L = 5.50 m A = 2.10 m				
Combi	Combi	Van		
L = 6.00 m A = 2.20 m				
Micros	Coaster			
L = 7.5 m A = 2.20 m				
Buses	2 Ejes		>= 3 Ejes	
L = 14.00 m A = 2.60 m				
Camiones	2 Ejes	3 Ejes	4 Ejes	
L = 8.50 m A = 2.50 m				
Semitrailer	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3
L = 20.50 m A = 2.60 m				
Trailer	2T2	2T3	3T2	>=3T3
L = 23.00 m A = 2.60 m				

Fuente: Adaptación Propia

### 2.2.12 Variaciones de los volúmenes de tránsito.

El volumen de tránsito sufre variaciones periódicas durante las horas del día, por semana y por mes durante un año. Por otra parte, también hay diferencias entre los volúmenes que circulan por una vía en distintos sentidos

#### 2.2.12.1 Variación diaria

Se manifiesta durante las horas o periodos pico que se observan en las vías; durante la hora pico se muestran las variaciones de mayor interés debido se puede producir congestión, además existen periodos a lo largo del día de baja frecuencia de vehículos donde la fluidez del tránsito



es mayor, para determinación de la hora pico se denota en estudios de capacidad vial como factor horario de máxima demanda (FHMD) que es la relación entre el volumen vehicular que se ha obtenido en una hora y el número equivalente de los vehículos en términos de una hora que corresponde al mayor volumen de un subperiodo de 5, 10 o 15 minutos.

$$FHMD = \frac{\text{Volumen en la Hora}}{4 * V_{15}}$$

Donde:  $V_{15}$  = Flujo medido en el subperiodo de 15 minutos más cargado.

### 2.2.13 Análisis de flujo vehicular

Mediante el análisis del flujo vehicular se pueden entender las características y el comportamiento del tránsito, requisitos básicos para el planeamiento, proyecto y operación de carreteras, calles y sus obras complementarias dentro del sistema de transporte, describe la forma como circulan los vehículos en cualquier tipo de vialidad, lo cual permite determinar el nivel eficiencia de la operación. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 276)

### 2.2.14 Proyección de Volúmenes

#### 2.2.14.1 Trafico futuro

Se puede calcular el crecimiento de tránsito utilizando la siguiente fórmula

$$T_n = T_o(1 + i)^{n-1}$$

Donde:

$T_n$  = Tránsito proyectado al año "n" en veh/día

$T_o$  = tránsito actual (año base) en veh/día

$N$  = años del periodo de diseño

$i$  = tasa anual de crecimiento del tránsito que se define en correlación con la dinámica de crecimiento socio económico normalmente entre 2% y 6% a criterio del equipo de estudio.

Estas tasas pueden variar sustancialmente si existieran proyectos de desarrollo específicos por implementarse con certeza a corto plazo en la zona de la carretera.

La proyección puede también dividirse en dos partes. Una proyección para vehículos de pasajeros que crecerá aproximadamente al ritmo de la tasa de crecimiento de la población. Y



una proyección de vehículos de carga que crecerá aproximadamente con la tasa de crecimiento de la economía. Ambos datos sobre índices de crecimiento normalmente obran en poder de la región. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2008, pág. 28)

### 2.2.14.2 Tasa de Crecimiento poblacional Anual

Tabla 3 Tasa de crecimiento anual de la población

Departamento	Tasa de Crecimiento Promedio Anual (%)					
	1940-1961	1961-1972	1972-1981	1981-1993	1993-2007	2007 -2017
Total	2.2	2.9	2.5	2.2	1.5	0.7
Amazonas	2.9	4.6	3.0	2.4	0.8	0.1
Áncash	1.5	2.0	1.4	1.2	0.8	0.2
Apurímac	0.5	0.6	0.5	1.4	0.4	0.0
Arequipa	1.9	2.9	3.2	2.2	1.6	1.8
Ayacucho	0.6	1	1.1	-0.2	1.5	0.1
Cajamarca	2.0	1.9	1.2	1.7	0.7	-0.3
Prov. Const. del Callac	4.6	3.8	3.6	3.1	2.2	1.3
Cusco	1.1	1.4	1.7	1.8	0.9	0.3
Huancavelica	1.0	0.8	0.5	0.9	1.2	-2.7
Huánuco	1.6	2.1	1.6	2.7	1.1	-0.6
Ica	2.9	3.1	2.2	2.2	1.6	1.8
Junín	2.1	2.7	2.2	1.6	1.2	0.2
La Libertad	2.0	2.8	2.5	2.2	1.7	1.0
Lambayeque	2.8	3.8	3.0	2.6	1.3	0.7
Lima	4.4	5	3.5	2.5	2.0	1.2
Loreto	2.8	2.9	2.8	3.0	1.8	-0.1
Madre de Dios	5.4	3.3	4.9	6.1	3.5	2.6
Moquegua	2.0	3.4	3.5	2.0	1.6	0.8
Pasco	2.0	2.3	2.0	0.5	1.5	-1.0
Piura	2.4	2.3	3.1	1.8	1.3	1.0
Puno	1.1	1.1	1.5	1.6	1.1	-0.8
San Martín	2.6	3.0	4.0	4.7	2.0	1.1
Tacna	2.9	3.4	4.5	3.6	2.0	1.3
Tumbes	3.7	2.9	3.4	3.4	1.8	1.2
Ucayali	6.8	5.9	3.4	5.6	2.2	1.4
Provincia de Lima	5.2	5.7	3.7	2.7	2.0	1.2
Región Lima	2.0	1.9	1.9	1.3	1.5	0.8

Fuente Adaptación - (INEI I. N., 2017)



### Producto interno por departamentos (PBI)

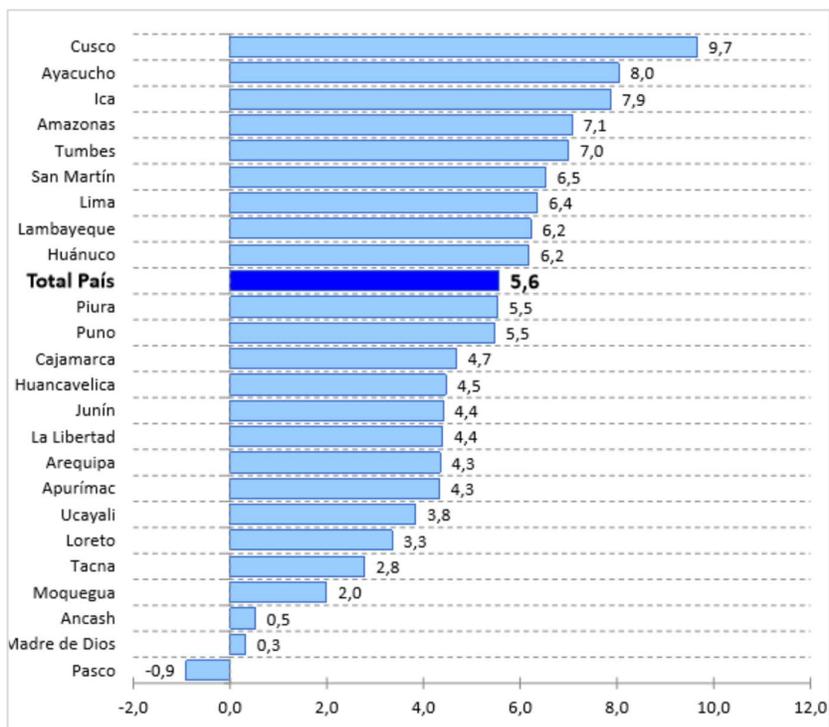


Figura 26 Tasa de crecimiento promedio anual por departamento

Fuente: INEI, 2015

### 2.2.15 Velocidad

#### 2.2.15.1 Velocidad en general

De manera general, el termino velocidad se define como la relación entre el espacio recorrido y el tiempo que se tarda en recorrerlo. En otras palabras, para un vehículo representa la relación de movimiento, generalmente expresada en kilometro por hora (km/h). Para el caso de una velocidad constante, esta se define como una fundición lineal de la distancia y el tiempo, expresada por la siguiente formula: (Cal y Mayor Reyes Spindola, 1994, pág. 205)

$$V = \frac{d}{t}$$

Donde:

- V = velocidad constante (kilómetros por hora)
- d = distancia recorrida (kilómetros)
- t = tiempo de recorrido (horas)



#### **2.2.15.2 Velocidad media temporal**

Se define como la media aritmética de las velocidades de un punto de todos los vehículos, o parte de ellos, que pasan por un punto específico de una carretera o calle durante un intervalo de tiempo determinado por el que realiza el estudio. Se dice entonces, que se tiene una distribución temporal de velocidades de un punto. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 1994, pág. 208)

#### **2.2.15.3 Velocidad media espacial**

Es la media aritmética de las velocidades de un punto de todos los vehículos que en un instante dado se encuentran en un tramo de carretera o calle. Se dice entonces, que se tiene una distribución espacial de velocidades de punto. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 1994, pág. 209)

#### **2.2.15.4 Velocidad de recorrido**

También se conoce como velocidad global o de viaje, esta es el resultado de dividir la distancia recorrida, desde el principio hasta el fin del viaje, entre el tiempo total que se empleó para recorrer todo el tramo. En el tiempo de recorrido se incluyen todas aquellas demoras operacionales producidas por reducciones de velocidad y paradas provocadas por la vía, el tránsito y los diversos dispositivos de control, ajenos a la voluntad del conductor. No se consideran aquellas demoras fuera de la vía, como pueden ser las correspondientes a gasolineras, restaurantes, lugares de recreación, etc. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 1994, pág. 218)

#### **2.2.15.5 Velocidad de marcha**

Para un vehículo, la velocidad de marcha o velocidad crucero, es el resultado de dividir la distancia recorrida entre el tiempo durante el cual el vehículo estuvo en movimiento. Para obtener la velocidad de marcha en un viaje normal, se descontará del tiempo total de recorrido, todo aquel tiempo que el vehículo se hubiese detenido, por cualquier causa. Por lo tanto, esta velocidad por lo general, será un valor mayor a la de recorrido. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 1994, pág. 218)

#### **2.2.15.6 Velocidad a flujo libre**

Según Blázquez (2000, citado por Bonett & Yatto 2017) hace mención que la velocidad de flujo libre es la velocidad promedio de los vehículos en una carretera dada, medida bajo condiciones de un volumen bajo, cuando los conductores tienden a conducir a una velocidad alta sin restricciones de demoras.

### 2.2.16 Nudos

Se define la zona donde concurren varias carretera o calles los cuales constituyen puntos críticos de las redes viales, ya que por ellas deben pasar vehículos con distintas trayectorias, originándose puntos de conflicto en los puntos en los puntos de encuentro de éstas. Para evitar en lo posible estos puntos de conflicto puede hacerse que en la zona de confluencia las distintas vías estén a niveles diferentes. Se pueden distinguir así los nudos, generalmente llamados INTERSECCIONES, en las que los movimientos se realizan al mismo nivel, y denominados ENLACES, en los que no ocurre esto. (Kraemer & Pardillo, 2004)

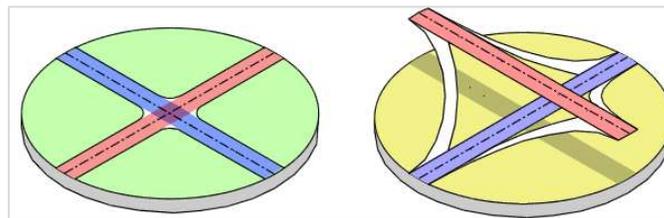


Figura 27 Representación esquemática de intersección y enlaces

Fuente: Manual de Carreteras – (Blázquez, Luis Bañón, 2000)

#### 2.2.16.1 Tipos de intersecciones

Aunque la variedad de intersecciones que pueden proyectarse es casi ilimitada, puede establecerse una tipología de las mismas en función al número de vías o ramales que concurren. Dentro de algunos de estos grupos, pueden distinguirse dos subgrupos en función a la disposición geométrica que adoptan los ramales. (Blázquez, Manual de Carreteras, 2000, pág. 5/8)

	Perpendiculares	Oblicuas
Tres ramales	 En T	 En Y
Cuatro ramales	 En cruz	 En X
Múltiple		
Giratoria		

Figura 28 Tipos de intersecciones

Fuente: Manual de Carreteras – (Blázquez, Luis Bañón, 2000)

El Manual de Carreteras de Chile en el volumen N°3 Instrucciones y criterios de diseño edición 2018, establece un gráfico en función del IMD en la vía principal y la vía secundaria de una intersección que permite determinar el tipo de intersección necesaria, pudiendo ser por prioridad, glorietas (rotondas) o semaforizada, e intersecciones a distinto nivel.

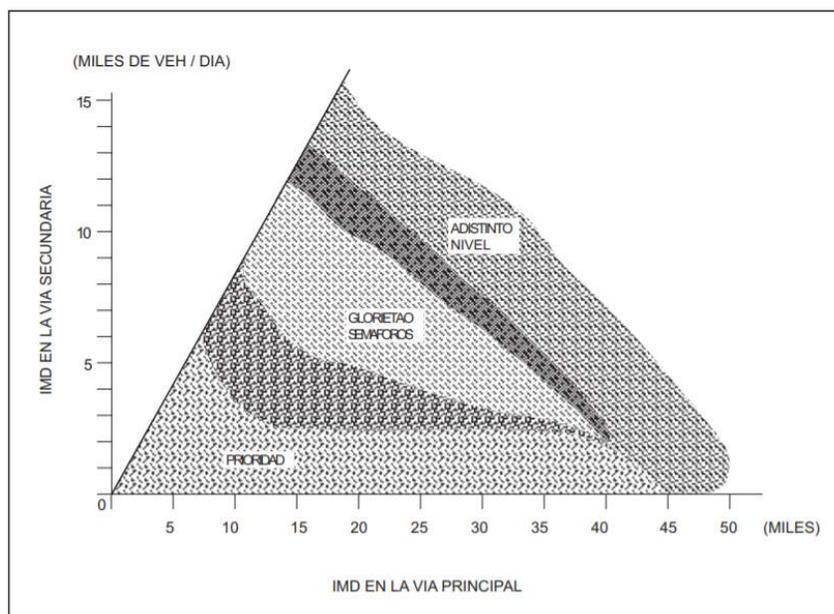


Figura 29 Tipo de intersección apropiada según intensidad media diaria

Fuente: Manual de Carreteras Vol. N°3 Edición 2018 - Chile

### 2.2.17 Rotondas

Son intersecciones giratorias también conocidas como óvalos o glorietas, se caracteriza por la convergencia de sus aproximaciones hacia una calzada de circulación en sentido anti horario alrededor de una isleta central, donde la prioridad de paso la tienen los vehículos que circulan dentro de la calzada de circulación.

Propuesta por el ingeniero neoyorquino William Eno y por el arquitecto parisino Eugene Hernard, el cual se basó en la idea e “obligar a los vehículos a rodear un obstáculo, describiendo trayectorias casi concéntricas que se corten bajo ángulos muy pequeños. (Blazquez, Manual de Carreteras, 2000)

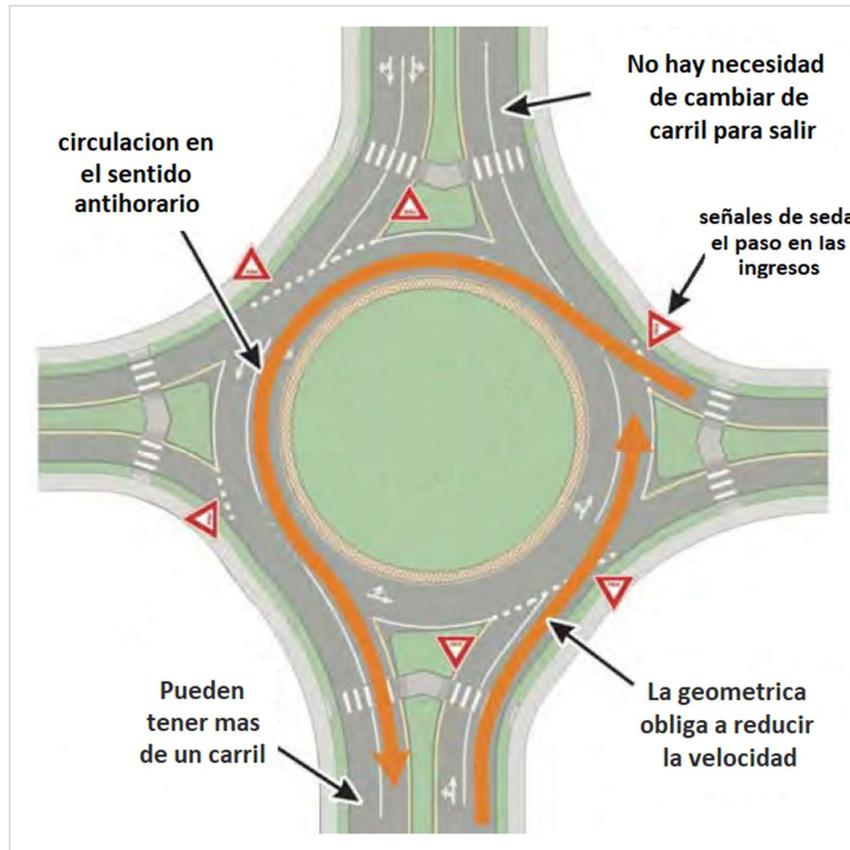


Figura 30 Esquema de una intersección giratoria o rotonda

Fuente: NCHRP Report 672

### 2.2.17.1 Elementos de una rotonda

Las rotondas principalmente se caracterizan por tener los siguientes elementos:

#### **Isla central**

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

#### **Isla 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.

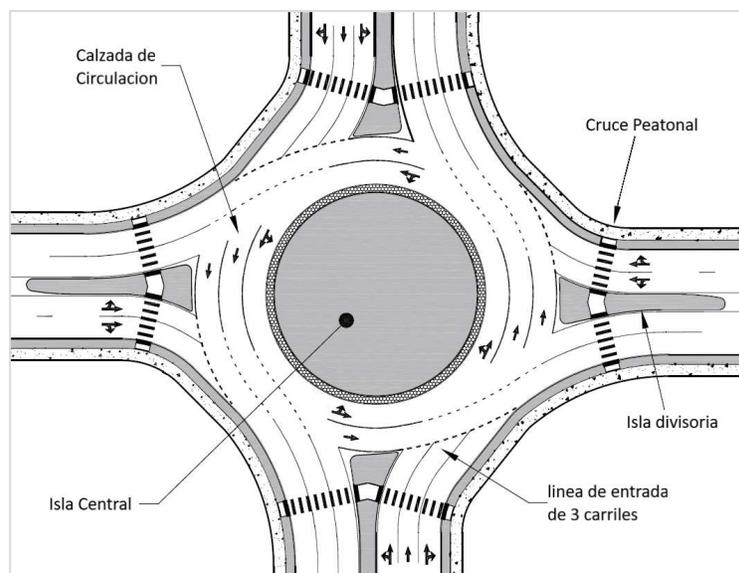


Figura 31 Elementos de una rotonda

Fuente: NCHRP Report 672

### 2.2.17.2 Funcionamiento

El funcionamiento en rotondas o glorietas en función a otros tipos de intersecciones resulta más eficiente debido a que los vehículos tienen la obligación de ceder el paso a los vehículos que se encuentran circulando en la calzada de circulación. Los conductores seleccionan su carril de salida antes de ingresar a la intersección, evitando el cambio de carril dentro de la calzada de circulación. En una rotonda, las trayectorias realizadas por los vehículos no se atraviesan entre sí, por el contrario, estas trayectorias convergen y divergen, debido a esto cantidad total de puntos de conflicto es menor en comparación a otras intersecciones a nivel.

### 2.2.17.2.1 Puntos de conflicto

En este tipo de intersecciones la seguridad mejora respecto a otras, cuando un vehículo, independientemente del tipo, se aproxima a una rotonda, este se ve obligado a reducir su velocidad para ingresar a la rotonda una vez que ingresa al ovalo pasa a ser un vehículo de un flujo subordinado a ser uno de flujo prioritario hasta que salga de la rotonda para salir un vehículo debe de hacer un moviendo hacia la derecha la cual este movimiento genera menos puntos de conflictos en relación a las interacciones no giratorias donde los puntos de conflicto se representa con puntos de convergencia y de divergencia, cuando dos vehículos se encuentran dentro de la calzada anular generan un punto de conflicto de entrecruzamiento

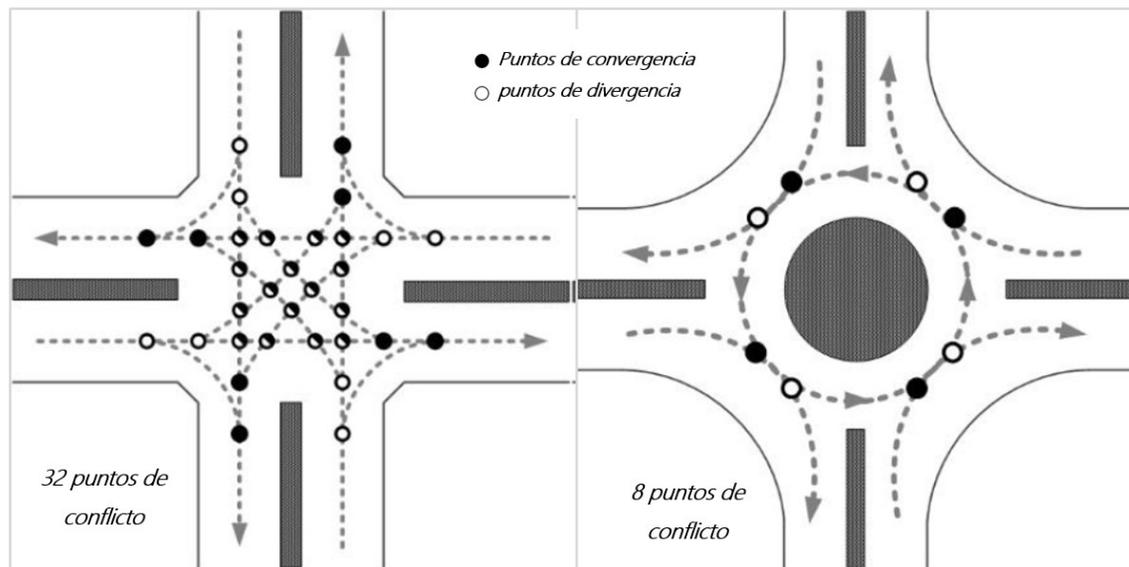


Figura 32 Puntos de conflicto entre una intersección tipo cruz y una glorieta

Fuente: Adaptación propia

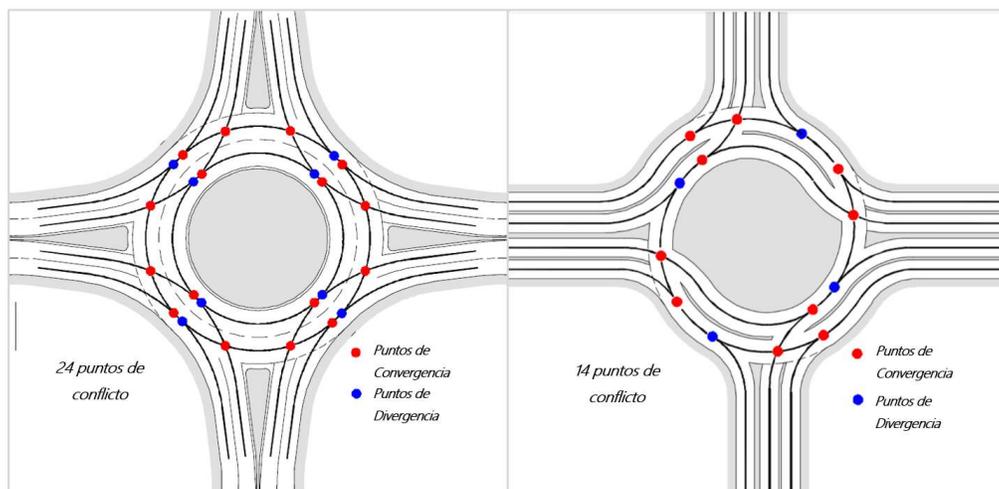


Figura 33 Puntos de conflicto entre rotonda doble carril y turbo rotonda

Fuente: (Silva A., Vasconcelos L. & Santos S., 2013)

### 2.2.17.2.2 Camino Rápido

El camino más rápido se da por elección del conductor bajo condiciones de bajo volumen vehicular donde busca la salida más rápida de la rotonda hacia su destino; dado por el diseño geométrico determina la velocidad para los movimientos de ingreso, circulación y salida de la rotonda, la ruta más rápida no representa las velocidades esperadas de los vehículos sino una entrada teórica de estas, las velocidades reales pueden variar sustancialmente según el vehículo, las habilidades del conductor y la tolerancia de las fuerzas gravitacionales que se somete el vehículo en función a la velocidad.

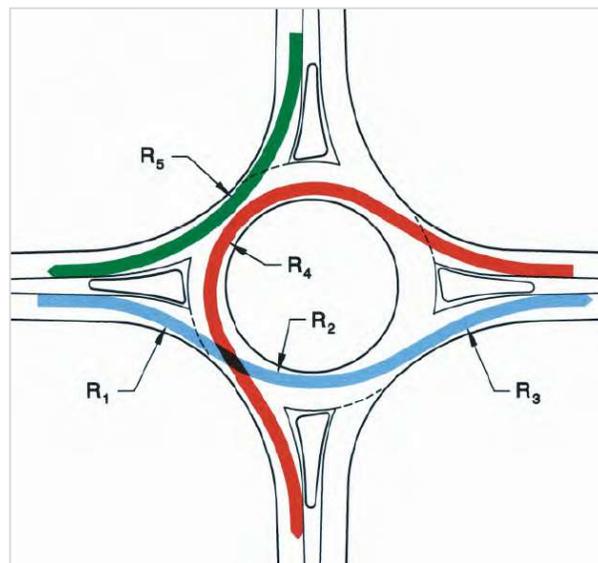


Figura 34 Radios de camino rápido

Fuente: NCHRP Report 672

En la figura 34 ilustra los 5 radios de la ruta crítica o camino rápido que deben verificarse para cada aproximación; R1 es el radio ubicado en la zona de entrada, es el radio mínimo de ingreso de la trayectoria de los vehículos; R2 es el radio dentro de la calzada de circulación, es el radio mínimo de circulación de la trayectoria de los vehículos a través de la isla central; R3 es el radio en la zona de salida, es el radio mínimo de salida de la trayectoria de los vehículos; R4 es el radio de giro a la izquierda, es el radio mínimo de giro hacia la izquierda de un vehículo; R5 es el radio de camino hacia la derecha, es el radio mínimo de giro hacia la derecha de un vehículo. Estas trayectorias realizadas por los vehículos se dan en condiciones de bajo volumen vehicular donde la elección del conductor es buscar la salida más rápida

### 2.2.17.3 Clasificación de rotondas

La clasificación de rotondas se da principalmente por el tamaño de la isla central y número de carriles, se clasifican en mini-rotondas, rotondas de un solo carril y rotondas de varios carriles; las cuales presentan características propias en función a la velocidad de aproximación y vehículo de diseño.

Tabla 4 Clasificación de rotondas

Elemento de diseño	Mini- rotonda	Rotonda de un carril	Rotonda de varios carriles
Velocidad máxima de entrada	25 a 30 km/h	30 a 40 km/h	40 a 50 km/h
Número máximo de carriles por aproximación	1	1	2+
Diametro del circulo inscrito	13 a 27 m	27 a 55 m	46 a 91 m
Tratamiento de la isla central	Totalmente transitable	Elevado (puede tener vereda transitable)	Elevado (puede tener vereda transitable)
Volumen promedio diario en las 4 aproximaciones de la rotonda, considerando que no necesita un analisis de capacidad detallado (veh/día)	Hasta aproximadamente 15,000	Hasta aproximadamente 25,000	Hasta aproximadamente 45,000 para rotondas de dos carriles

\* Es necesario realizar un análisis operativo para verificar el límite superior para aplicaciones específicas o para rotondas con más de dos carriles o cuatro por aproximación.

Fuente: adaptación - (NCHRP, 2010)

#### 2.2.17.3.1 Mini-rotondas

Las mini-rotondas son pequeñas rotondas con una isla central totalmente transitable los vehículos de grandes dimensiones pueden atravesar la isla, se usan más en entornos urbanos de baja velocidad con velocidades menores a 30 km/h, controla el flujo vehicular en intersecciones que presentan limitaciones físicas, es decir en zonas de poco espacio. (NCHRP, 2010)

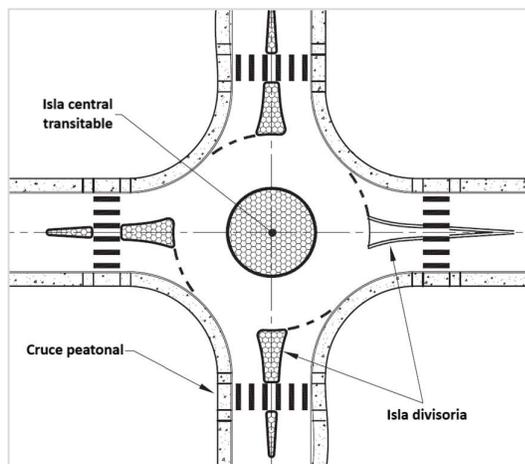


Figura 35 Mini-rotonda

Fuente: NCHRP Report 672

#### 2.2.17.4 Rotondas de un carril

Estas rotondas se caracterizan por tener entradas de un solo carril, de circulación y de salida, su diseño geométrico incluye islas divisorias elevadas, una isla central Elevado (puede tener vereda transitable), cruces peatonales y si es necesario una zona libre en la calzada para la circulación de vehículos pesados, el tamaño de la rotonda depende del vehículo de diseño y los giros de salida hacia la derecha, su diseño permite velocidades ligeramente más altas en la entrada, en la calzada circulatoria, y a la salida (NCHRP, 2010)

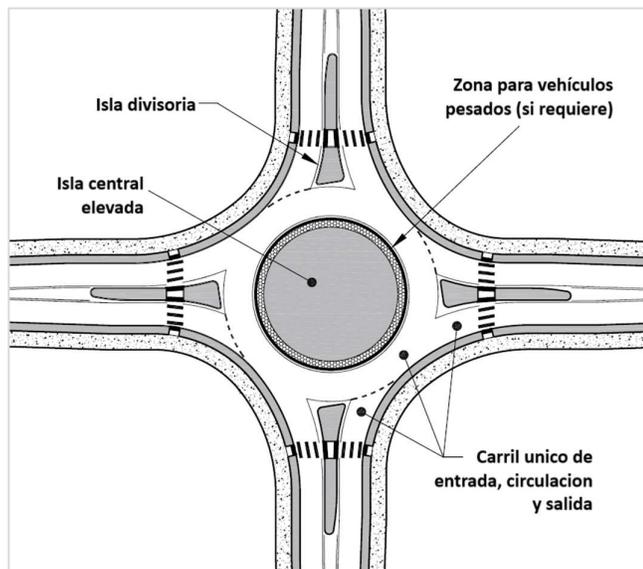


Figura 36 Rotonda de un carril

Fuente: NCHRP Report 672

#### 2.2.17.5 Rotondas de varios carriles

Las rotondas de varios carriles presentan por lo menos una entrada con dos o más carriles y por lo menos uno en la calzada de circulación, el número de carriles de entrada salida y circulación puede variar en función al diseño de la rotonda, el ancho de carril de la calzada de circulación deben de ser igual o más anchos que los carriles de ingreso esto para que los vehículos que ingresen a la calzada de circulación mantengan una distancia de seguridad entre ellos, la velocidad en la calzada de circulación y en las salidas pueden ser muy parecidas o superiores a las rotondas de un solo carril; el diseño geométrico incluirá islas divisorias elevadas, una isla central no transitable y una trayectoria de ingreso natural del vehículo

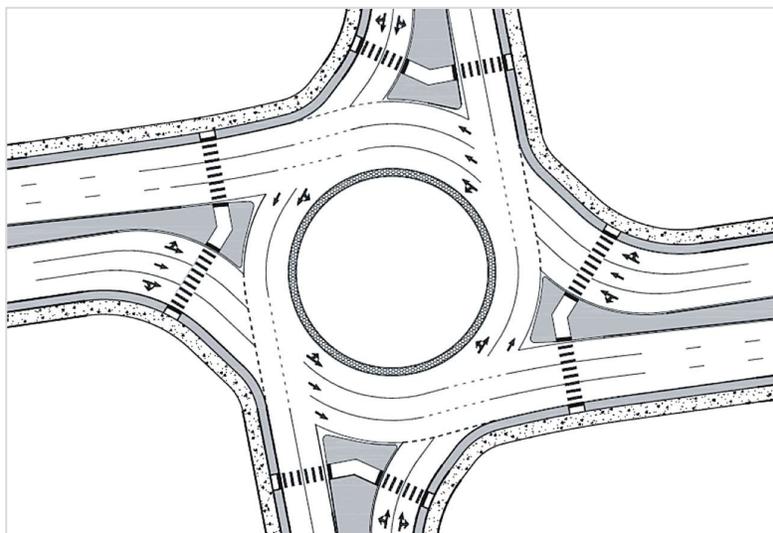


Figura 37 Rotonda de varios carriles

Fuente: NCHRP Report 672

### 2.2.17.6 Turborotondas

#### Turborotondas

Las turborotondas, se caracterizan por presentar una isla central de forma no circular, la cual canaliza el tráfico desde los ingresos y a lo largo de la calzada según el destino que elija; se componen de espirales compuestas de segmentos de arcos circulares, donde cada arco, tiene un radio mayor que el anterior; consta de espirales que representan los límites del carril cada espiral, consiste de tres semicírculos con radios sucesivamente mayores. Los semicírculos, se encuentran en una línea llamada eje de traslación; la distancia entre los centros de los segmentos de arco, se denomina desplazamiento ubicada a lo largo del eje de traslación; el desplazamiento, es un ancho del carril debido a que la espiral se desplaza por un ancho de carril cada 180 grados.

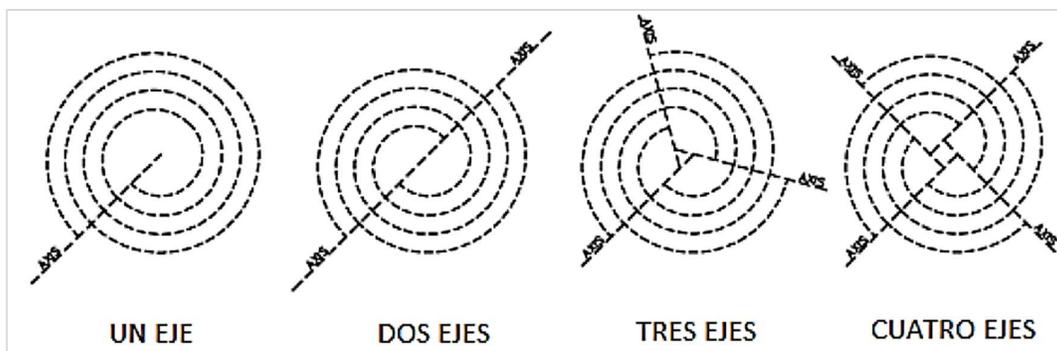


Figura 38 Detalle bloque-turbo de uno a cuatro ejes

Fuente: Ministry of Transport, Public Works and Water management Partners for Roads



Los problemas más comunes en las rotondas convencionales multicarril, están relacionados con el comportamiento de los conductores en la entrada, carril circulatorio, y zonas de salida de la rotonda, donde se puede observar el cambio de carril en la rotonda, cortando la curvatura de la trayectoria y alcanzando mayor velocidad (Silva A., Vasconcelos L. & Santos S., 2013). Las turborotondas son diseñadas con la finalidad de reducir esos conflictos al momento de cambiar de carril haciendo que la circulación de los vehículos en las salidas tenga menos interrupciones por cambios de carril; el diseño geométrico de las turborotondas mejora la seguridad vial debido a sus accesos.



Figura 39 Turborotonda

Fuente: Las “Turbo Rotondas” y su repercusión en la seguridad vial

### **Ventajas de las turborotondas**

- Una turborotonda reduce el número de puntos de conflicto generados por el cambio de carril.
- La capacidad de las turborotondas es mayor entre 25% - 35% a las rotondas convencionales debido a la reducción de puntos de conflicto.
- Mayor seguridad al entrar a la rotonda: conductores solo tienen que ceder el paso.
- Menor riesgo de accidentes debido a los cambios de carril.
- Baja velocidad al conducir en la rotonda debido a los divisores de carriles.
- Reducción de la velocidad a lo largo de las zonas de entrada, circulación y salida (48 a 38 km/h)



### Nivel de seguridad

Los divisores de carril en la turborotonda, fuerzan a los conductores a permanecer en el carril correcto, y, en consecuencia, seguir su trayectoria con radios menores a velocidades reducidas. Mientras que, en una rotonda de dos carriles, un conductor puede ignorar las marcas de carril, elegir una ruta casi recta y mantener su velocidad de aproximación; en una turbo rotonda, todos los conductores deben seguir trayectorias similares, resultando una baja velocidad homogénea. En ese sentido, la turbo rotonda elimina puntos de conflicto peligrosos que las rotondas convencionales (Silva A., Vasconcelos L. & Santos S., 2013)

## 2.2.18 Criterios de diseño geométrico de rotondas

### Consideraciones generales

#### Tamaño, ubicación y alineación de las aproximaciones

Para tener un diseño geométrico adecuado se deben optimizar los siguientes aspectos: Diámetro de círculo inscrito, alineación de los ramales y el ángulo entre los ramales de aproximación, cada uno aspectos genera ventajas y desventajas por lo que se deberá optimizar considerando las limitaciones del proyecto (NCHRP, 2010).

#### Diámetro de círculo inscrito

Para rotondas de un solo carril el diámetro de círculo inscrito se limita al vehículo de diseño que hará uso de la intersección. Para el caso de rotondas de varios carriles, el diámetro puede variar desde 45 a 100 m. En la siguiente tabla se muestra un rango de diámetros de círculo inscrito para mini- rotondas, de un carril y de 2 o 3 carriles.

Tabla 5 Diámetro de círculo inscrito

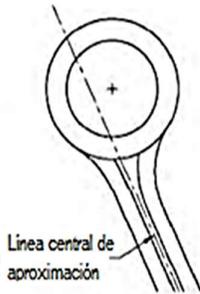
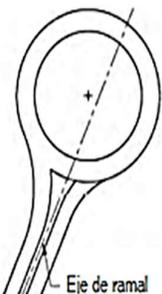
Configuración de rotonda	Típico vehículo de diseño	Rango de diámetro de circunferencia inscrita
Mini-rotonda	SU-30	14 - 27 m
	B-40	27 - 46 m
De un solo carril	WB-50	32 - 46 m
	WB-67	40 - 55 m
De varios carriles (2 carriles)	WB-50	46 - 67 m
	WB-67	50 - 67 m
De varios carriles (3 carriles)	WB-50	61 - 76 m
	WB-67	67 - 91 m

Fuente: Adaptación - (NCHRP, 2010)

### Alineación de las aproximaciones

Este aspecto afecta a la deflexión de entrada, por lo tanto, también a la velocidad. Además, afecta a la visibilidad del conductor de los otros ramales o entradas y la capacidad de que el vehículo diseño se acomode en su paso. En la siguiente tabla se aprecian las 3 formas de ubicar los ramales con respecto al centro del óvalo. (Guzman Balcazar, 2010, pág. 10)

Tabla 6 Alineación de los ramales

Ubicación de los ramales con respecto al centro del Ovalo	
Eje al lado izquierdo del centro de la rotonda	 <p>Es bueno para óvalos pequeños en la que transitan vehículos largos. Es ineficiente para vehículos ligeros porque tienen velocidades altas a la salida.</p>
Eje alineado con el centro de la rotonda	 <p>Permite que las curvaturas de salida puedan llevar a los conductores a reducir la velocidad. Normalmente usado para radios grandes.</p>
Eje al lado derecho del centro de la rotonda	 <p>En estas es más complicado obtener velocidades deseadas (entrada y salida), por ello no son normalmente usadas.</p>

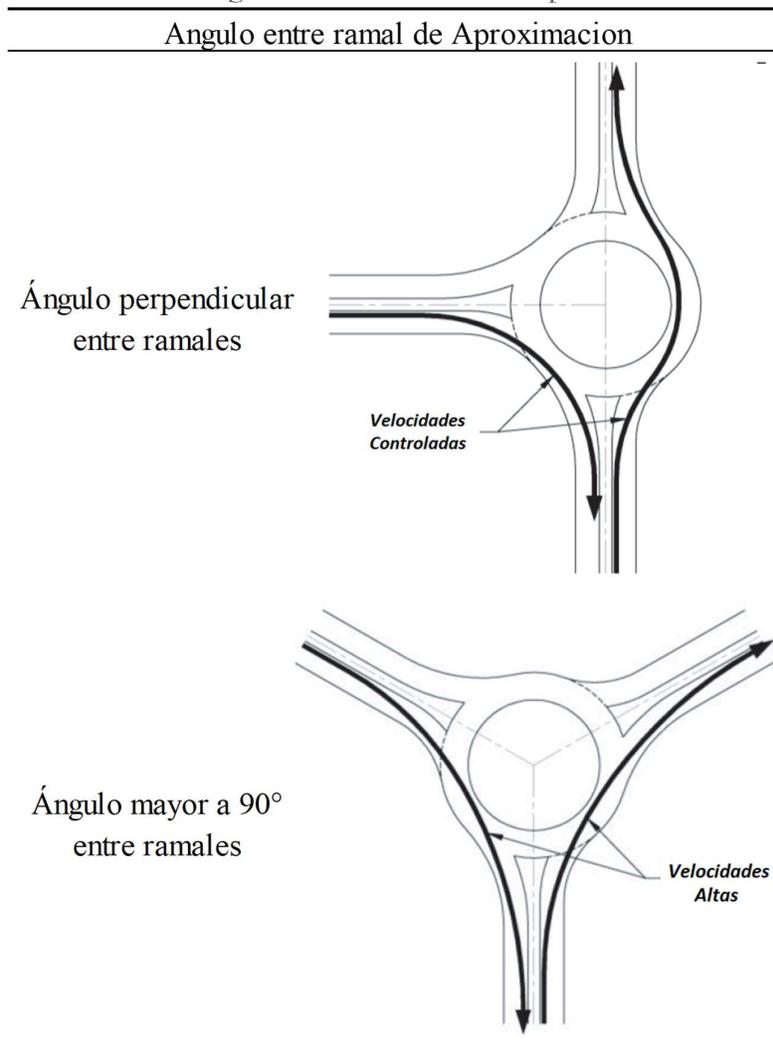
Fuente: Adaptación - (NCHRP, 2010)

### Ángulo entre los ramales de aproximación

En general, es preferible que las aproximaciones lleguen a la intersección con un ángulo aproximado de  $90^\circ$ ; si es mayor a este, las velocidades para girar a la derecha serían elevadas y propensos a los accidentes; de la misma forma, si los ángulos son menores a  $90^\circ$ , los vehículos grandes dificultarían su giro. Por lo general, el hecho que las aproximaciones lleguen de forma

perpendicular a la intersección hace que las velocidades sean bajas para cualquier movimiento deseado. (Guzman Balcazar, 2010, pág. 11)

Tabla 7 Angulo entre los ramales de aproximación



Fuente: Adaptación - (NCHRP, 2010)

### 2.2.18.1 Criterio de diseño según Manual de Carreteras: Diseño Geométrico

Según el “Manual de carreteras de diseño geométrico” (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2018), en la sección 502.13, las Intersecciones rotatorias, rotondas o glorietas se distingue porque los flujos vehiculares que acceden a ella por sus ramas, circulan mediante un anillo vial, en el cual la circulación se efectúa alrededor de una isla central. Las trayectorias de los vehículos en el anillo, son similares a los entrecruzamientos, razón por la cual el número de puntos de conflicto, es menor que en otros tipos de intersecciones a nivel.

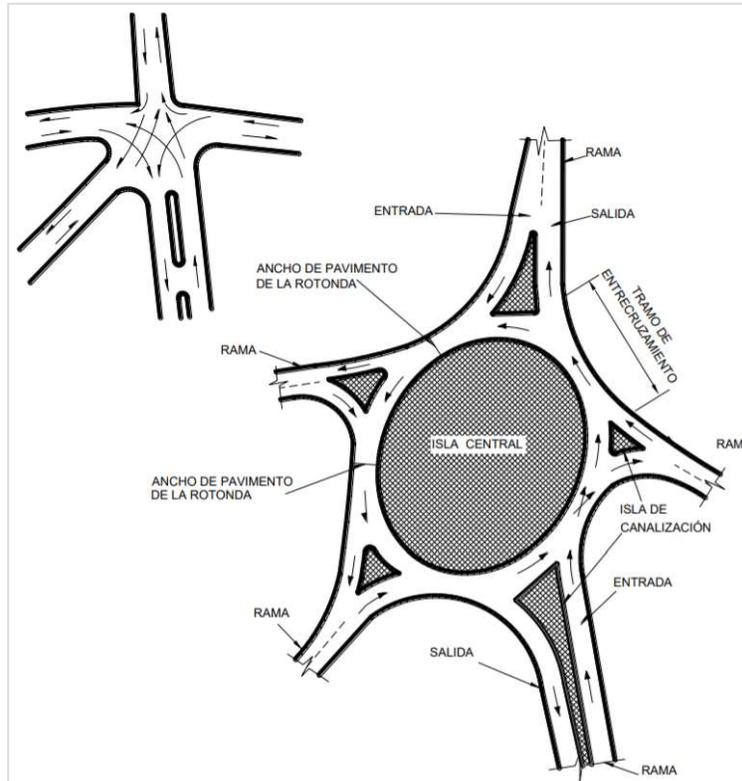


Figura 40 Esquema básico de una intersección tipo rotonda o glorieta

Fuente: Manual de carreteras DG-2018

### Elementos de diseño en rotondas

El diseño de este tipo de solución, debe basarse en los estudios de tráfico correspondientes, en lo pertinente a la capacidad de la rotonda y el dimensionamiento de las secciones de entrecruzamiento, para lo cual puede seguirse el siguiente procedimiento:

- Se propone una longitud de la sección de entrecruzamiento compatible con la geometría de la solución.
- Se determina la capacidad de cada sección de entrecruzamiento propuesta.
- Se compara dicha capacidad con el volumen de demanda de entrecruzamiento.

Para el cálculo de la capacidad de la sección de entrecruzamiento,  $Q_p$ , se utiliza la fórmula de Wardrop:

$$Q_p = \frac{[160W(\frac{1+e}{W})]}{(1 + \frac{W}{L})}$$

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

Dónde:

$Q_p$  : Capacidad de la sección de entrecruzamiento, como tránsito mixto, en vehículos / hora.

$W$  : Ancho de la sección de entrecruzamiento, en metros.

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

$e_1, e_2$  : Ancho de cada entrada a la sección de entrecruzamiento, en metros.

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

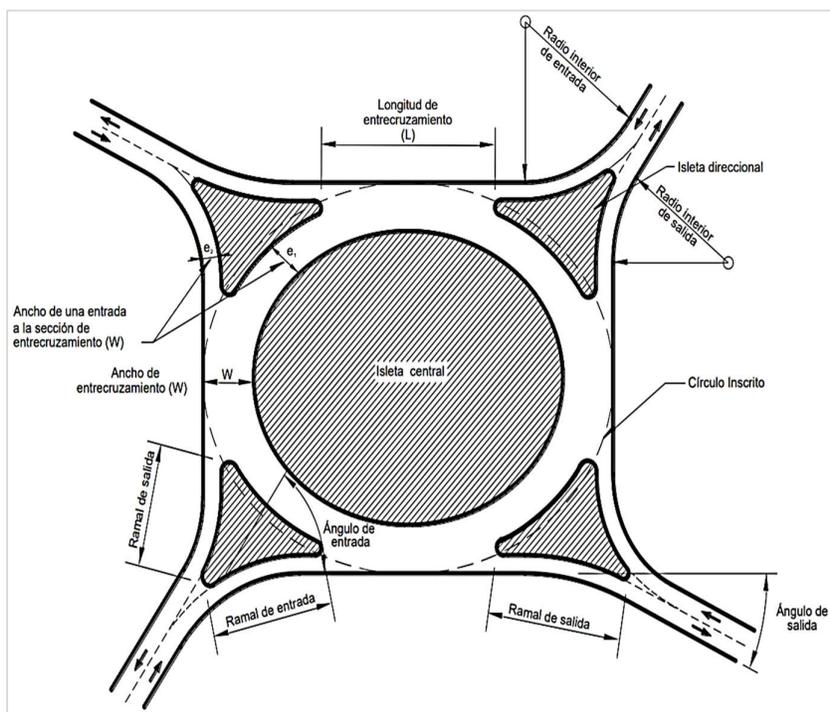


Figura 41 Elementos contenidos en la fórmula de Wardrop

Fuente: Manual de carreteras DG-2018

Tabla 8 Criterios de diseño geométrico - Wardrop

Descripción	Unidad	Magnitud
Diámetro mínimo de la isla central	m	25
Diámetro mínimo del círculo inscrito	m	50
Relación W/L (Sección entrecruzamiento)		0.25 - 0.40
Ancho sección entrecruzamiento (W)	m	Máxima 15
Radio interior mínimo de los accesos de entrada	m	30
Radio interior mínimo de los accesos de salida	m	40
Angulo ideal de entrada		60°
Angulo ideal de salida		30°

Fuente: DG 2018



**Islas direccionales.** El dimensionamiento de las islas direccionales será consecuencia de la geometría general de la solución; sin embargo, éstas deben tener como mínimo entre 4.50 m<sup>2</sup> y 7.00 m<sup>2</sup>

### **2.2.18.2 National Cooperative Highway Research Program NCHRP 672**

El reporte 672 del NCHRP en español programa nacional de investigación cooperativa de carreteras cuenta con criterios de diseño geométrico para mini rotondas, rotondas de un solo carril y rotondas de varios carriles, se debe tener en consideración que algunas características del diseño de rotonda de varios carriles son significativamente diferentes del diseño de rotonda de un solo carril, y algunas técnicas empleadas en el diseño de rotonda de un solo carril puede no transferirse directamente a varios carriles de diseño. Sin embargo, existen varios principios generales que deberían guiar el desarrollo de todos los diseños rotonda.

- Proporcionar velocidades adecuadas de entrada y velocidades constantes a través de la rotonda mediante la aplicación de mejores accesos.
- Proporcionar el número apropiado de carriles y la asignación de carriles para lograr capacidad adecuada, balance de volumen de carril y continuidad de carril.
- Proporcionar una canalización fluida que sea intuitiva para los conductores y resulte en vehículos que utilizan naturalmente los carriles previstos.
- Proporcionar el espacio adecuado para los vehículos de diseño.
- Diseñar para satisfacer las necesidades de peatones y ciclistas.
- Proporcionar una distancia de visión y visibilidad apropiadas para que el conductor reconozca la intersección y los usuarios en conflicto. (NCHRP, 2010, pág. 6/34)

Las marcas en el pavimento y la debida señalización son fundamentales para un funcionamiento óptimo del óvalo. Estos junto con el diseño geométrico deben ser diseñados de forma conjunta.

### **OVALOS DE VARIOS CARRILES:**

#### **a) Disposición y número de carriles**

En rotondas varios carriles se deben tener conocer de manera clara la cantidad de carriles que se necesitan usar para la cantidad de vehículos que harán uso de esta intersección, para evitar exceder la capacidad de cada uno de los carriles.

En rotondas multicarril el principio fundamental es que el diseño geométrico genere continuidad en la entrada, circulación y salida de la rotonda de tal manera que no se necesite realizar cambios de carril durante el recorrido por la calzada de circulación, se desea que la

utilización de los carriles balanceada, esto para lograr alcanzar la capacidad de demanda. (NCHRP, 2010, pág. 34 cap. 6)

**b) Ancho de entrada**

El ancho de entrada necesario para el diseño de una rotonda está en función principalmente del número de carriles y los giros más importantes del vehículo de diseño, se puede observar en la tabla un rango de medidas para el ancho de entrada para rotondas de hasta 3 carriles. (NCHRP, 2010, pág. 35 cap. 6)

Tabla 9 Ancho de entrada

Tipo de rotondas	Ancho de entrada
De un solo carril	3.70 a 4.60 m
De dos carriles	7.30 a 9.10 m
De tres carriles	11.00 a 13.70 m

Fuente: Adaptación de NCHRP 672

Existen dos opciones principales cuando se requiere adicionar la medida del ancho de entrada, la primera consiste en agregar un carril completo en la aproximación manteniendo carriles paralelos a través del ancho de entrada como se muestra en la figura 42.

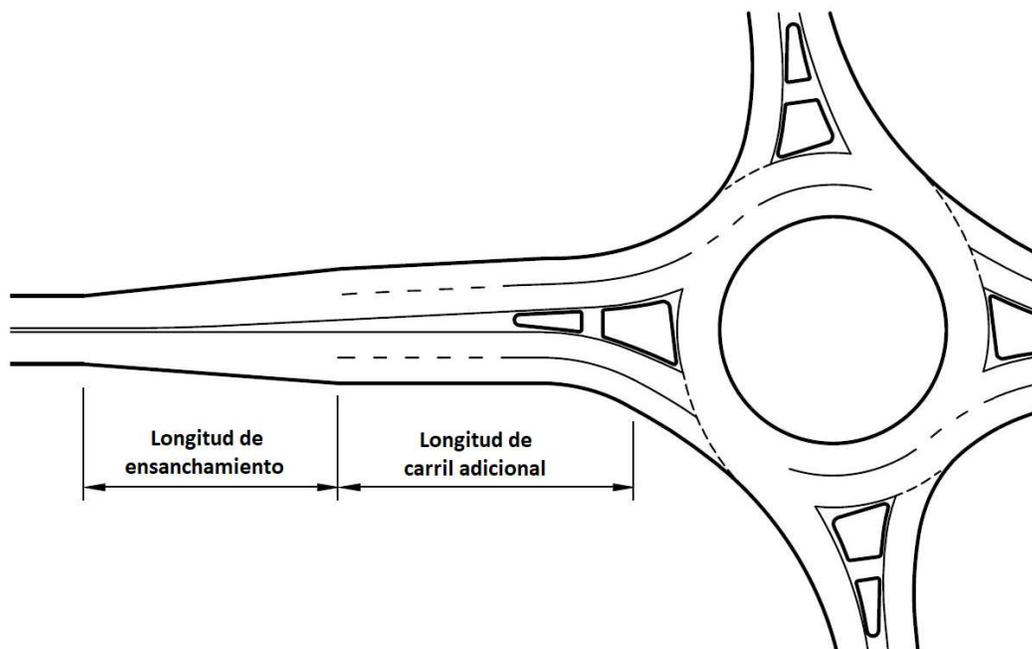


Figura 42 Ensanchamiento de aproximación mediante un carril completo agregado

Fuente: NCHRP 672

La segunda opción es ampliar gradualmente el ancho de entrada (figura 43), esta opción puede ser un medio eficaz para aumentar la capacidad sin requerir tanto derecho de paso como significa adicionar un carril completo.

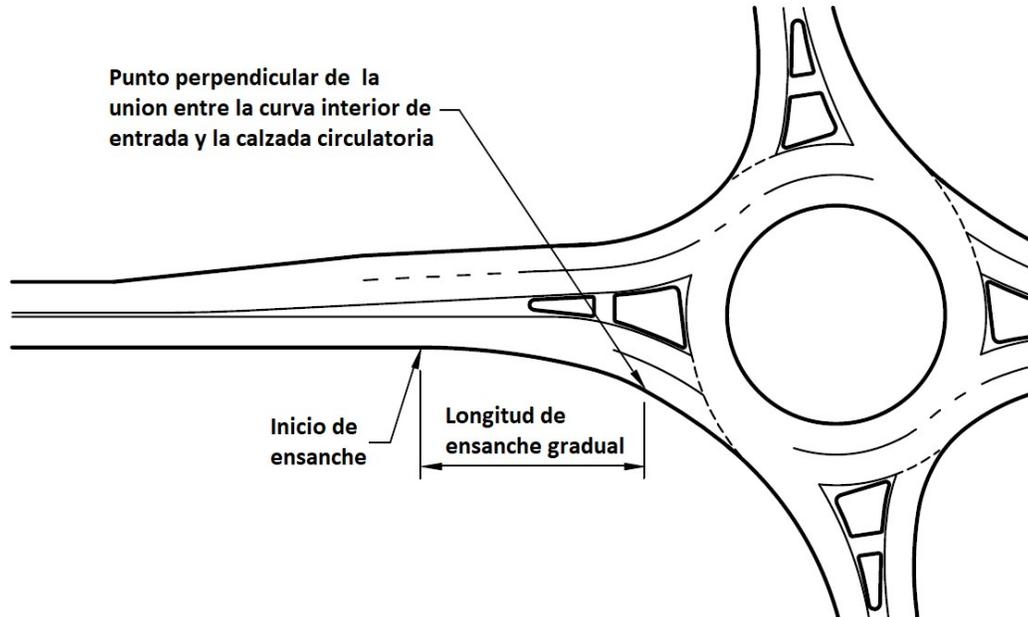


Figura 43 Ensanchamiento de aproximación mediante un ensanche gradual de la entrada

Fuente: NCHRP 672

### e) Ancho de calzada circulatoria

El ancho de la calzada de circulación para rotondas de varios carriles menciona que los criterios de diseño a tener en consideración se rigen por los tipos de vehículos que puedan acomodar su trayectoria evitando la superposición de recorridos. No es necesario considerar un ancho constante en toda la calzada circulatoria, resulta conveniente proporcionar el ancho mínimo necesario para las características de circulación del carril requerido en la rotonda; en algunos casos el ancho de la calzada de circulación puede requerir ser más grande que el correspondiente ancho de entrada que alimenta esa parte de la rotonda.

Una combinación común es tener dos carriles de entrada y salida a lo largo de la vía principal y un solo carril de entrada y salida en la vía secundaria. Esta combinación se puede ver la figura 44. Existen situaciones en la que dos entradas consecutivas requieren giros exclusivos a la izquierda (figura 45). (NCHRP, 2010, pág. 36 cap. 6)

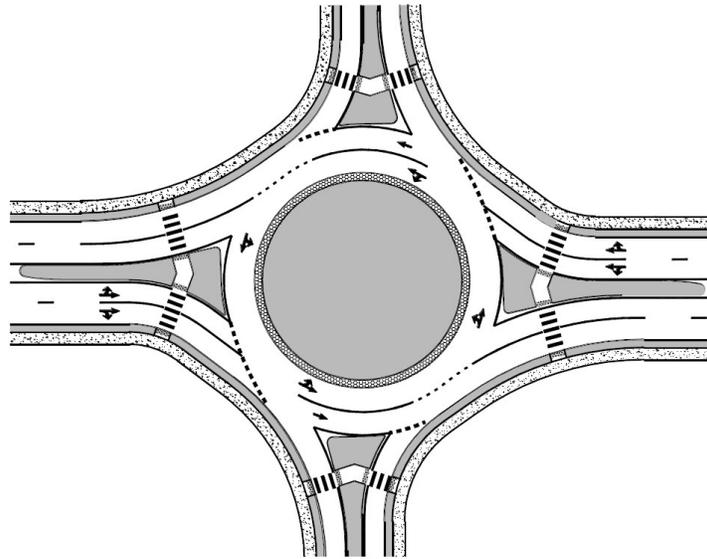


Figura 44 Vía principal de varios carriles y un carril en la vía secundaria

Fuente: NCHRP 672

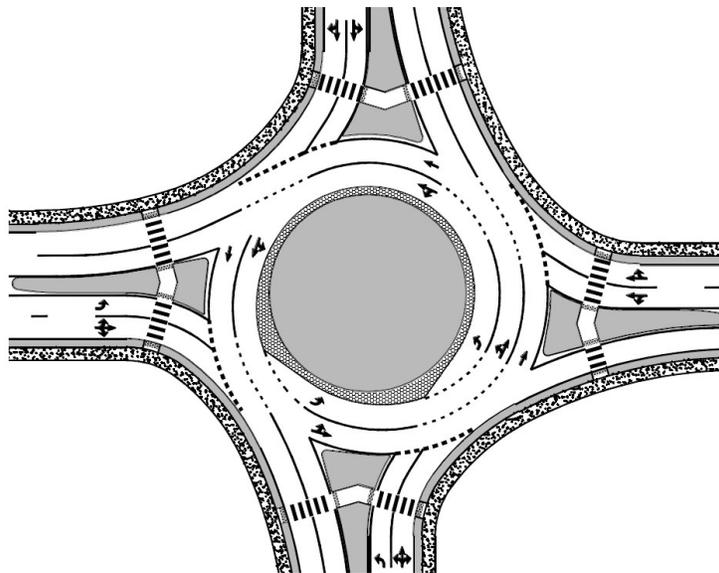


Figura 45 Rotonda de dos carriles con doble giro a la izquierda

Fuente: NCHRP 672

#### d) Geometría de entrada y alineación de aproximaciones

La geometría de la entrada es importante debido a que permite controlar la velocidad de aproximación de los vehículos, la alineación óptima de trayectorias naturales y la distancia de visibilidad necesaria.

Los radios de entrada para rotondas de varios carriles generalmente deben exceder los 20 m para generar trayectorias naturales del recorrido de los vehículos y así evitar colisiones laterales en la entrada, cuando se emplean radios pequeños de entrada menores a 13.7 m producen



velocidades de acceso bajas, sin embargo, se puede generar superposición de trayectorias, lo que ocasiona un mal uso del carril y una capacidad reducida. La superposición de trayectorias ocurre cuando el recorrido natural de carriles adyacentes se cruza entre sí; ocurre más en las entradas, donde la geometría del carril derecho (exterior) tiende a conducir a los vehículos al carril de circulación izquierdo (interior). Sin embargo, la superposición de trayectorias de vehículos también puede ocurrir en las salidas donde la geometría tiende a conducir a los vehículos desde el carril izquierdo hacia el carril de salida derecho. La figura 46 muestra un ejemplo de la superposición de la trayectoria del recorrido de vehículos en la entrada. El ingeniero debe proporcionar el equilibrio adecuado entre la velocidad de ingreso junto a una buena alineación de trayectorias de recorrido en las entradas, el resultado del diseño de entrada permite que los vehículos se alineen naturalmente en su carril correcto dentro de la calzada circulatoria; esto se puede lograr de varias maneras las cuales pueden variar de las condiciones específicas del lugar, por lo tanto, no es posible especificar un método único para el diseño de rotondas de varios carriles, esto último puede impedir la flexibilidad necesaria en el diseño. (NCHRP, 2010, pág. 38 cap. 6)

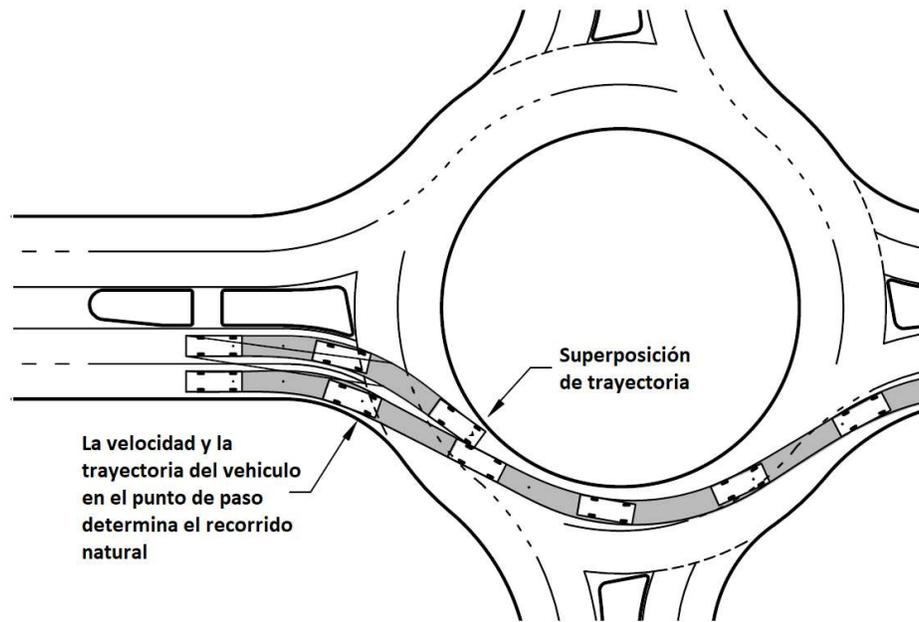


Figura 46 Superposición de trayectoria en el ingreso de vehículos

Fuente: NCHRP 672

En la figura 47 se ilustra una posible técnica para obtener una óptima alineación del acceso, esto se logra haciendo uso de una curva compuesta o tangente a lo largo del borde exterior, el diseño consiste en una curva de entrada inicial con radio pequeño establecido desde el borde

de la calzada de circulación; esto genera que el alineamiento original de la aproximación con respecto al centro de la isla central se vea desfasado.

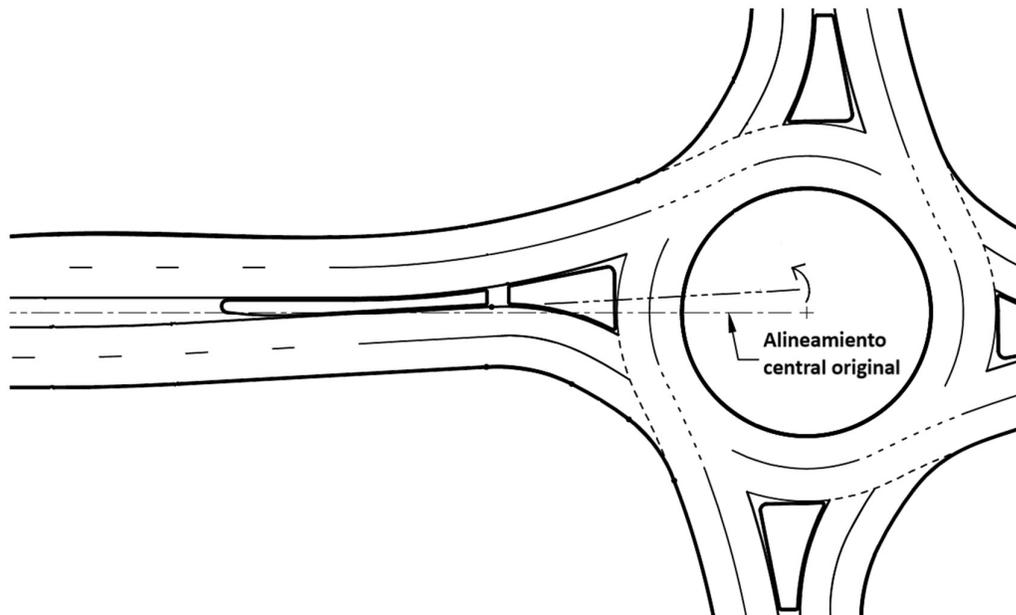


Figura 47 Alineación de la aproximación

Fuente: NCHRP 672

#### e) Islas divisorias

En rotondas de varios carriles, la geometría de los accesos se establece en primer lugar para asegurar un diseño que regule de manera óptima las velocidades de aproximación en la entrada de la ruta más rápida, se debe evitar la superposición de trayectorias y un adecuado barrido del vehículo del diseño.

La isla divisoria se desarrolla junto con el diseño de salida con la finalidad de otorgar un espacio adecuado que permita refugiar peatones y para la colocación de señalización vertical.

De manera general la longitud total mínima de la isla divisoria será de 15 metros, resulta mejor considerar unos 30 metros de longitud, esto para mejorar la protección otorgada a los peatones y alertar a los conductores que se aproximan a la geometría de la rotonda, además tendrá un ancho mínimo de 1.8 metros; la isla divisoria se debe extender preferentemente más allá de la curva de salida para evitar que los vehículos que salen se crucen accidentalmente con los vehículos que se aproximan. En la figura 48 se detalla las características y dimensiones mínimas de las islas divisorias. (NCHRP, 2010, pág. 41 cap. 6)

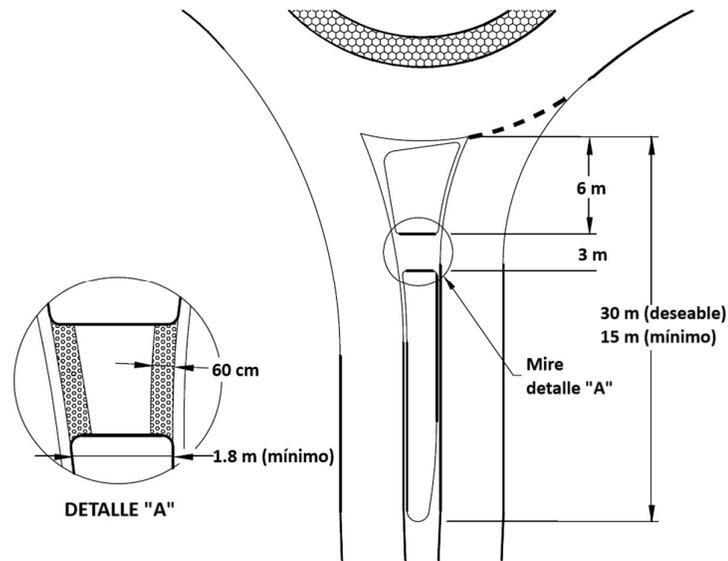


Figura 48 Dimensiones mínimas de la isla divisoria

Fuente: NCHRP 672

#### f) Curvas de salida

De igual forma a las curvas de entradas, el diseño de la curva de salida en rotondas de varios carriles se hace más complejo en comparación a rotondas de un solo carril, ocurren conflictos entre los vehículos que salen y circulan en la calzada de circulación cuando no se realiza una asignación de carriles adecuada.

El diseño geométrico inadecuado de las salidas, al igual que en las entradas, también puede provocar superposición de trayectorias del recorrido del vehículo de salida. Los radios de salida son suelen ser más grandes que los radios de entrada.

Para fomentar una alineación adecuada de la trayectoria hacia la salida, el radio de salida en la rotonda de varios carriles no debe ser demasiado pequeño, debido a que los vehículos de la calzada circulatoria preferirán salir al carril de salida exterior con un radio de giro más cómodo para el conductor.

Existen problemas que se presentan cuando el diseño permite demasiada separación entre las entradas y salidas posteriores; estas separaciones entre aproximaciones hacen que los vehículos que ingresan se unan al tráfico circulante que puede tener la intención de salir en la siguiente aproximación, en lugar de cruzar el camino de los vehículos que salen. Esto puede crear conflictos en el punto de salida entre los vehículos que salen y circulan, como se muestra en la figura 49. (NCHRP, 2010, pág. 42 cap. 6)

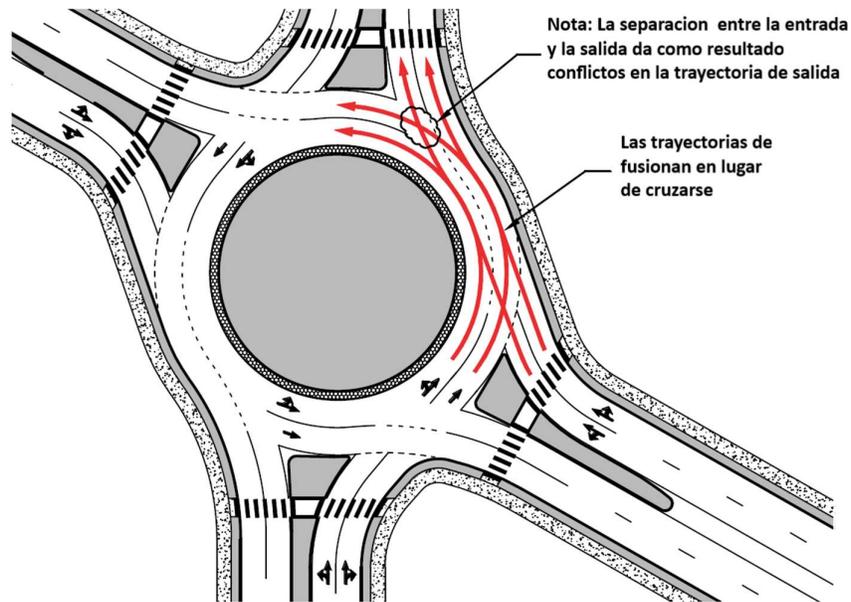


Figura 49 Conflicto en la salida causado por la separación larga entre las aproximaciones

Fuente: NCHRP 672

Una posible solución de baja inversión que involucra arreglos de los carriles haciendo uso de una combinación de trazado de líneas y modificaciones físicas, se observa en la figura 50 (esto aplica si los volúmenes de tráfico son compatibles). En la figura 51 se ilustra una mejor solución que implica la realineación de las aproximaciones para que las trayectorias de entrada de vehículos se crucen en lugar de fusionarse para eliminar el conflicto.

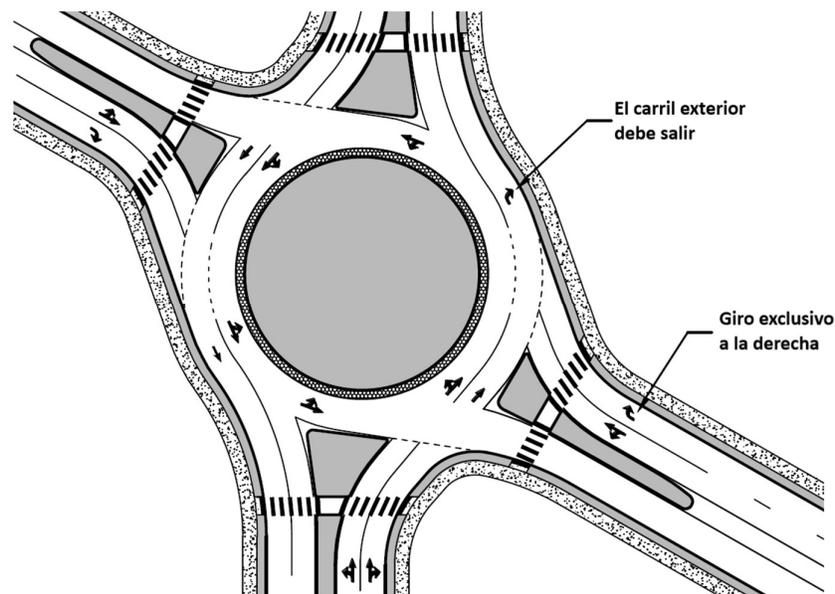


Figura 50 Posibles modificaciones de la configuración de carril para resolver conflictos en la salida

Fuente: NCHRP 672

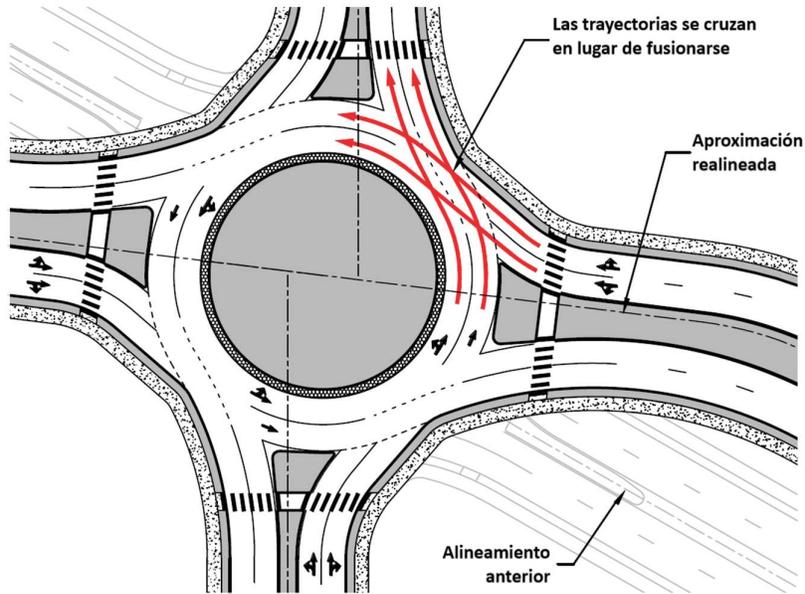


Figura 51 Realineación para resolver conflictos en la salida

Fuente: NCHRP 672

#### g) Consideraciones del vehículo de diseño

Las consideraciones del vehículo de diseño se deben tener en cuenta para la entrada y salida esto para generar trayectorias naturales de recorrido de los vehículos. El vehículo de diseño a seleccionar generalmente es aquel que de dimensiones más grandes y su frecuencia en la rotonda es considerable, también se debe considerar que una rotonda de varios carriles puede tener múltiples vehículos de diseño dependiendo de las características propias del sitio.

Una técnica para acomodar vehículos de diseño en su propio carril es generar una isla canalizadora. (NCHRP, 2010, pág. 44 cap. 6)

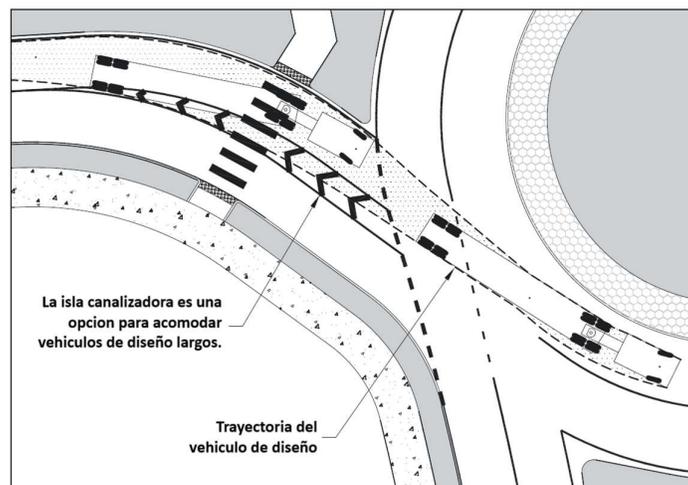


Figura 52 Trayectoria de vehículo de diseño con isla canalizadora en la entrada

Fuente: NCHRP 672

### h) Gestión de la velocidad

Se plantea una relación entre la velocidad de desplazamiento de los vehículos y la curvatura horizontal de la rotonda tiene en consideración el peralte transversal a los carriles de circulación y el factor de fricción lateral que varía con la velocidad del vehículo, la relación existe para dos valores más representativos de peralte que son  $-0.02$  y  $+0.02$ , que representan 2% de pendiente transversal. En la siguiente figura 53 se puede apreciar la gráfica velocidad – radio y las dos ecuaciones para peraltes más comunes; por otro lado, en la figura 54 se muestra un ejemplo donde se puede observar los caminos, radios y velocidades resultantes teóricos más rápidos en una rotonda. (Kittelson & Associates. Inc., 2014, pág. 3 cap. 6)

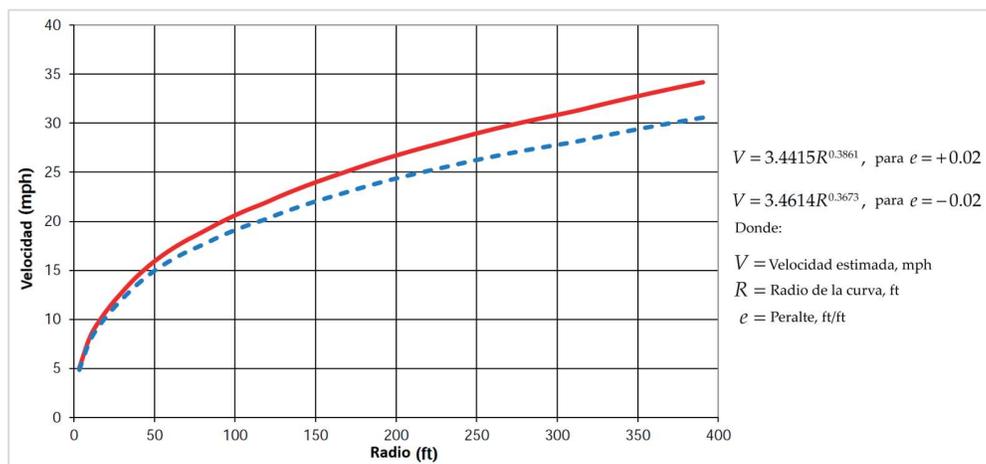


Figura 53 Relación velocidad-radio

Fuente: NCHRP 672

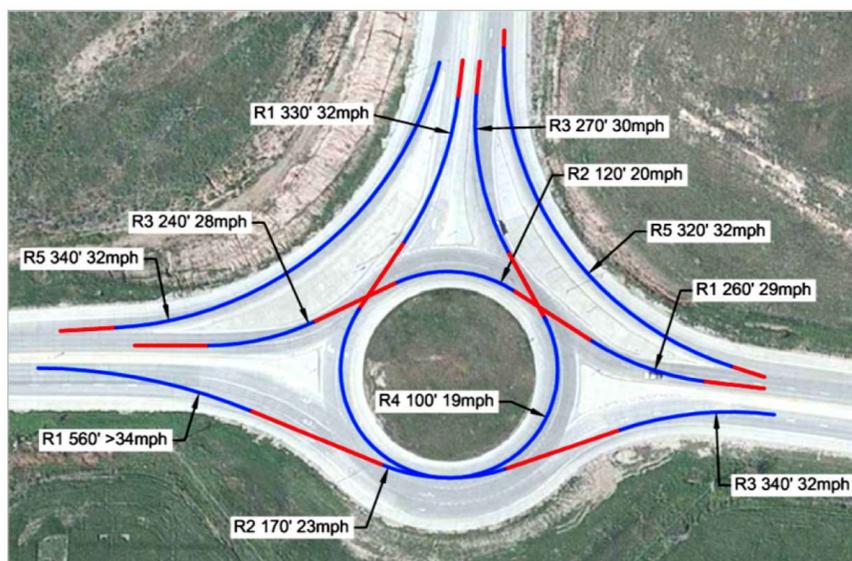


Figura 54 Ejemplo de camino rápido en la Intersección de US 50/Connector Road en Emporia, Kansas

Fuente: Kansas Roundabout Guide, 2nd Edition



### i) Distancia de visibilidad

Es necesario proporcionar una distancia de visibilidad dentro de la rotonda y en las aproximaciones para tener un tiempo adecuado que permita percibir y reaccionar ante usuarios (peatones y/o vehículos) que hagan uso de la rotonda y objetos que puedan estar en la infraestructura vial. La distancia de visibilidad en la rotonda también está presente en las entradas, es importante debido a que permite a los conductores identificar el carril apropiado de ingreso para una tener una mejor trayectoria natural de recorrido.

Las velocidades de diseño del camino más rápido se emplean para el cálculo de las necesidades de distancia de visual de parada y distancia visual a la intersección. Se sugiere que resulta conveniente proporcionar no más de la mínima distancia de intersección requerida en cada aproximación.

#### • Distancia visual de frenado

La distancia visual de parada o frenado es la distancia a lo largo de una vía necesaria para que el conductor perciba y reaccione a un objeto en la vía y pueda frenar completamente antes de alcanzar el objeto; la distancia visual se debe proporcionar en la entrada, a lo largo y en la salida de la rotonda. (NCHRP, 2010, pág. 61 cap. 6)

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

Donde:

d = distancia visual de parada, ft

t = tiempo de percepción, asumido 2.5 seg

V = velocidad inicial, mph

a = desaceleración, asumido 11.2 ft/s<sup>2</sup>

En rotondas se debe verificar mínimamente en tres ubicaciones críticas para determinar la distancia de parada, además se debe tener en consideración que velocidad se empleara para el cálculo, son dos principales: velocidad de aproximación y velocidad de circulación.

1. Distancia visual en el ingreso a la rotonda (figura 55).
2. Distancia visual a la calzada de circulación (figura 56).
3. Distancia visual al paso de peatones en la salida (figura 57).

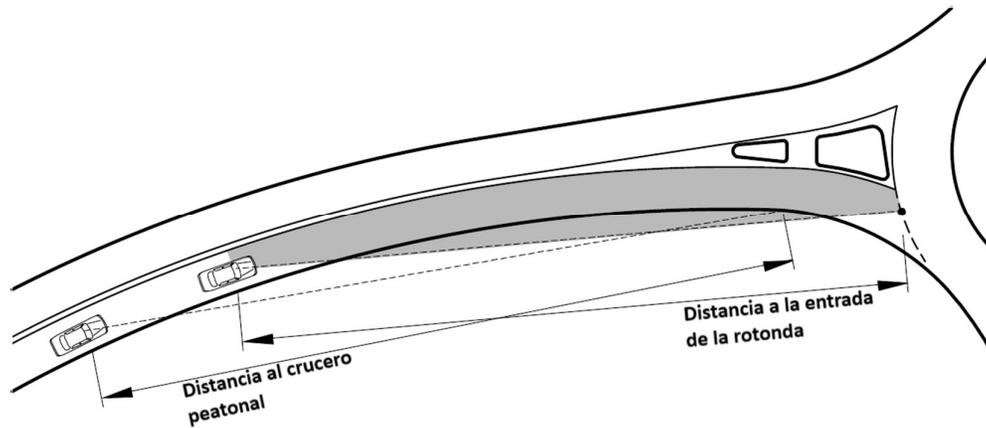


Figura 55 Distancia visual de parada en la entrada a la rotonda

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672

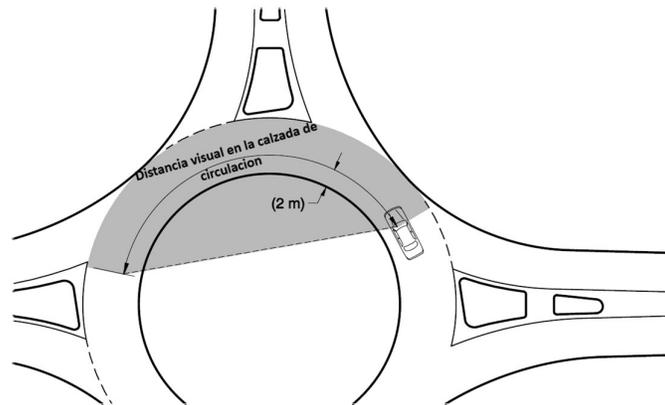


Figura 56 Distancia visual de parada en la calzada de circulación

Fuente: Adaptado de NCHRP Report 672

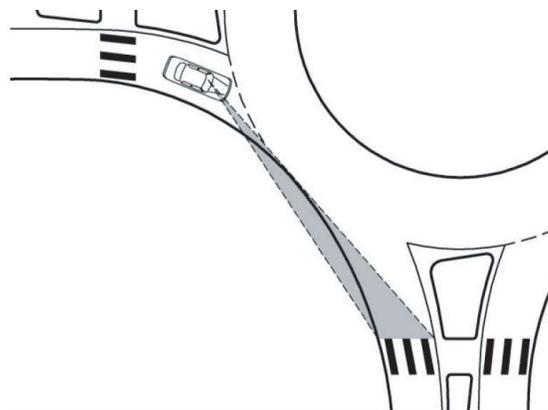


Figura 57 Distancia visual de parada al paso de peatones en la salida

Fuente: NCHRP Report 672

- **Distancia visual a la intersección**

La distancia visual a la intersección es la distancia requerida para que los conductores ya en la entrada a la rotonda puedan percibir posibles conflictos con vehículos sin tener en consideración el tiempo de percepción. Esta distancia se logra estableciendo triángulos visuales que definen el espacio que tiene un conductor para poder ver y reaccionar de manera segura ante vehículos potencialmente conflictivos. En rotondas las únicas ubicaciones que requieren la evaluación de la distancia de visual a la intersección son las entradas. La distancia visual a la intersección de manera tradicional se mide determinando un triángulo visual, este triángulo está delimitado por un tramo de la calzada que define un límite lejos de la intersección para cada uno de los dos conflictos más posibles y una línea que conecta estos dos límites. La longitud del tramo de aproximación del triángulo visual no será mayor a 15 metros.

La distancia no se debe medir como líneas rectas, se debe considerar una distancia a lo largo del recorrido del vehículo (trayectoria vehicular). La distancia visual a la intersección se debe calcular considerando una altura supuesta del ojo del conductor de 108 centímetros (3.5 pies) y una altura supuesta del objeto del mismo valor. Estudios británicos relacionados a la distancia visual a la intersección recomiendan no emplear distancias visuales excesivas debido a que el riesgo de accidentes se incrementa. En la figura 58 se muestra la distancia visual a la intersección, que se debe evaluar en vehículos que ingresan y vehículos que ya circulan en la rotonda. (NCHRP, 2010, pág. 63 cap. 6)

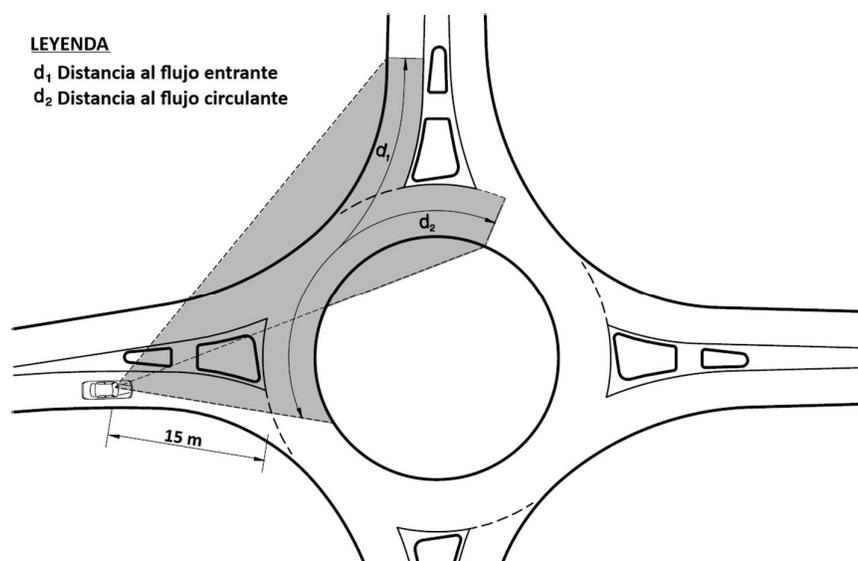


Figura 58 Distancia visual a la intersección

Fuente: NCHRP Report 672

Para calcular la longitud del tramo en conflicto se emplean las siguientes fórmulas.

$$d_1 = (1.468)(V_{mayor,ingreso})(t_c)$$

$$d_2 = (1.468)(V_{mayor,circulacion})(t_c)$$

Donde:

$d_1$ : longitud del triángulo visual de la entrada en pies

$d_2$ : longitud del triángulo visual de la circulación en pies

$V_{mayor}$ : Velocidad de diseño del movimiento en conflicto en mph

$t_c$ : Tiempo crítico para ingresar equivalente a 5.0 segundos

En la figura 59 se muestra todas las distancias de visibilidad necesarias a considerar para el diseño de una rotonda.

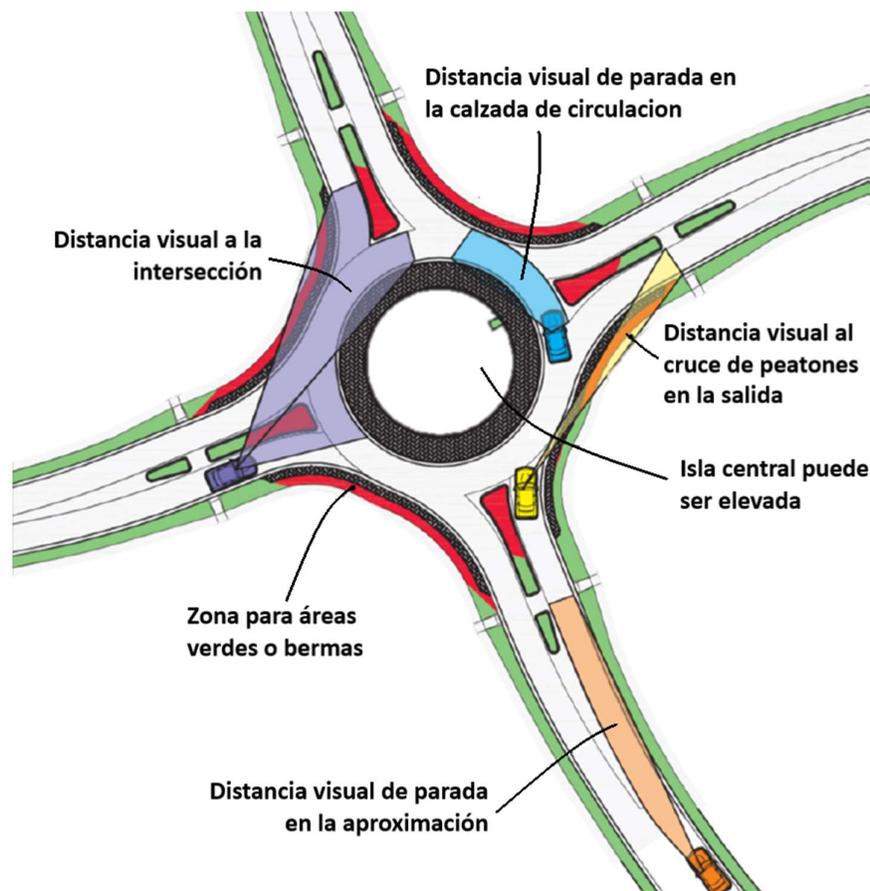


Figura 59 Distancias visuales en rotondas

Fuente: Kansas Guide Roundabout Guide 2<sup>nd</sup> Edition



Además, el National Cooperative Highway Research Program (NCHRP) en su reporte 488 menciona que para la evaluación del rendimiento operativo de rotondas en el caso de demoras y capacidad existen las siguientes metodologías.

- Modelo HCM 2010
- Modelo HCM 2010 calibrado a las condiciones locales
- Modelo HCM 2010 calibrado a las condiciones no locales
- Modelo estandarizado Sidra con factores ambientales
- Modelo estandarizado Sidra sin factores ambientales
- Ecuaciones UK -TRL calibrado
- Ecuaciones UK – TRL sin calibrar
- Microsimulación

Por otra parte, menciona diversos softwares para la evaluación computacional del rendimiento operativo en rotondas.

- Arcady
- HCS
- Rodel
- Sidra
- Synchro
- Vistro
- Microsimulación

## 2.2.19 Funcionalidad Operacional

### 2.2.19.1 Capacidad TRL – EMPIRICO

Este método empírico se desarrolla para el cálculo de la capacidad vial de rotondas por Kimber, aplicando la regresión lineal entre la interrelación de las características geométricas de la rotonda, los flujos de circulación frente a la entrada. (Nieto Medina, 2016)

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

$$F = 303. x_2, F = 336. x_2 \text{ Para rotondas con desnivel.}$$

$$f_c = 0,210. t_D. (1 + 0,2. x_2)$$

$$f_c = 0,294. t_D. (1 + 0,2. x_2) \text{ Para rotondas con desnivel.}$$



$$k = 1 - 0,00347 \cdot (\varphi - 30^\circ) - 0,978 \cdot \left(\frac{1}{r} - 0,05\right)$$

$$t_D = 1 + \frac{1}{2 \cdot \left(1 + e^{\frac{D-60}{10}}\right)}$$

$$x = v + \frac{e - v}{1 + 2S}$$

$$S = 1,6 \frac{e - v}{l'}$$

Donde:

Qe : Capacidad de entrada a la rotonda (veh/h)

Qc : Flujo que circula en las entradas (veh/h)

F : Punto de intersección de la recta de regresión con el eje de ordenadas (veh/h)

fc : Pendiente de la recta de regresión.

k : Factor de corrección

v : Semiancho del carril de aproximación (m)

e : Ancho de entrada a la rotonda

S : Agudeza de la entrada

x : Constante dependiente de e, v y S

D : Diámetro del círculo inscrito en la rotonda (m)

td : Constante dependiente de D

r : Radio de curvatura de la curva de ingreso a la rotonda (m)

$\varphi$  : Angulo de entrada ( $^\circ$ ) (Nieto Medina, 2016, pág. 8)

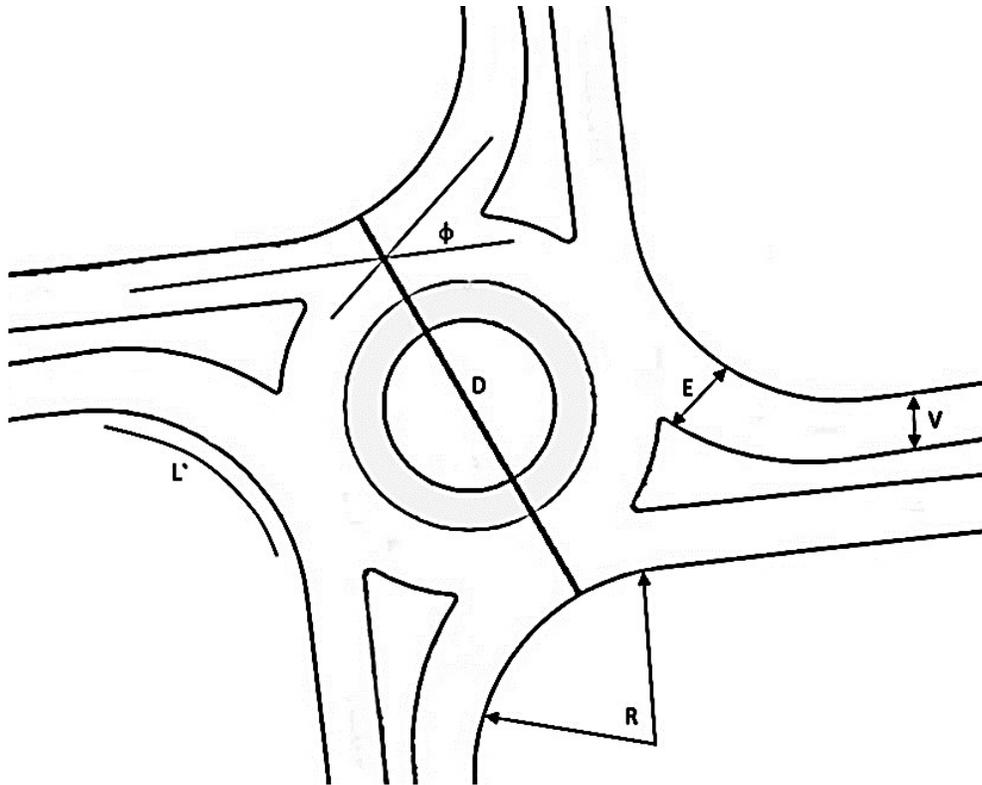


Figura 60 Parámetros geométricos para el cálculo de capacidad de rotondas método TRRL

Fuente: Propia

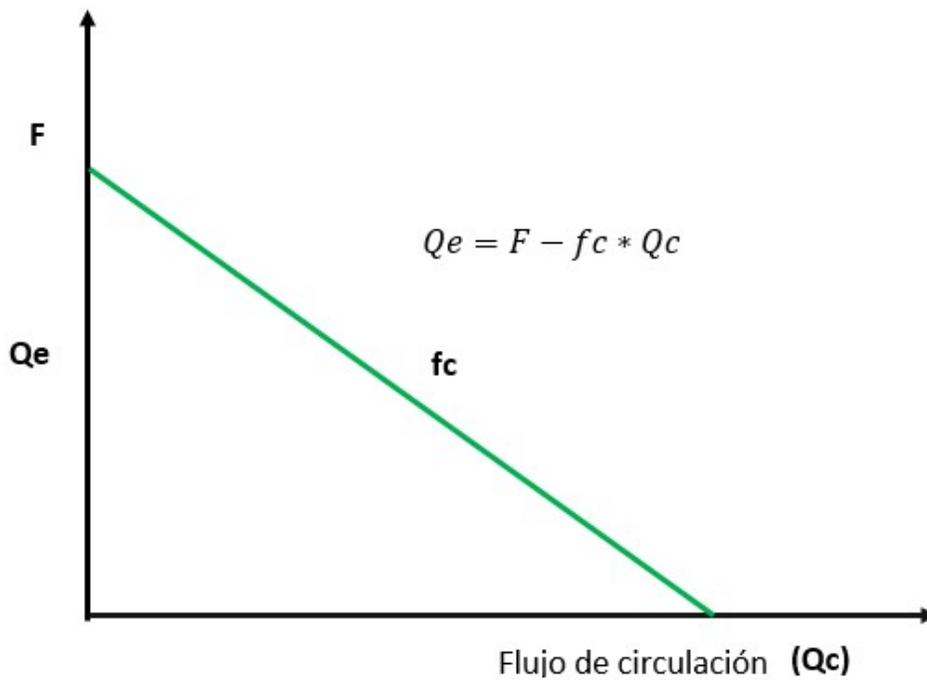


Figura 61 Método TRRL

Fuente: Fuente propia



Tabla 10 Rangos de los parámetros para el cálculo de capacidad

Elemento de diseño	Símbolo	Unidad	Rango
Ancho de entrada	e	metros	3.6 - 16.5
Semiancho de calzada de aproximación	v	metros	1.9 - 12.5
Longitud de curvatura	l	metros	1 - $\infty$
Agudeza de la entrada	S	Adimensional	0 - 2.9
Diametro del círculo inscrito	D	metros	13.5 - 171.6
Angulo de entrada	$\varphi$	Grados	0 - 77
Radio de entrada	r	metros	3.4 - $\infty$

Fuente: Adaptación propia

### 2.2.19.2 Nivel de servicio en intersecciones semaforizadas

El nivel de servicio para intersecciones semaforizadas se define en términos de demora de control, que es una medida de la incomodidad del conductor y el aumento del tiempo de viaje. El retraso experimentado por un conductor se compone de una serie de factores relacionados con el control, las características geométricas, el tráfico y los incidentes. La demora total es la diferencia entre el tiempo de viaje realmente experimentado y el tiempo de viaje de referencia que resultaría durante condiciones de bajo volumen vehicular, en ausencia de control de tráfico, retraso geométrico, cualquier incidente y cualquier otro vehículo. Los criterios de nivel de servicio para intersecciones semaforizadas establecen términos de demora promedio de control por vehículo, típicamente durante un período de análisis de 15 minutos. El retraso es una medida compleja y depende de una serie de variables, incluida la calidad de progresión, la duración del ciclo, la proporción verde y la relación para el grupo de carril. La relación crítica es un indicador aproximado de la suficiencia general de una intersección, también depende de las velocidades críticas de flujo de carril y las fases semaforicas, los niveles de servicio se definen para representar intervalos razonables en el retraso de control.

#### Nivel de servicio A

Este nivel de servicio se caracteriza por tener un tránsito vehicular fluido, con volúmenes bajos y con velocidades altas, los vehículos se encuentran dispersos a lo largo de la intersección, su



comportamiento no se ve afectado por los vehículos cercanos, los conductores tienen la facilidad de realizar maniobras y cambios de velocidad en la intersección.

#### **Nivel de servicio B**

Este nivel de servicio se caracteriza por tener una circulación que se puede considerar estable, debido a que las velocidades de ingreso circulación y salida son continuas, los vehículos ya se ven condicionados por otros vehículos, sin embargo, pueden elegir el carril por el cual quieren circular.

#### **Nivel de servicio C**

Este nivel de servicio se caracteriza por tener una circulación que puede ser considerada estable, pero las maniobras y velocidades de los vehículos se ven afectados por otros vehículos cercanos, además los conductores ya no pueden realizar cambios de carril con facilidad, las condiciones de circulación son aceptables.

#### **Nivel de servicio D**

En este nivel de servicio la circulación de los vehículos empieza a ser inestable, debido a que los conductores realizan maniobras y cambios de velocidad muy repentinos donde el tránsito se ve afectado por otros vehículos cercanos, la circulación de los vehículos suele ser aceptable durante periodos cortos, el incremento del volumen vehicular genera problemas en el funcionamiento de la intersección.

#### **Nivel de servicio E**

En este nivel de servicio las maniobras a realizar por los conductores son más complicadas debido al gran volumen vehicular, las condiciones de circulación empiezan a dejar de ser aceptables, las pausas generadas por los vehículos son más continuas, la intersección comienza a colapsar.

#### **Nivel de servicio F**

En este nivel de servicio la circulación de los vehículos ya no es aceptable se caracteriza por tener velocidades muy bajas y las maniobras realizadas por los conductores son demasiadas bruscas, se generan colas por el gran volumen vehicular, este nivel de servicio representa el congestionamiento total de la aproximación.



Tabla 11 Nivel de servicio para intersecciones semaforizadas

Demora de control (s/veh)	Nivel de Servicio por la relacion Volumen- Capacidad	
	<1.0	>1.0
<10	A	F
>10-20	B	F
>20-35	C	F
>35-55	D	F
>55-80	E	F
>80	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual (HCM 2010)

### Nivel de servicio en rotondas

El nivel de servicio para rotondas se define en términos de demora de control, que es una medida de la incomodidad del conductor y el aumento del tiempo de viaje. El retraso experimentado por un conductor se compone de una serie de factores relacionados con el control, las características geométricas, el tráfico y los incidentes. La demora total es la diferencia entre el tiempo de viaje realmente experimentado y el tiempo de viaje de referencia que resultaría durante condiciones de bajo volumen vehicular, en ausencia de control de tráfico, retraso geométrico, cualquier incidente y cualquier otro vehículo. Específicamente, los criterios de nivel de servicio se establecen en términos de demora promedio de control por vehículo, típicamente durante un período de análisis de 15 minutos. El retraso es una medida compleja y depende de una serie de variables, incluida la calidad de progresión y la relación para un grupo de carriles. La relación crítica es un indicador aproximado de la suficiencia general de una intersección, también dependen de las velocidades críticas de flujo por carril, los niveles de servicio se definen para representar intervalos razonables en el retraso de control por carril.

Tabla 12 Nivel de servicio para rotondas

Demora de control (s/veh)	Nivel de Servicio por la relacion Volumen- Capacidad	
	<1.0	>1.0
<10	A	F
>10-15	B	F
>15-25	C	F
>25-35	D	F
>35-50	E	F
>50	F	F

Fuente: Highway Capacity Manual (HCM 2010)



### 2.2.19.3 Demoras en rotondas

Las demoras en rotondas se pueden definir como el tiempo en el cual los vehículos se encuentran en las colas por carril para cada aproximación esperando a ingresar a la calzada de circulación, estas demoras se pueden dar por diferentes factores como pueden ser las características geométricas o las maniobras realizadas por los conductores al estar en la aproximación.

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

Donde:

$d$  = Demora promedio por carril (s/veh)

$x$  = relación volumen capacidad para cada carril

$c$  = Capacidad por carril (veh/h)

$T$  = Tiempo del Periodo (h)

Para cálculo de las demoras por aproximación y para toda la intersección se da por un promedio ponderado como se puede ver en las siguientes formulas

$$d_{aproximacion} = \frac{d_1 v_1 + d_2 v_2 + d_3 v_3 + d_4 v_4}{v_1 + v_2 + v_3 + v_4}$$

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

Donde:

$d_{aproximacion}$  = Demora por aproximación

$d_{interseccion}$  = Demora por toda la intersección

$d_i$  = Demora por carril o aproximación

$v_i$  = Tasa de flujo por carril o aproximación



#### 2.2.19.4 Longitud de colas

La longitud de cola es aquel parámetro que permite medir el flujo de saturación en cada aproximación representando las demoras producidas en unidad de vehículos, estas longitudes pueden generarse por condiciones de flujo y comportamiento de los conductores al ingresar a la intersección, la duración estimada de una cola también proporciona información adicional sobre el funcionamiento operacional de una intersección. (Kimber, R., & Hollis, E., 1979) proponen la siguiente fórmula:

$$L_t = \frac{1}{2} (\sqrt{U_L^2 + V_L} - U_L)$$

Donde  $U_L$  y  $V_L$  se calculan según

$$U_L = \frac{(1-x)(Qt)^2 + (1-L_o)Qt - 2(1-c)(L_o + xQt)}{Qt + (1-c)}$$

$$V_L = \frac{4(L_o + xQt)[Qt - (1-c)(L_o + xQt)]}{Qt + (1-c)}$$

Donde:

$L_t$ : Longitud de cola (veh)

$x$ : Grado de saturación de la vía

$Q$ : Capacidad de la intersección (veh/h)

$c$ : Parámetro en función del tiempo de servicio (1 para rotondas)

$L_o$ : Longitud de la cola al inicio del periodo de análisis

$t$ : Periodo en el que se asume que la capacidad es igual a la demanda (h)

Se ha determinado que  $L_t$  es una buena aproximación para tiempos de análisis no mayores a 15 minutos, se pueden trabajar en periodos de 10 a 15 minutos haciendo que la longitud inicial de la cola  $L_o$  de cada periodo sea igual a  $L_t$  calculado del periodo anterior, estas fórmulas se simplifican si se tiene en cuenta que los tiempos de servicio para rotondas son aleatorias es decir  $c \approx 1$ . (Nieto Medina, 2016, pág. 27)

Consecuentemente se obtiene las siguientes formulas simplificadas:

$$U_L = (1-x)Qt + 1 - L_o$$

$$V_L = 4(L_o + xQt)$$



### 2.2.20 Modelos de simulación

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 (AGUILAR, 2018)..

#### 2.2.20.1 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 (AGUILAR, 2018).

#### 2.2.20.2 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 (AGUILAR, 2018).

- **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.

### 2.2.21 Simulación del transporte

La simulación del tráfico urbano en el sistema vial, se clasifica en tres grupos de simulación, cada uno de estos se diferencian de acuerdo al nivel de detalle que se desea tener en la simulación, a continuación, se muestran los tres grupos.

#### 2.2.21.1 Simulación macroscópica

El comportamiento de los vehículos es representado con un nivel bajo de detalle, en esta simulación los flujos vehiculares están definidos por un promedio, donde se toma en consideración volúmenes y velocidades; los cambios de carril no son considerados para esta simulación, donde se considera una distribución adecuada de los flujos. (Gonzales Rivera, 2005)

#### 2.2.21.2 Simulación mesoscópica

En esta simulación presenta mayor nivel de detalle en comparación a la simulación macroscópica, pero menor a la microsimulación, se consideran a los flujos vehiculares como un grupo continuo de vehículos llamados pelotones. (Gonzales Rivera, 2005)

#### 2.2.21.3 Simulación microscópica

La microsimulación tiene en consideración los criterios de seguimiento vehicular, el comportamiento del conductor que por ejemplo puede realizar cambios de carril. El nivel de detalle en esta simulación es alto debido a que considera a las unidades de vehículo para el análisis. (Gonzales Rivera, 2005)



Figura 62 Clasificación de los modelos de simulación según el nivel de detalle

Fuente: Propia



#### 2.2.21.4 Ventajas y desventajas de la simulación

La simulación de tránsito urbano en un sistema vial presenta ventajas y desventajas al momento de aplicar la simulación en un estudio determinado.

##### Ventajas

- Los sistemas más complejos de la realidad no pueden ser descritos minuciosamente por un modelo matemático que pueda ser evaluado analíticamente. En estos casos, la simulación es el único tipo de investigación posible.
- Los modelos de simulación pueden ser usados con nuevos escenarios que actualmente no existen en el mundo real.
- Un sistema de simulación puede ser estudiado en tiempo real, de manera lenta o en forma acelerada, dependiendo de los requerimientos del investigador.
- En la simulación, se pueden comparar diferentes escenarios, con la finalidad de ver cuál es el que mejor se ajusta a los requerimientos. (Almonacid Mancilla, 2007, pág. 33)

##### Desventajas

- Los investigadores de los modelos de simulación requieren de muchas disciplinas (programación, estadística, ingeniería, etc.).
- La simulación no es posible si el investigador no entiende de manera integral el sistema.
- Los modelos de simulación se desarrollan sobre supuestos y limitaciones preestablecidas.
- Si los modelos de simulación no son representaciones válidas del sistema bajo estudio, proporcionarían resultados con muy poca información aprovechable. (Almonacid Mancilla, 2007, pág. 32)

#### 2.2.22 JUNCTIONS – ARCADY

El módulo ARCADY forma parte del paquete Junctions 9, junto a los otros dos módulos como son el PICADY y OSCADY, Junctions 9 es desarrollado en Reino Unido por el TRL (Transport Research Laboratory).

El programa de computadora ARCADY calcula las colas y retrasos de capacidades, aproximación por aproximación, también como los flujos de demanda varían durante un período pico. Estas derivaciones se hacen a partir de un conocimiento de los datos de origen, destino del tráfico, y la geometría de la rotonda.



ARCADY se basa en tres décadas de investigación y desarrollo por el TRL haciendo uso de las ecuaciones, de Kimber, de capacidad y seguridad que se en la década de 1970 por el TRL, asimismo incorpora el HCM 2010 (Highway Capacity Manual) modelo de capacidad de EE.UU.

ARCADY tiene la capacidad de realizar un análisis de operacional más detallado y un diseño geométrico detallado usa para predecir capacidades, colas, demoras y riesgo de accidentes en rotondas. Una herramienta fácil de usar para el profesional del tráfico ocupado que desea diseñar nuevas rotondas y evaluar los efectos de modificar los sitios existentes.

ARCADY presenta un enlace a Autodesk Vehicle Tracking® para mejorar en gran medida la capacidad de diseño y reducir drásticamente la cantidad de tiempo necesario para diseñar y analizar configuraciones alternativas de rotonda.

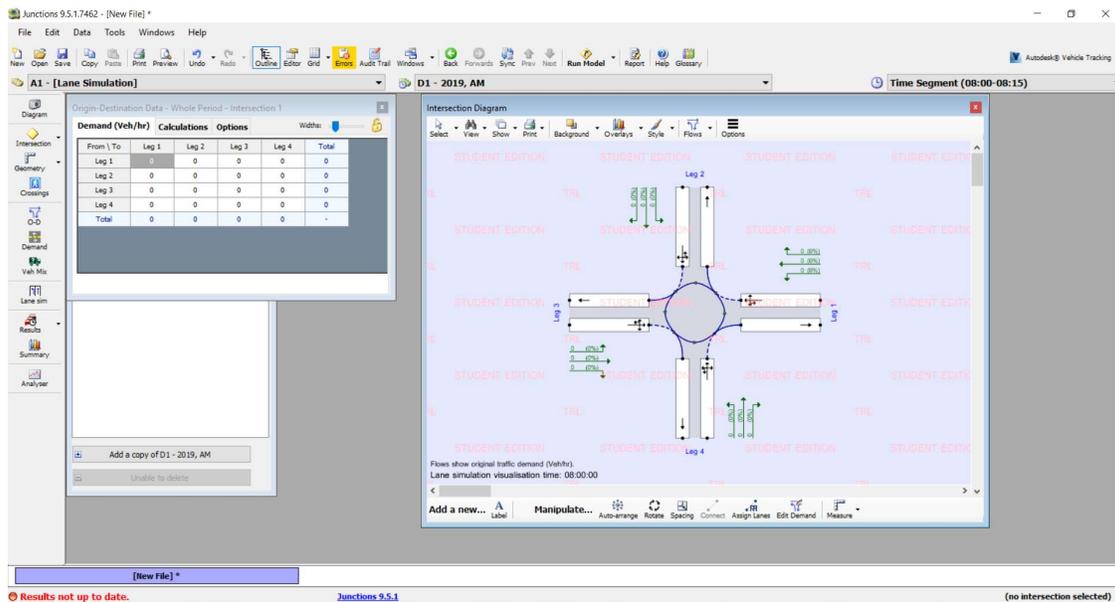


Figura 63 Interfaz del programa Junctions 9 Student Version

Fuente: Propia

### 2.2.23 Barrido de Vehículos

Es la simulación del área de recorrido de un vehículo de diseño teniendo en consideración sus características de giro, la estructura, los ejes del vehículo de diseño, con la finalidad de optimizar, mejorar, adecuar y analizar la trayectoria de los vehículos en diversas infraestructuras viales desde carreteras, intersección y hasta estacionamientos para garantizar seguridad a los conductores; existen varios softwares computacionales para el análisis de barridos de vehículos tales como:



- AutoPath
- AutoTurn Pro
- Vehicle Tracking- Autodesk

### 2.2.23.1 Vehicle Tracking - Autodesk

Es un software de análisis y diseño de transporte para el seguimiento de vehículos está diseñado para el análisis de rutas de barrido de vehículos y ayuda a evaluar los movimientos de los vehículos de diseño, simula el recorrido de un vehículo en base a radios de giro y otros factores de los vehículos.

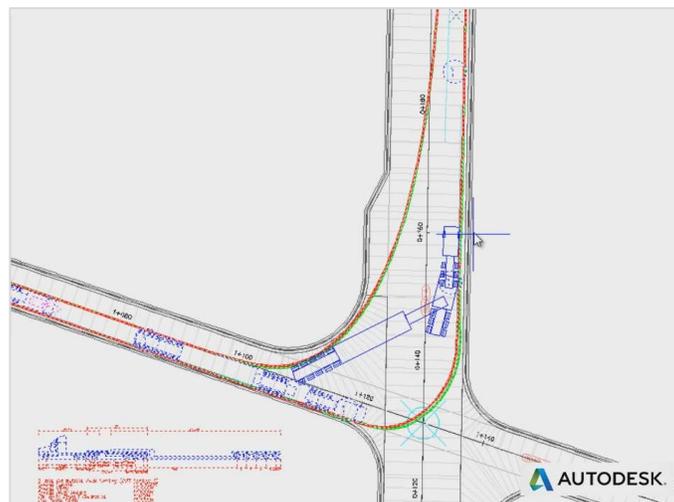


Figura 64 Vehicle Tracking - Software

Fuente: Autodesk

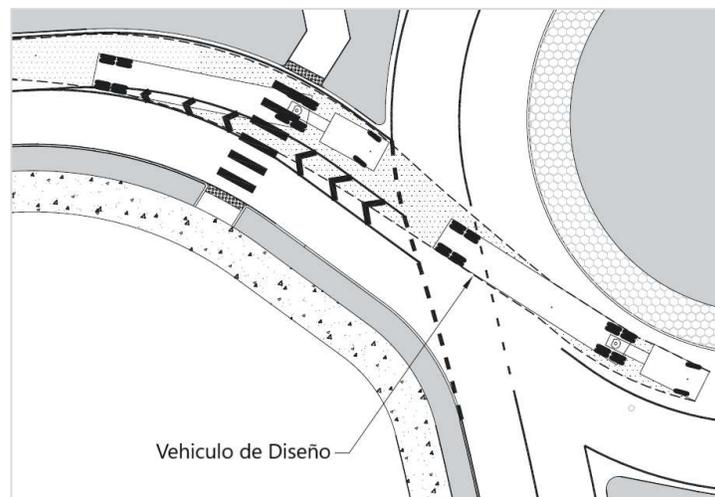


Figura 65 Barrido de vehículo de diseño

Fuente: Adaptación de NCHRP Report 672

## 2.2.24 Dispositivos de control

Los dispositivos de control de tránsito son todas las señales, marcas, semáforos y cualquier otro dispositivo, que forman parte de la infraestructura vial, y son de propiedad del estado, cuyo objetivo es para reglamentar, informar y guiar a los usuarios en un sistema vial.

Los dispositivos de control indican a los usuarios las precauciones (prevenciones) que deben tener en cuenta, las limitaciones (restricciones) que gobiernan el tramo en circulación y las informaciones (guías) estrictamente necesarias, dadas las condiciones específicas de la calle o carretera. (Cal y Mayor Reyes Spindola, 2007, pág. 125)

### 2.2.24.1 Clasificación de los dispositivos de control

#### 2.2.24.1.1 Señales verticales

Las señales verticales son dispositivos instalados al costado o sobre el camino, y tienen por finalidad, reglamentar el tránsito, prevenir e informar a los usuarios mediante palabras o símbolos establecidos siendo la función de estas señales, la de regular, prevenir e informar al usuario de la vía, la utilización es fundamental principalmente en lugares donde existen regulaciones especiales, permanentes o temporales, y en aquellos donde los peligros no siempre son evidentes (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 13)

Las señales verticales se clasifican en los tres grupos que se muestran a continuación.

#### a) Señales Regulatorias o de Reglamentación



Figura 66 Señales regulatorias o de reglamentación

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras Ed. 2016

#### b) Señales de Prevención



Figura 67 Señales de prevención

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras Ed. 2016

### c) Señales de Información



Figura 68 Señales de información para una rotonda

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras Ed. 2016

#### 2.2.24.1.2 Señales horizontales

Las marcas en el pavimento o demarcaciones, constituyen la señalización horizontal y está conformada por marcas planas en el pavimento, tales como líneas horizontales y transversales, flechas, símbolos y letras, que se aplican o adhieren sobre el pavimento. Tienen la finalidad de reglamentar el movimiento de los vehículos e incrementar la seguridad en la operación de estos, en algunos casos sirve como complemento a las señales verticales y semáforos en el control del tránsito. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2016, pág. 253)

Existen delineadores de piso cuya función es complementar las marcas horizontales en el pavimento, estas se colocan de manera longitudinal y transversal en el pavimento, este tipo de marcas pueden tener un material reflectivo en las caras frente al tránsito.

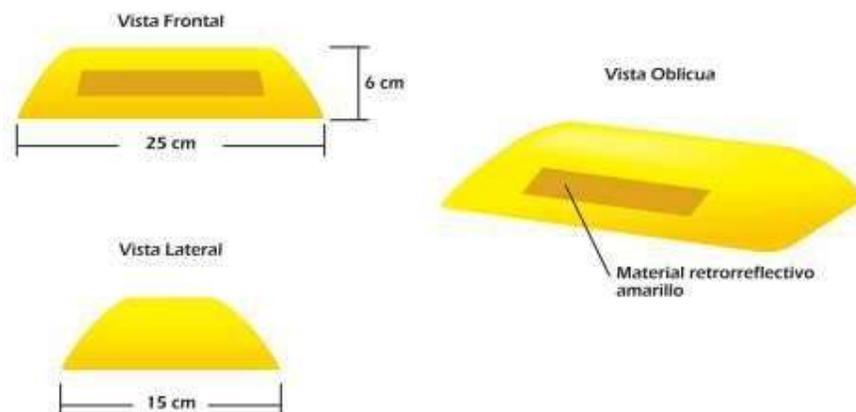


Figura 69 Delineador de piso tipo tachón

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras Ed.

2016

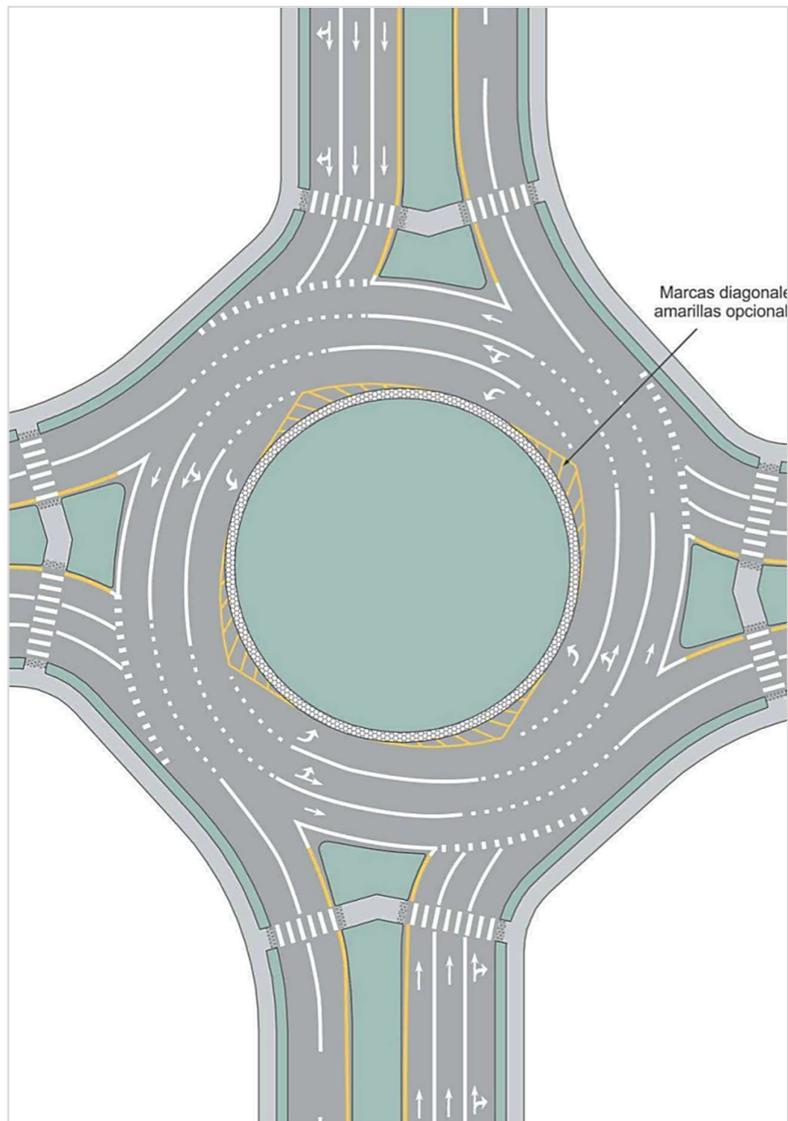


Figura 70 Demarcación para rotondas

Fuente: Manual de dispositivos de control de tránsito automotor para calles y carreteras Ed. 2016

### 2.2.24.1.3 Reductores de velocidad tipo resalto

Según la directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)” define al reductor de velocidad como un dispositivo estructural fijo, que opera como reductor de velocidad en vías que atraviesan vías urbanas, la cual ; cuya función es reducir la velocidad de operación de los vehículos al ingresar a una zona de conflicto, asegurando que circulen con una velocidad controlada, disminuyendo los riesgos de accidentalidad y creando armonía entre los usuarios de la vía y el entorno de la zona de influencia. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 5)

#### 2.2.24.1.4 Tipos de resalto

##### a) Circular

Se caracteriza por tener una sección circular y pueden estar ubicados a lo ancho de toda la calzada o en un solo carril como se observa en la imagen 71. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

##### b) Trapezoidal

Se caracteriza por tener una sección trapezoidal y debe estar ubicado en toda la sección de una aproximación, también cumple la función de cruce peatonal como se puede apreciar en la figura 72. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014)

##### c) Virtual

Se caracteriza por tener una marca en el pavimento, esta hace que los conductores perciban un resalto en la vía, con el objetivo de reducir la velocidad, se suelen emplear como complemento a resaltos en simultáneos a lo largo de una vía. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 6)

##### d) Cojines

Se caracteriza por no cubrir toda la sección de la vía, es utilizado para vías donde las velocidades están entre 50 a 60 km/h, con el objetivo de reducir las velocidades, pero sin condicionar el tiempo de respuesta de los vehículos de emergencia como se puede apreciar en la figura 73. (Ministerio de Transportes y Comunicaciones, 2014, pág. 7)



Figura 71 Resalto tipo circular

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”



Figura 72 Resalto trapezoidal

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”



Figura 73 Resalto tipo cojines

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”

En la tabla 13 se muestra las dimensiones recomendadas para resaltos de sección circular en función de la velocidad esperada, y en la tabla 14 se muestra las dimensiones recomendadas para resaltos de sección trapezoidal.

Tabla 13 Radios y longitudes de cuerda para resalto de sección circular

Velocidad Esperada (Km/h)	Radio (m)	Longitud de Cuerda (m)	Velocidad durante el paso (Km/h)
25	15	3.5	10
30	20	4.0	15
35	31	5.0	20
40	53	6.5	25
45	80	8.0	30
50	113	9.5	35

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”

Tabla 14 Longitudes de rampas y pendientes para resalto de sección trapezoidal

Velocidad Esperada (Km/h)	Longitud de Rampa (m)	Pendiente (%)	Velocidad durante el paso (Km/h)
25	0.8	12.5	5
30	1.0	10.0	10
35	1.3	7.5	15
40	1.7	6.0	20
45	2.0	5.0	25
50	2.5	4.0	30

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”

La figura 74 muestra la sección típica de los resaltos circulares y trapezoidal, para este ultimo la longitud de la sección plana es de 3 metros.

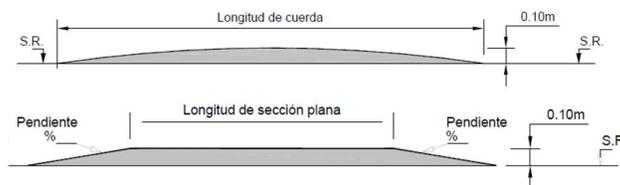


Figura 74 Sección típica de resalto circular y trapezoidal

Fuente: Directiva N.º 01 – 2011 – MTC/14 “Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)”

### 2.2.25 Plan General de Usos del Suelo

El Plan General de Usos del Suelo, sirve para clasificar en forma general y preliminar los usos básicos del suelo, tomando como base las condiciones de seguridad física del entorno geográfico y las ventajas potenciales y comparativas que ofrece su localización para el desarrollo de actividades urbanas. De manera general el suelo se puede clasificar en: Suelo urbano, Suelo Urbanizable y no Urbanizable. Esta clasificación preliminar del suelo define y distribuye los usos del territorio teniendo en consideración sus características geofísicas y los escenarios de riesgo probable, garantizando el crecimiento urbano sobre áreas seguras y el máximo aprovechamiento de los suelos aptos para fines urbanos. (Ministerio de Vivienda, 2009, pág. 58)

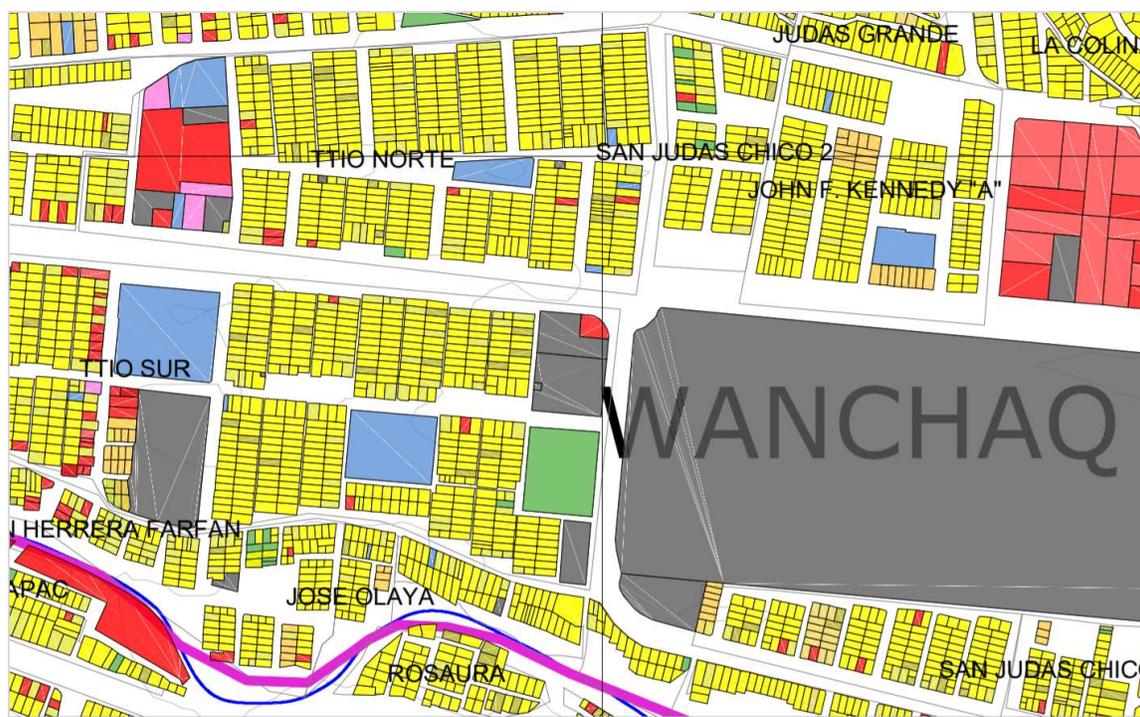


Figura 75 Uso de suelo – Zona de estudio

Fuente: Plan de Desarrollo urbano de la provincia de cusco 2013-2023

## 2.3 Hipótesis

### 2.3.1 Hipótesis general

Rediseñando la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores", aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad, mejorará el comportamiento funcional de la intersección.



### **2.3.2 Sub- hipótesis**

#### **Sub – hipótesis #1**

Con las propuestas rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" los flujos vehiculares tendrán un mejor funcionamiento vial en la intersección.

#### **Sub – hipótesis #2**

Con las propuestas rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" la capacidad vial de la infraestructura se optimizará.

#### **Sub – hipótesis #3**

Con las propuestas rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" el ingreso, circulación y salida del vehículo de diseño será el adecuado.

#### **Sub – hipótesis #4**

Con las propuestas rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores" las longitudes de colas disminuirán.

#### **Sub – hipótesis #5**

Con las propuestas rediseño geométrico la intersección a nivel denominada "Óvalo de los Libertadores" los niveles de servicios mejoran.

## **2.4 Definición de variables**

### **2.4.1 Variables independientes**

#### **Diseño geométrico**

Es la composición y dimensión de los elementos que forman parte de la infraestructura vial, estas características geométricas deben permitir un tránsito fluido y seguro para los usuarios.

#### **Indicadores**

- Radio de circunferencia inscrita
- Radio de la isla central
- Ancho de calzada circulatoria
- Alineación de aproximaciones
- Angulo entre aproximación



- Número de carriles
- Ancho de carriles
- Radio de entrada
- Radio de salida
- Pendiente
- Distancia de visibilidad
- Longitud de aproximación

#### 2.4.2 Variables dependientes

##### Flujo vehicular

Es la frecuencia a la cual pasan los vehículos o personas durante un tiempo específico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente.

##### Indicadores

- Tasa de Flujo
- Demanda Vehicular
- Velocidad escalar

##### Capacidad vial

Se define como el número máximo de vehículos que pueden ingresar por aproximación en un periodo determinado bajo condiciones prevalecientes de la infraestructura vial.

##### Indicadores

- Flujo circulante
- Semiancho de carril
- Longitud de ensanche efectivo
- Diámetro del círculo inscrito
- Ancho de entrada
- Angulo de entrada
- Radio de entrada

##### Vehículo de diseño

Tipo de vehículo cuyas dimensiones y características de operación se usan para establecer parámetros de diseño geométrico.

##### Indicadores

- Velocidad del Vehículo diseño
- Longitud total



- Ancho total
- Radio de giro

### **Longitud de Cola**

La longitud de cola es aquel parámetro que permite estimar una proyección de vehículos a lo largo de la aproximación desde antes de ingresar a la intersección.

### **Indicadores**

- Grado de saturación por aproximación
- Capacidad de aproximación
- Longitud de cola inicial

### **Nivel de servicio**

Es una medida cualitativa que se define en terminos de demora de control, afectando la velocidad, y el aumento del tiempo de viaje.

### **Indicadores**

Tiempo de Demora



### 2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 15 Cuadro de operacionalización de variables

Tipo de Variable	Variable	Dimension	DESCRIPCION DE VARIABLE	Indicadores	Unidades	Escala	Instrumentos	
INDEPENDIENTE	Diseño geometrico	Situacion actual	Es la composición y dimensión de los elementos que forman parte de la infraestructura vial, estas características geométricas deben permitir un tránsito fluido y seguro para los usuarios	Radio de circunferencia inscrita	Metros	Razon y Continua	Levantamiento Topografico Planos Catastrales Juntions 9 AutoCad Civil 3D	
				Radio de la isla central	Metros	Razon y Continua		
				Ancho de calzada circulatoria	Metros	Razon y Continua		
				Alineacion de aproximaciones	Grados	Razon y Continua		
				Angulo entre aproximacion	Grados	Razon y Continua		
		Propuestas de rediseño		Numero de carriles	Numero de Carriles	Razon y Discreta		
				Ancho de carriles	Metros	Razon y Continua		
				Radio de entrada	Metros	Razon y Continua		
				Radio de salida	Metros	Razon y Continua		
				Pendiente	Porcentaje (%)	Razon y Continua		
DEPENDIENTE	Flujo Vehicular	Situacion actual y propuestas de rediseño	Es la frecuencia a la cual pasan los vehiculos o personas durante un determinado tiempo especifico menor a una hora, expresada como una tasa horaria equivalente	Tasa de Flujo	Veh/h	Razon y Discreta	Fichas de Aforo Vehicular Camara Filmadora	
				Demanda Vehicular	Veh	Razon y Discreta		
				Velocidad escalar	Km/hr	Razon y Continua		
	Capacidad Vial	Situacion actual y propuestas de rediseño		Se define como el numero maximo de vehiculos que pueden ingresar por aproximacion en un periodo determinado bajo condiciones prevalecientes de la infraestructura	Flujo circulante	Veh/hr	Razon y Discreta	Metodo TRL Juntions 9
					Semiancho de carril	Metros	Razon y Continua	
					Longitud de ensanche efectivo	Metros	Razon y Continua	
					Diametro del circulo inscrito	Metros	Razon y Continua	
					Ancho de entrada	Metros	Razon y Continua	
					Angulo de entrada	Grados	Razon y Continua	
					Radio de entrada	Metros	Razon y Continua	
Vehículo de diseño	Situacion actual y propuestas de rediseño	Tipo de vehículo cuyas dimensiones y características de operación se usan para establecer parámetros de diseño geométrico	Velocidad del Vehículo diseño		Km/hr	Razon y Continua	Vehicle Tracking - Autodesk	
			Longitud total		Metros	Razon y Continua		
			Ancho total		Metros	Razon y Continua		
			Radio de giro	Metros	Razon y Continua			
Longitud de Cola	Situacion actual y propuestas de rediseño		Es aquel parámetro que permite estimar una proyección de vehículos a lo largo de la aproximación desde antes de ingresar a la intersección	Grado de saturacion por aproximacion	Adimensional	Razon y Continua	Fichas de longitud de colas Juntions 9 - ARCADY	
				Capacidad de aproximacion	Veh/hr	Razon y Continua		
				Longitud de cola inicial	metros	Razon y Continua		
Nivel de Servicio	Situacion actual y propuestas de rediseño			Es una medida cualitativa que se define en terminos de demora de control, incomodidad del conductor, y el aumento del tiempo de viaje	Tiempo de demora en la aproximacion e interseccion	Segundos	Razon y Continua	Juntions 9 - ARCADY

Fuente: Propia



### **3 Capítulo III: Metodología**

#### **3.1 Metodología**

##### **3.1.1 Enfoque de la metodología**

Es cuantitativa porque nos permite evaluar las características a través de la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica y el análisis estadístico, para establecer patrones de comportamiento y probar teorías (Sampieri, 2010)

##### **3.1.2 Nivel de la investigación**

La investigación tiene un nivel descriptivo debido a que se realiza una descripción de los parámetros geométricos, funcionamiento operacional de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” en la situación actual y en las propuestas de rediseño geométrico.

##### **3.1.3 Método de la investigación**

La investigación comprende el método hipotético deductivo, debido a que se observó el problema de la situación, planteándose las hipótesis a partir de los rediseños geométricos, que se podrán o no demostrar luego del análisis.

#### **3.2 Diseño de investigación**

##### **3.2.1 Diseño metodológico**

La investigación tiene un diseño cuasi experimental, debido a que se manipulara con intención a la variable independiente que es el diseño geométrico de la situación actual de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” para analizar los resultados, esta manipulación se realiza en las propuestas de rediseño evaluadas mediante Junctions 9 sin afectar la realidad.



### 3.2.2 Diseño de ingeniería

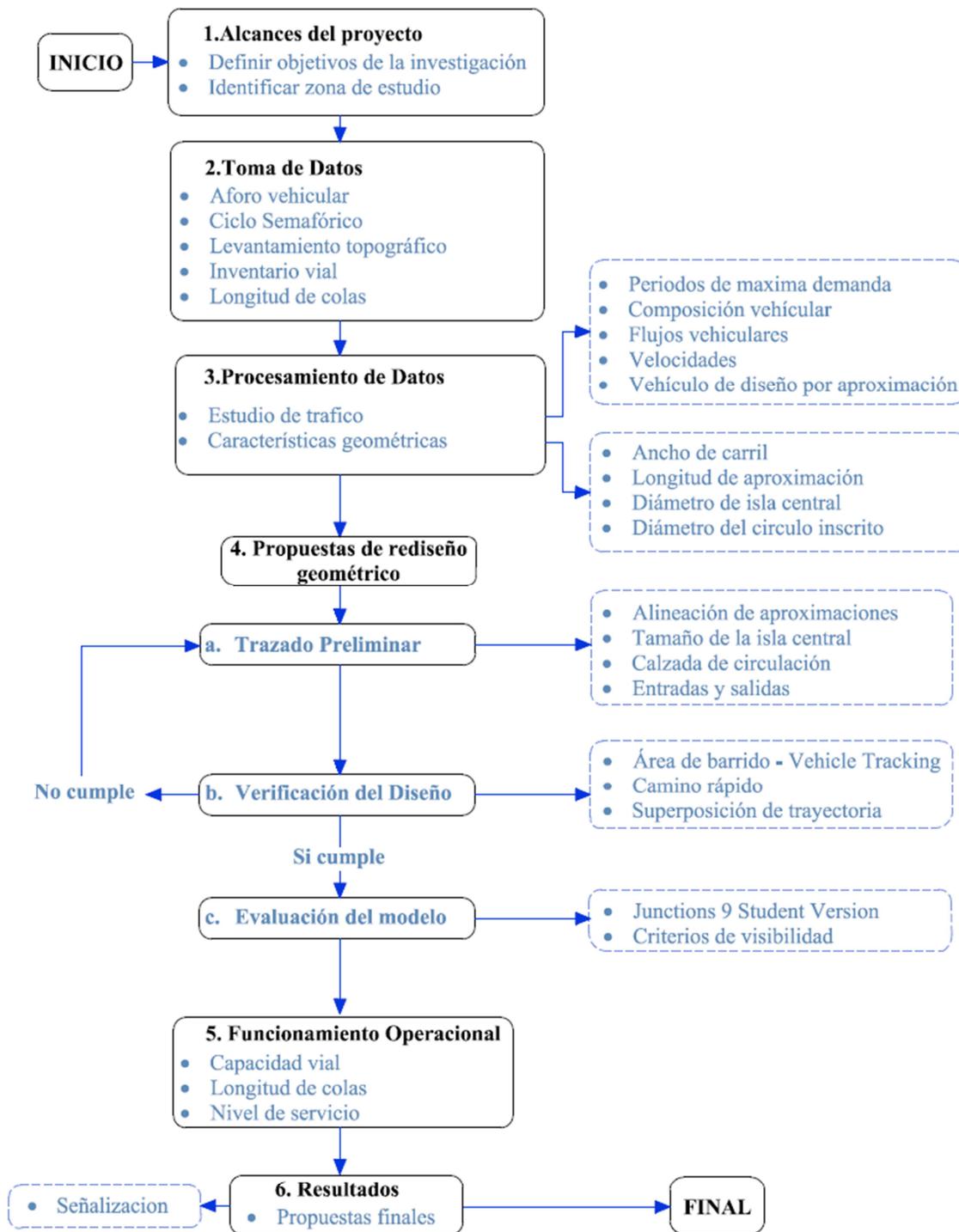


Figura 76 Diseño de ingeniería

Fuente: Propia



### 3.3 Universo y muestra

#### 3.3.1 Universo

##### 3.3.1.1 Descripción del universo

“La población es la totalidad del fenómeno a estudiar, donde las unidades de población poseen una característica en común, la que se estudia y da origen a los datos de la investigación” (Tamayo, 2003).

Esta investigación contempla un universo conformado por el diseño geométrico de la zona determinada por un radio aproximado de 350 metros con referencia al centro de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y las aproximaciones: Av. 28 de Julio, Vía Expresa, Av. Velasco Astete y Av. Qosqo, cuyas características geométricas se obtuvieron mediante un levantamiento topográfico a detalle; se consideran también los dispositivos de control como señales de tránsito y semaforización, además de los vehículos que hacen uso de la intersección a nivel.

##### 3.3.1.2 Cuantificación del universo

El lugar donde se realizó la investigación es un universo conformado por las características de diseño geométrico y componentes de la infraestructura vial de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y sus aproximaciones.

La cuantificación del universo en las aproximaciones se detalla a continuación:

- En la Av. 28 de Julio hasta una longitud aproximada de 350 metros hasta la altura del paradero “4to paradero de Ttio”.
- En la Av. Velasco Astete hasta una longitud aproximada de 400 metros hasta el principio de la curva de esta avenida.
- En la Av. Qosqo a lo largo de la avenida hasta la intersección con la Av. Perú y la Av. Túpac Amaru.
- En la Vía Expresa hasta una longitud aproximada de 350 metros hasta la intersección con la Prolongación Diagonal Angamos.



### 3.3.2 Muestra

#### 3.3.2.1 Descripción de la muestra

La muestra en este trabajo de investigación es de tipo censal debido a que se seleccionó el 100% de la población o universo que se describió anteriormente. En este sentido la población a estudiar se precisa como censal por ser simultáneamente universo, población y muestra.

#### 3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

El universo donde se realizó la investigación está conformado por las características de diseño geométrico y componentes de la infraestructura vial de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y sus aproximaciones.

Los movimientos vehiculares con sus códigos que circulan por la intersección a nivel:

- Movimiento Vía Expresa – Av. Velasco Astete (VEX1)
- Movimiento Vía Expresa – Av. 28 de Julio (VEX2)
- Movimiento Vía Expresa – Av. Qosqo (VEX3)
- Movimiento Vía Expresa – Vía Expresa (VEX4)
- Movimiento Av. Qosqo – Vía Expresa (QQ1)
- Movimiento Av. Qosqo – Av. Velasco Astete (QQ2)
- Movimiento Av. Qosqo – Av. 28 de Julio (QQ3)
- Movimiento Av. Qosqo – Av. Qosqo (QQ4)
- Movimiento Av. Velasco Astete – Av. 28 de Julio (VA1)
- Movimiento Av. Velasco Astete – Av. Qosqo (VA2)
- Movimiento Av. Velasco Astete – Vía Expresa (VA3)
- Movimiento Av. Velasco Astete – Av. Velasco Astete (VA4)
- Movimiento Av. 28 de Julio – Av. Qosqo (28J1)
- Movimiento Av. 28 de Julio – Vía Expresa (28J2)
- Movimiento Av. 28 de Julio – Av. Velasco Astete (28J3)
- Movimiento Av. 28 de Julio – Av. 28 de Julio (28J4)

Por otra parte, se considera los vehículos que circulan en la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores” los cuales se detallan en el marco teórico del presente trabajo.

- Autos (autos, station wagon)
- Camionetas (SUV, pick up)



- Van (combi, van)
- Camiones de 2 - 4 ejes
- Buses de 2,3 o más ejes
- Semitrailer (2S1/2S2, 2S3, 3S1/3S2,  $\geq$ 3S3)
- Trailer (2T2, 2T3, 3T2,  $\geq$ 3T3)

Se considera los dispositivos de control en la zona de estudio, tales como:

- Señales reguladoras
- Señales informativas
- Señales preventivas
- Semaforización

### **3.3.2.3 Método de muestreo**

### **3.3.2.4 Criterios de evaluación de muestra**

Para la evaluación del universo donde se realizó la investigación, se considera las características de diseño geométrico, componentes de la infraestructura vial y funcionalidad operacional de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y sus aproximaciones.

- Criterios de diseño geométrico óptimo
- Flujos vehiculares
- Capacidad vial
- Vehículo de diseño
- Longitud de colas
- Nivel de servicio
- Dispositivos de control

### **3.3.3 Criterios de inclusión**

Debido a que el universo es muestra el criterio de inclusión es integral, además, en esta investigación se incluirá cinco propuestas de rediseño geométrico en planta de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” evaluadas frente a los volúmenes actuales y a una proyección de 25 años, por otra parte, las propuestas incluyen el uso de suelos de la ciudad del Cusco, en caso se requieran mayores áreas para los nuevos diseños geométricos de la intersección.

- Propuesta N.º 1 Rotonda convencional de 3 carriles





- Ficha de flujos vehiculares

Tabla 17 Ficha de aforo vehicular - flujos vehiculares

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil									
Ficha de aforo vehicular - Flujos Vehiculares									
Tesis		Propuestas de rediseño de la intersección a nivel denominado "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad							
Tesisistas		Josue M. Ccapatinta Melendez				Jestyn A. Quispe Cahua			
Aproximacion						Fecha			
Hora	ciclos	Movimientos				Tipo de Vehiculos			
		1	2	3	4	Camion		Semi Trayler	Trayler
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								
	1								
	2								
	3								
	4								
	5								
	6								
	7								
	8								
	9								

Fuente: Propia

- Ficha de características geométricas

Tabla 18 Ficha de características geométricas

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geometricas			
Tesis		Propuestas de rediseño de la intersección a nivel denominado "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el	
Tesisistas		Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua
Aproximacion		Fecha	
Caracteristicas		Unidad	Medida
Sentido de circulacion		-	
Ancho de calzada		m	
Ancho de carril		m	
Numero de carriles		und	
Pendiente		%	
Ancho de vereda		m	
Ancho de separador		m	

Fuente: Propia



- Ficha de velocidades (aproximación, ingreso y circulación)

Tabla 19 Ficha de velocidad de aproximación

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil							
Ficha de velocidad de aproximación							
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez			Jestyn Quispe Cahua			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad						
Aproximación	Fecha						
Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)

Fuente: Propia

Tabla 20 Ficha de velocidad de ingreso

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil							
Ficha de velocidad de ingreso							
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez			Jestyn Quispe Cahua			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad						
Aproximación	Fecha						
Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)

Fuente: Propia

Tabla 21 Ficha de velocidad de circulación

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil							
Ficha de velocidad de circulación							
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez			Jestyn Quispe Cahua			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad						
Aproximación	Fecha						
Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)	Distancia	Tiempo (seg)

Fuente: Propia



- Ficha de longitud de colas

Tabla 22 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. Qosqo

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil								
Ficha de longitud de colas								
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez		Jestyn Quispe Cahua					
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad							
Aproximación	Av. Qosqo							
		Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	
		3:30 - 3:45	1		4:00 - 4:15	1		
			2			2		
			3			3		
				4		4		
				5		5		
				6		6		
				7		7		
				8		8		
				9		9		
		Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	
		3:45 - 4:00	1		4:15 - 4:30	1		
			2			2		
			3			3		
				4		4		
				5		5		
				6		6		
				7		7		
				8		8		
				9		9		

Fuente: Propia

Tabla 23 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. 28 de Julio

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil								
Ficha de longitud de colas								
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez		Jestyn Quispe Cahua					
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad							
Aproximación	Av. 28 de Julio							
		Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	
		3:30 - 3:45	1		4:00 - 4:15	1		
			2			2		
			3			3		
				4		4		
				5		5		
				6		6		
				7		7		
				8		8		
				9		9		
		Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	
		3:45 - 4:00	1		4:15 - 4:30	1		
			2			2		
			3			3		
				4		4		
				5		5		
				6		6		
				7		7		
				8		8		
				9		9		

Fuente: Propia



Tabla 24 Ficha de longitud de colas – Aproximación Av. Velasco Astete

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil								
Ficha de longitud de colas								
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez		Jestyn Quispe Cahua					
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad							
Aproximación	Av. Velasco Astete							
	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)		
	3:30 - 3:45	1			4:00 - 4:15	1		
		2				2		
		3				3		
		4				4		
		5				5		
		6				6		
		7				7		
		8				8		
		9				9		
	3:45 - 4:00	1			4:15 - 4:30	1		
		2				2		
		3				3		
		4				4		
		5				5		
		6				6		
		7				7		
		8				8		
9				9				

Fuente: Propia

Tabla 25 Ficha de longitud de colas – Aproximación Vía Expresa

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil								
Ficha de longitud de colas								
Tesistas	Josue Ccapatinta Melendez		Jestyn Quispe Cahua					
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad							
Aproximación	Av. Vía Expresa							
	Periodo	Ciclo	Longitud (m)	Periodo	Ciclo	Longitud (m)		
	3:30 - 3:45	1			4:00 - 4:15	1		
		2				2		
		3				3		
		4				4		
		5				5		
		6				6		
		7				7		
		8				8		
		9				9		
	3:45 - 4:00	1			4:15 - 4:30	1		
		2				2		
		3				3		
		4				4		
		5				5		
		6				6		
		7				7		
		8				8		
9				9				

Fuente: Propia

- Ficha de ciclo semafórico

Tabla 26 Ficha de ciclo semafórico

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil				
Ficha de Ciclo Semafórico				
Tesis	Propuestas de rediseño de la intersección a nivel denominado "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad			
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion			Fecha	
Ciclo Semafórico	Fase	Unidad	Tiempo	
	Verde	Seg.		
	Ambar	Seg.		
	Rojo	Seg.		

Fuente: Propia

- Ficha de inventario vial

Tabla 27 Ficha de inventario vial

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil									
Ficha de Inventario Vial									
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad								
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez			Jestyn A. Quispe Cahua					
Aproximacion				Fecha					
				Ubicación	Fotografía	lado	Elemento	Tipo	Estado

Fuente: Propia

### 3.4.2 Instrumentos de ingeniería

Para desarrollar esta investigación se emplearon los siguientes instrumentos de ingeniería.

- Estación total: Es un instrumento electro óptico que permite utilizado en topografía que permite el cálculo de coordenadas, replanteo de puntos de manera sencilla y eficaz y el cálculo de azimuts y distancias. Se empleo para el levamiento de las características geométricas de la intersección y sus aproximaciones.



Figura 77 Estación total

Fuente: Google imágenes

- Nivel de ingeniero: Es un instrumento topográfico que tiene como finalidad la medición de desniveles entre puntos que se encuentran a distancias y alturas diferentes. El nivel se empleó para determinar la pendiente en las calzadas de las aproximaciones.



Figura 78 Nivel de ingeniero

Fuente: Google imágenes

- Cámara fotográfica DSLR: Este instrumento utilizo para realizar fotografías de los momentos más representativos durante la investigación.



Figura 79 Cámara DSLR

Fuente: Google imágenes

- Cámara filmadora: Este instrumento se empleó para registrar el funcionamiento de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”, generando una base de datos de los aforos vehiculares.



Figura 80 Cámara filmadora

Fuente: Google imágenes

- Cronometro: Instrumento que permite la medición de los tiempos semafóricos en sus distintas fases, además de permitir la medición del tiempo de recorrido de los vehículos en la intersección.



Figura 81 Cronometro

Fuente: Google imágenes

- Cinta métrica: Elemento que se empleó para la medición de características geométricas en las aproximaciones para obtener secciones transversales.



Figura 82 Cinta métrica

Fuente: Google imágenes

- Laptop: Instrumento elemental para el procesamiento de todos los datos, así como la elaboración de la investigación.



Figura 83 Laptop

Fuente: Google imágenes

- AutoCAD Civil 3D: Software de ingeniería para procesar datos obtenidos por la estación total en gabinete, obteniendo la infraestructura vial completa de la intersección.



Figura 84 AutoCAD Civil 3D

Fuente: Google imágenes

- Microsoft Excel: Instrumento empleado para el cálculo de operaciones durante el trabajo de investigación.



Figura 85 Microsoft Excel

Fuente: Google imágenes

- Junctions 9 Student Version: Software especializado en la evaluación de características geométricas de rotondas, así como el funcionamiento operacional.



Figura 86 Junctions 9 Student Version

Fuente: Propia

- Vehicle Tracking: Instrumento que permite generar áreas de barrido de vehículos, importante para el diseño y validación de intersección y vías.



Figura 87 Ficha de inventario vial

Fuente: Google imágenes

### 3.5 Procedimiento de recolección de datos

#### 3.5.1 Recolección de datos de la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores”

##### 3.5.1.1 Equipo empleado

- Cámara fotográfica DSLR
- Cámara filmadora
- Fichas de aforo vehicular
- Aforador

##### 3.5.1.2 Procedimiento

###### 3.5.1.2.1 Codificación de movimiento vehiculares

La codificación de los movimientos vehiculares se realizó por aproximación y los cuatro movimientos que se realizan por estas, en la Av. 28 de Julio de codificación 28J, la Av. Velasco Astete de codificación VA, la Av. Qosqo de código QQ y la Vía Expresa de código VEX. De manera general los movimientos se codifican de la siguiente manera: el giro a la izquierda con el número 1, giro de frente con el número 2, el giro a la derecha con el número 3 y el giro en U

con el número 4, para representar un giro primero va el código de la aproximación seguido del número del movimiento correspondiente, en la siguiente figura 88 se muestra un ejemplo de codificación de movimiento vehiculares en la Av. 28 de Julio.

			
28J1	28J2	28J3	28J4

Figura 88 Codificación de movimientos vehiculares

Fuente: Propia

### 3.5.1.2.2 Identificación de puntos de aforo

En la investigación se establecieron tres puntos para realizar el aforo, estos puntos son estratégicos puesto que permiten realizar un aforo a detalle de los giros típicos y atípicos de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”. El primer punto de aforo fue en el 8vo piso del Hotel Mirador, el segundo punto fue en la parte más elevada del Parque Pukllaycancha y el tercer punto fue en la intersección de la Av. Qosqo con la Av. Libertad como se observa en la figura 89, en estos dos últimos puntos de aforo se realizó el conteo de los flujos vehiculares en el periodo de máxima demanda.

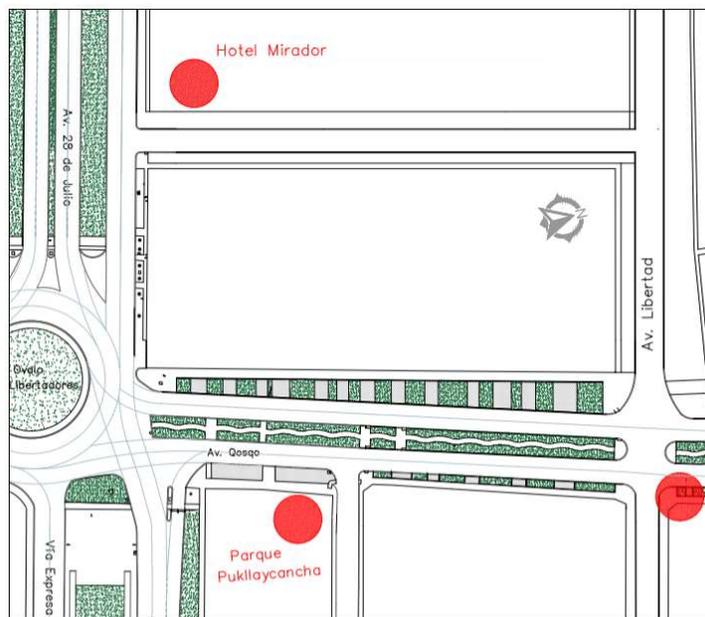


Figura 89 Puntos de aforo vehicular

Fuente: Propia



Figura 90 Vista desde el punto uno de aforo vehicular

Fuente: Propia



Figura 91 Vista desde el punto dos de aforo vehicular

Fuente: Propia



Figura 92 Vista desde el punto tres de aforo vehicular

Fuente: Propia

### 3.5.1.2.3 Registro filmico

Se realizo un aforo vehicular durante cinco días de la semana: jueves 04, viernes 05, sábado 06, 08 lunes y 09 martes durante el mes de julio del 2019, de las avenidas 28 de Julio y Velasco Astete debido a que son las aproximaciones con mayor volumen vehicular, esto con la finalidad de estudiar el comportamiento vehicular a detalle de la intersección a nivel, para poder conocer los días típicos, atípicos y así determinar el día más representativo.

El registro filmico se realizó en tres periodos horarios: de 7:30 am – 10:00 am., 11:00 am – 2:00 pm, 3:00 pm – 8:30 pm. Además, se debe mencionar que los aforos manuales se realizaron en los días ya mencionamos desde las 7:00 am hasta las 10:00 pm de manera continua.

### 3.5.1.2.4 Recolección de volúmenes vehiculares

Se realiza mediante la técnica que consiste en el registro de cantidad de vehículos que circulan en una determinada intersección, esta técnica nos permite conocer la clasificación vehicular, puntos de conflicto, flujos vehiculares, volumen vehicular. El conteo se realiza en todas las aproximaciones de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” y se clasifica de acuerdo a los vehículos que circulan.

El aforo se realizó considerando el volumen vehicular que ingresan a la intersección a nivel por las avenidas 28 de Julio y Velasco Astete debido a que son las aproximaciones con mayor demanda vehicular. Para determinar el día y la hora de máxima demanda vehicular se realizó un aforo en periodo de cinco días: jueves 04, viernes 05, sábado 06, 08 lunes y 09 martes durante



el mes de julio del 2019, desde las 7:00 am hasta las 10:00 pm. Además, se consideraron periodos de 15 minutos para tener más detalle al determinar el factor horario de máxima demanda (FHMD).

#### **3.5.1.2.5 Recolección de características geométricas de la intersección a nivel**

Además, se considera los vehículos que circulan en la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores” los cuales se detallan en el marco teórico del presente trabajo.

Para determinar las características exactas de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” se realizó un levantamiento topográfico con estación total y nivel de ingeniero considerando las siguientes características geométricas.

- Ancho de calzada circulatoria
- Diámetro de circunferencia inscrita
- Diámetro de isla central
- Número de carriles
- Ancho de carriles
- Longitud de aproximaciones
- Pendiente de aproximación (%)
- Áreas de uso peatonal
- Áreas verdes

#### **3.5.1.2.6 Recolección de características semafóricas**

La recolección de los datos semafóricos se realizó mediante un inventario vial considerando que cada aproximación cuenta con control semafórico, además se realizó la medición de los tiempos de la fase verde, fase ámbar y fase roja de un ciclo del semáforo.

#### **3.5.1.3 Datos**

Como resultado del aforo de los cinco días ya mencionados mediante la tabla 16, se obtuvieron las siguientes tablas resúmenes por hora desde las 7:00 am hasta las 10:00 pm desde la tabla 28 hasta la tabla 37; en estas tablas se aprecia la cantidad de vehículos que circulan de acuerdo a la clasificación vehicular de la tabla 2 ubicada en el marco teórico, también se puede apreciar el porcentaje de vehículos livianos y pesados, así como el total de vehículos que hicieron uso de la intersección.



Tabla 28 Aforo vehicular jueves – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																				
Ficha de aforo vehicular																				
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																			
Tesistas	Josue M. Ccpatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua												
Aproximacion	Av. Velasco Astete							Fecha	04/07/2019											
Hora	Tipo de Vehiculos																			
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler				Trayler						
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3			
7:00-8:00	1109	82	108	57	3	8	25	6					1							
8:00-9:00	1222	90	85	49	11	5	17	6				1	2							
9:00-10:00	1199	72	71	39	8	3	22	1					3			1				
10:00-11:00	1132	119	73	53	1		25	3				1	4							
11:00-12:00	1086	77	76	42	15	2	31	11					4				2			
12:00-13:00	987	90	68	51	8	1	29	9					3							
13:00-14:00	1019	121	69	38	4		31	1	2				3	1						
14:00-15:00	966	85	92	43	8	1	39	6				1	1			1				
15:00-16:00	1007	83	88	48	10	1	35	3					4							
16:00-17:00	1116	114	99	41	5	3	31	7	1				2			1	1			
17:00-18:00	1137	85	94	39	10		29	5	1				1			1				
18:00-19:00	1150	59	85	38	7	3	30	8	1			1	4							
19:00-20:00	1039	81	73	48	8	9	28	3					1				1			
20:00-21:00	888	54	32	39		7	10	4												
21:00-22:00	781	26	11	21	4	6	3	1				1	5							
Parcial	15838	1238	1124	646	102	49	385	74	5	0	0	5	38	1	0	4	4			
Subtotal					18846												667			
%					96.6%												3.4%			
Vehiculos livianos					Vehiculos pesados												Total	19513		

Fuente: Propia



Tabla 29 Aforo vehicular viernes – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Av. Velasco Astete						Fecha	05/07/2019										
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
7:00-8:00	1205	94	79	51	8	12	45	4										
8:00-9:00	1298	109	87	56	17	7	51	9										
9:00-10:00	1162	149	93	45	4	2	53	1					3					
10:00-11:00	1169	102	100	54	5	2	55	11					5					
11:00-12:00	944	162	114	45	15	1	39	7				1						
12:00-13:00	1065	81	103	59	14	2	47	9				5	2					
13:00-14:00	1042	107	98	37	4	1	41	7	1			1	4					
14:00-15:00	1039	76	77	41	7	0	49	9					4					
15:00-16:00	1255	161	127	42	0	2	42	8					5					
16:00-17:00	1276	133	123	43	6	3	65	6										
17:00-18:00	1311	108	57	28	5	9	70	7	2				7			1		
18:00-19:00	1051	104	72	38	9	8	30	4	1				2					
19:00-20:00	1250	136	65	48	2	5	24	6					1					
20:00-21:00	918	70	70	40	11	6	31	1					4			1		
21:00-22:00	866	46	52	20	3	5	15	3				2	1					
Parcial	16851	1638	1317	647	110	65	657	92	4	0	0	9	38	0	0	1	1	
Subtotal					20453												977	
%					95.4%												4.6%	
Vehiculos livianos												Vehiculos pesados				Total	21430	

Fuente: Propia



Tabla 30 Aforo vehicular sábado – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																	
Ficha de aforo vehicular																	
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. Velasco Astete						Fecha	06/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler				
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
7:00-8:00	1137	81	62	45	4	20	35	9								3	
8:00-9:00	1285	77	52	37	5	7	31	17								3	
9:00-10:00	1238	142	83	44	5	3	45	8								0	
10:00-11:00	1229	90	58	40	8		32	22				2	3			1	
11:00-12:00	1107	132	102	42	4	1	41	8				1	3				
12:00-13:00	1163	114	59	42	3	3	23	10				1	0				
13:00-14:00	1133	121	91	40	4		30	11								5	
14:00-15:00	1181	80	70	42	3	2	32	15								4	
15:00-16:00	1050	101	60	47	4	5	34	15								6	
16:00-17:00	1209	122	97	50	6	4	36	7				1	4			1	
17:00-18:00	1145	120	81	39	15	10	47	6	1							1	
18:00-19:00	1217	135	52	29	5	3	23	4								1	
19:00-20:00	1059	116	81	63	18	6	39	10								3	
20:00-21:00	886	71	31	22	0	4	16	1				1					
21:00-22:00	742	46	42	13	3		8										
Parcial	16781	1548	1021	595	87	68	472	143	1	0	0	6	36	0	0	2	0
Subtotal	19945				815												
%	96.1%				3.9%												
Vehiculos livianos												Vehiculos pesados				Total	20760

Fuente: Propia



Tabla 31 Aforo vehicular lunes – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																	
Ficha de aforo vehicular																	
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. Velasco Astete						Fecha	08/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler				
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3
7:00-8:00	1084	135	108	61	3	9	28	6	1				3				
8:00-9:00	1178	80	72	37	11	3	15	11				1	2				
9:00-10:00	1164	71	62	39	8	4	29	10					2			1	
10:00-11:00	1048	119	67	43	1	1	25	14				1	3				
11:00-12:00	1007	77	71	38	15	4	34	12					7				
12:00-13:00	814	56	60	45	8	1	34	9					3				
13:00-14:00	925	121	63	38	4		36	5					3	1			
14:00-15:00	899	108	86	43	8	1	48	9					1				
15:00-16:00	970	68	79	48	10	6	25	5					2				
16:00-17:00	1003	114	75	41	5	3	30	10	1				2				
17:00-18:00	1089	85	88	51	10	3	32	7					1				
18:00-19:00	1035	59	79	38	7	3	28	6					3			2	
19:00-20:00	974	53	57	48	8	9	34	14					1				
20:00-21:00	856	54	32	32		5	11	5	2								
21:00-22:00	774	26	11	21	4	10	7					1	5				
Parcial	14820	1226	1010	623	102	62	416	123	4	0	0	3	38	1	0	1	2
Subtotal					17679		752										
%					95.9%		4.1%										
Vehiculos livianos												Vehiculos pesados				Total	18431

Fuente: Propia



Tabla 32 Aforo vehicular martes – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Av. Velasco Astete						Fecha	09/07/2019										
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
7:00-8:00	1186	99	112	52	3	10	19	5						3				
8:00-9:00	1193	101	85	32	10	7	25	4	1					2			1	
9:00-10:00	1068	81	100	42	8	4	31	4				1	2					
10:00-11:00	1090	86	77	47	2	1	30	3					1					
11:00-12:00	1062	69	74	33	15	4	29	5										
12:00-13:00	905	59	55	49	8	1	18	1				1	2					
13:00-14:00	937	66	75	50	4		38	3	1				1					
14:00-15:00	958	59	83	40	8	2	27	1					3				1	
15:00-16:00	1046	60	73	39	7		29	4				1						
16:00-17:00	1024	86	78	50	6	3	37	11					3					
17:00-18:00	1088	98	87	54	10	3	35	6				1	4				1	
18:00-19:00	1050	102	82	38	5		22	3				1						
19:00-20:00	1045	65	48	45	7	10	18	6					1				1	
20:00-21:00	945	49	28	33		7	11		1			1						
21:00-22:00	781	43	9	17	6	9	9	1										
Parcial	15378	1123	1066	621	99	61	378	57	3	0	0	6	22	0	0	0	4	
Subtotal					18188												630	
%					96.7%												3.3%	
Vehiculos livianos												Vehiculos pesados					Total	18818

Fuente: Propia



Tabla 33 Aforo vehicular jueves– Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. 28 de Julio							Fecha	04/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	> 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
7:00-8:00	1138	97	65	27	11	19	35	8				1	4					
8:00-9:00	1335	72	67	38	6	17	45	3				3	6		1	2		
9:00-10:00	1257	85	59	32	5	3	59	5	1			1	7			2		
10:00-11:00	1194	86	55	25	4	0	44	11				0	6					
11:00-12:00	1212	59	41	28	6	0	31	6				0	2					
12:00-13:00	1205	63	41	31	5	0	25	8				0	5			1		
13:00-14:00	1247	55	35	26	3	1	31	2	1			0	1			1		
14:00-15:00	1198	67	46	38	2	2	35	6	1			0	1			1		
15:00-16:00	1202	69	49	31	4	7	51	1				1	0		1			
16:00-17:00	1311	81	66	25	1	1	44	3				0	5					
17:00-18:00	1367	93	73	31	8	10	48	13	1			0	4			2		
18:00-19:00	1345	91	60	31	7	5	49	9				1	9			1		
19:00-20:00	1282	52	43	36	7	11	45	2				1	1					
20:00-21:00	1130	64	32	23	4	7	21	1	1									
21:00-22:00	962	51	29	18	3	5	25	3										
Parcial	18385	1085	761	440	76	88	588	81	5	0	0	8	51	0	0	2	10	
Subtotal					20671												909	
%					95.8%												4.2%	
Vehiculos livianos													Vehiculos pesados				Total	21580

Fuente: Propia



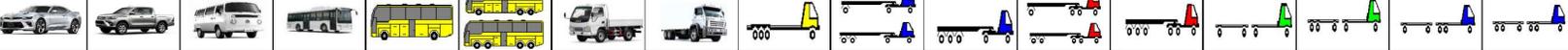
Tabla 34 Aforo vehicular viernes- Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. 28 de Julio							Fecha	05/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	> 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>3S3	2T2	2T3	3T2	>3T3	
7:00-8:00	1312	86	64	27	15	8	42	6		1			3					
8:00-9:00	1382	80	78	27	2	11	46	17				3	2					
9:00-10:00	1206	102	82	30	8	11	68	9	1				3					
10:00-11:00	1198	102	96	33	9	4	60	21		2			7			1		
11:00-12:00	1096	151	68	32	7	4	93	22					14					
12:00-13:00	1181	79	99	28	14	9	57	18					11					
13:00-14:00	1256	113	69	30		2	63	26					3			1		
14:00-15:00	1203	103	90	28	11	6	74	16					6	3				
15:00-16:00	1290	114	94	25	9	12	75	10	1				4					
16:00-17:00	1255	118	98	26	14	10	82	17					6					
17:00-18:00	1341	130	91	44	15	4	36	5					2					
18:00-19:00	1397	106	75	38	16	5	41	13					7		1			
19:00-20:00	1248	154	77	42	18	6	39	7					3					
20:00-21:00	1098	57	69	32	12	20	51	7	2				6					
21:00-22:00	1025	46	43	36	3	18	23	5				1	1	1				
Parcial	18488	1541	1193	478	153	130	850	199	4	3	0	4	78	4	1	0	2	
Subtotal					21700												1428	
%					93.8%												6.2%	
Vehiculos livianos											Vehiculos pesados					Total	23128	

Fuente: Propia



Tabla 35 Aforo vehicular sábado – Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. 28 de Julio							Fecha	06/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	> 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
																		
7:00-8:00	1169	41	54	21	8	25	41	9				1	5			2		
8:00-9:00	1357	34	55	26	3	10	33	17	1				10					
9:00-10:00	1298	136	67	33	7	4	72	13					6					
10:00-11:00	1307	83	47	29	7	1	34	18	1		1		1					
11:00-12:00	1297	142	70	26	8	1	82	17					6			1		
12:00-13:00	1299	71	53	26	1	8	44	18					8					
13:00-14:00	1343	142	91	29	10	6	67	18	1				11					
14:00-15:00	1209	94	70	26	12	9	68	17	1				10			2		
15:00-16:00	1091	87	53	32	11	10	34	14					9			1		
16:00-17:00	1251	139	77	32	11	8	60	2	2				7					
17:00-18:00	1328	69	73	27	4	11	29	13	1			4	8			1		
18:00-19:00	1341	123	48	24	7	5	37	6				1	3			1		
19:00-20:00	1238	54	47	26	12	9	41	11				1	5					
20:00-21:00	1036	103	58	41	5	18	28	5	1				2			1		
21:00-22:00	951	49	40	10	2	16	15	2					4					
Parcial	18515	1367	903	408	108	141	685	180	8	0	1	7	95	0	0	9	2	
Subtotal					21193												1236	
%					94.5%												5.5%	
Vehiculos livianos													Vehiculos pesados				Total	22429

Fuente: Propia



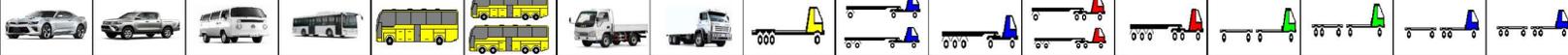
Tabla 36 Aforo vehicular lunes – Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. 28 de Julio							Fecha	08/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	> 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>3S3	2T2	2T3	3T2	>3T3	
7:00-8:00	951	72	79	22	6	14	41	14	1			4	6			2		
8:00-9:00	1357	72	75	29	9	9	19	13				1	10			1	2	
9:00-10:00	1149	70	59	25	9	9	42	14				1	9				1	
10:00-11:00	1074	84	60	26	7	4	57	10	1	1			4					
11:00-12:00	1077	66	49	25	5	5	28	12					6					
12:00-13:00	1120	49	51	33	3	7	35	16					8				1	
13:00-14:00	1011	96	60	23	7	6	73	13		1			5					
14:00-15:00	1070	150	57	36	2	7	31	8		1			5					
15:00-16:00	1101	69	70	27	3	6	31	12	2				8					
16:00-17:00	1068	129	67	24	3	3	63	14	2			1	4					
17:00-18:00	1204	102	51	32	9	9	68	18					8					
18:00-19:00	1210	49	65	39	4	3	22	22					7					
19:00-20:00	1171	56	39	35	5	6	26	8	2				4					
20:00-21:00	986	89	50	26	6	17	30	4	2				2					
21:00-22:00	911	31	23	26		8	5	2					6					
Parcial	16460	1184	855	428	78	113	571	180	10	3	0	7	92	0	0	3	4	
Subtotal					18927												1061	
%					94.7%												5.3%	
Vehiculos livianos													Vehiculos pesados				Total	19988

Fuente: Propia



Tabla 37 Aforo vehicular martes – Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua										
Aproximacion	Av. 28 de Julio							Fecha	09/07/2019									
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	> 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
																		
7:00-8:00	1070	83	64	27	11	18	41	7								12		
8:00-9:00	1251	70	64	37	8	14	32	11				2	4			1		
9:00-10:00	1146	82	83	36	8	2	49	12				0	9					
10:00-11:00	1064	96	69	26	9	2	38	9		1		5	0					
11:00-12:00	1129	60	31	25	2	1	30	5					3					
12:00-13:00	1097	58	37	33	5	0	39	2					2			1		
13:00-14:00	1163	48	48	33	7	0	36	5				1	3	1		2		
14:00-15:00	1105	61	57	36	5	3	38	3					2					
15:00-16:00	1182	59	38	37	4	2	47	3								1		
16:00-17:00	1177	84	75	29	2	2	51	12					1			1		
17:00-18:00	1158	115	76	27	5	9	69	22				3	5					
18:00-19:00	1128	108	69	33	8	2	50	8				1	7					
19:00-20:00	1096	65	64	35	3	8	42	3				1	5					
20:00-21:00	1094	62	55	26	2	6	16	1				0	2					
21:00-22:00	830	41	58	26	1	5	18	1										
Parcial	16690	1092	888	466	80	74	596	104	0	1	0	13	55	1	0	0	6	
Subtotal					19136												930	
%					95.4%												4.6%	
Vehiculos livianos													Vehiculos pesados				Total	20066

Fuente: Propia



A partir de la tabla 18 de la ficha de recolección de datos, se muestran las características geométricas de las cuatro aproximaciones de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” desde la tabla 38 hasta la tabla 48.

Tabla 38 Características geométricas Av. 28 de julio - 01

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Cعاتinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua
Aproximacion	Av. 28 de Julio		Fecha 30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Salida Principal	
Ancho de calzada	m	6.50	
Ancho de carril	m	3.25	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	1.30%	
Ancho de vereda	m	-	
Ancho de separador	m	1.77	

Fuente: Propia

Tabla 39 Características geométricas Av. 28 de julio - 02

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Cعاتinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua
Aproximacion	Av. 28 de Julio		Fecha 30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Ingreso Principal	
Ancho de calzada	m	6.50	
Ancho de carril	m	3.25	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	1.30%	
Ancho de vereda	m	-	
Ancho de separador	m	1.77	

Fuente: Propia



Tabla 40 Características geométricas Av. 28 de julio - 03

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesis	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. 28 de Julio	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Salida Auxiliar	
Ancho de calzada	m	7.50	
Ancho de carril	m	3.75	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	1.40%	
Ancho de vereda	m	3.20	
Ancho de separador	m	7.00	

Fuente: Propia

Tabla 41 Características geométricas Av. 28 de julio - 04

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesis	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. 28 de Julio	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Ingreso Auxiliar	
Ancho de calzada	m	7.60	
Ancho de carril	m	3.80	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	1.20%	
Ancho de vereda	m	1.80	
Ancho de separador	m	5.50	

Fuente: Propia

Tabla 42 Características geométricas Av. Velasco Astete - 01

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesis	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Velasco Astete	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Ingreso	
Ancho de calzada	m	8.00	
Ancho de carril	m	2.67	
Numero de carriles	und	3.00	
Pendiente	%	1.20%	
Ancho de vereda	m	1.80	
Ancho de separador	m	2.40	

Fuente: Propia



Tabla 43 Características geométricas Av. Velasco Astete - 02

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Velasco Astete	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Salida	
Ancho de calzada	m	8	
Ancho de carril	m	4	
Numero de carriles	und	2	
Pendiente	%	1.30%	
Ancho de vereda	m	8.5	
Ancho de separador	m	2.4	

Fuente: Propia

Tabla 44 Características geométricas Av. Qosqo - 01

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Qosqo	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Salida	
Ancho de calzada	m	6.00	
Ancho de carril	m	3.00	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	0.70%	
Ancho de vereda	m	2.50	
Ancho de separador	m	6.00	

Fuente: Propia

Tabla 45 Características geométricas Av. Qosqo - 02

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Qosqo	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Ingreso	
Ancho de calzada	m	6.00	
Ancho de carril	m	3.00	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	0.85%	
Ancho de vereda	m	2.00	
Ancho de separador	m	6.00	

Fuente: Propia



Tabla 46 Características geométricas Vía Expresa - 01

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Via Expresa	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Ingreso	
Ancho de calzada	m	8.00	
Ancho de carril	m	4.00	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	2.18%	
Ancho de vereda	m	1.50	
Ancho de separador	m	19.50	

Fuente: Propia

Tabla 47 Características geométricas Vía Expresa - 02

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Via Expresa	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Salida	
Ancho de calzada	m	8.00	
Ancho de carril	m	4.00	
Numero de carriles	und	2.00	
Pendiente	%	2.26%	
Ancho de vereda	m	2.10	
Ancho de separador	m	19.50	

Fuente: Propia

Tabla 48 Características geométricas "Ovalo Libertadores"

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil			
Ficha de características geométricas			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua	
Interseccion	Ovalo Libertadores	Fecha	30/06/2019
Características	Unidad	Medida	
Sentido de circulacion	-	Calzada de Circulacion	
Ancho de calzada	m	12.00 - 8.00	
Ancho de carril	m	4.00	
Numero de carriles	und	2 - 3	
Pendiente	%	1.56%	
Ancho de vereda	m	-	
Diametro de Isla central	m	31.00	

Fuente: Propia



Desde la tabla 49 hasta la tabla 51 se muestra la recolección de los tiempos semafóricos de las aproximaciones de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”.

Tabla 49 Ciclo semafórico Av. 28 de Julio

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil				
Ficha de Ciclo Semafórico				
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad			
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. 28 de Julio		Fecha	12/06/2019
Ciclo Semafórico	Fase	Unidad	Tiempo	
	Verde	Seg.	40	
	Ambar	Seg.	3	
	Rojo	Seg.	57	

Fuente: Propia

Tabla 50 Ciclo semafórico Av. Velasco Astete

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil				
Ficha de Ciclo Semafórico				
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad			
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Velasco Astete		Fecha	12/06/2019
Ciclo Semafórico	Fase	Unidad	Tiempo	
	Verde	Seg.	40	
	Ambar	Seg.	3	
	Rojo	Seg.	57	

Fuente: Propia

Tabla 51 Ciclo semafórico Av. Qosqo

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil				
Ficha de Ciclo Semafórico				
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad			
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximacion	Av. Qosqo		Fecha	12/06/2019
Ciclo Semafórico	Fase	Unidad	Tiempo	
	Verde	Seg.	25	
	Ambar	Seg.	3	
	Rojo	Seg.	72	

Fuente: Propia



Tabla 52 Ciclo semafórico Av. Qosqo

Universidad Andina del Cusco - Escuela profesional de Ingeniería Civil				
Ficha de Ciclo Semafórico				
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad			
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua	
Aproximación	Via Expresa		Fecha	12/06/2019
Ciclo Semafórico	Fase	Unidad	Tiempo	
	Verde	Seg.	40	
	Ambar	Seg.	3	
	Rojo	Seg.	57	

Fuente: Propia

### 3.6 Procedimiento de análisis de datos

#### 3.6.1 Variación horaria del volumen vehicular

Se puede apreciar que a primeras horas de la mañana 07:45 am – 09:00 am existe un crecimiento de los vehículos que hacen uso de la intersección, luego de este periodo va decreciendo hasta aproximadamente las 11:00 am, a partir de esta hora nuevamente se produce un incremento hasta aproximadamente la 01:30 pm, posterior a esta hora se presenta un decrecimiento hasta las 03:00 pm, a partir de esta hora se presenta un volumen alto y constante con variaciones de acuerdo al día hasta las casi las 8:00 pm, a partir de esta hora se presentan los volúmenes más bajos, sin embargo el flujo sigue siendo constante, de esta manera se genera un patrón del comportamiento vehicular en la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”.

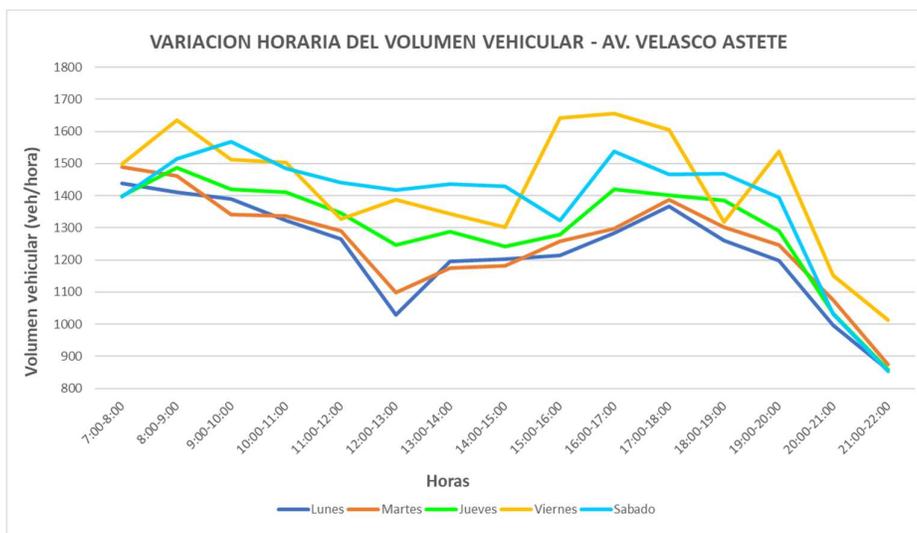


Figura 93 Variación horaria del volumen vehicular – Av. Velasco Astete

Fuente: Propia

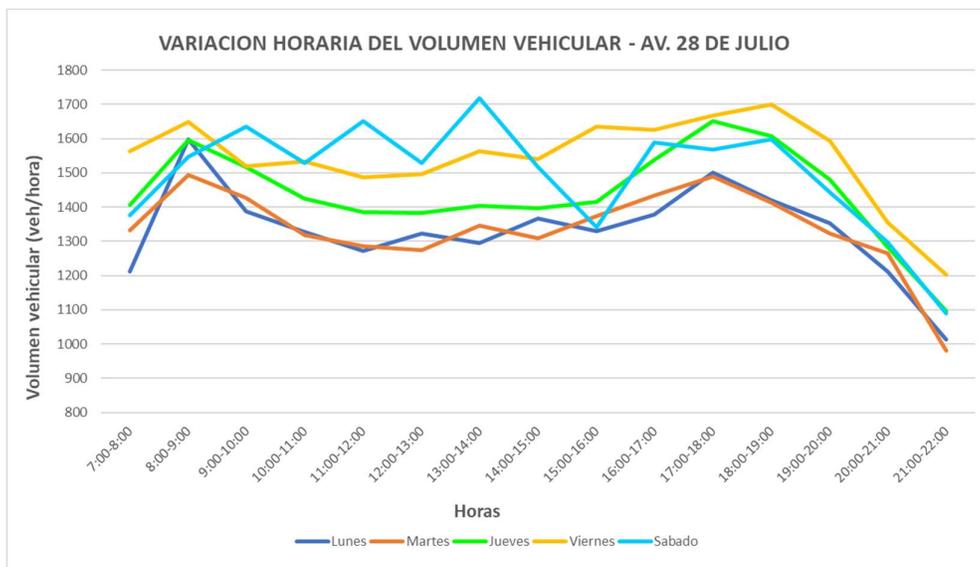


Figura 94 Variación horaria del volumen vehicular – Av. 28 de Julio

Fuente: Propia

De los datos obtenidos del aforo vehicular durante los cinco días en el periodo de 7:00 am a 10:00 pm, se aprecia una variación del comportamiento del volumen vehicular de los días aforados, dando como resultado que hay presencia de dos días atípicos que son el viernes y el sábado, siendo estos los días con mayor volumen vehicular.

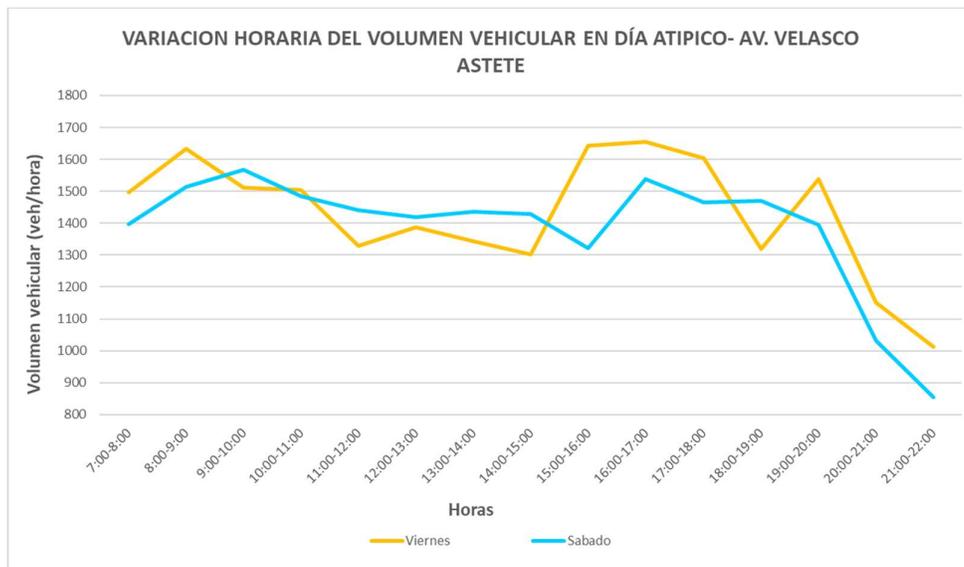


Figura 95 Variación horaria del volumen vehicular en día atípico– Av. Velasco Astete

Fuente: Propia

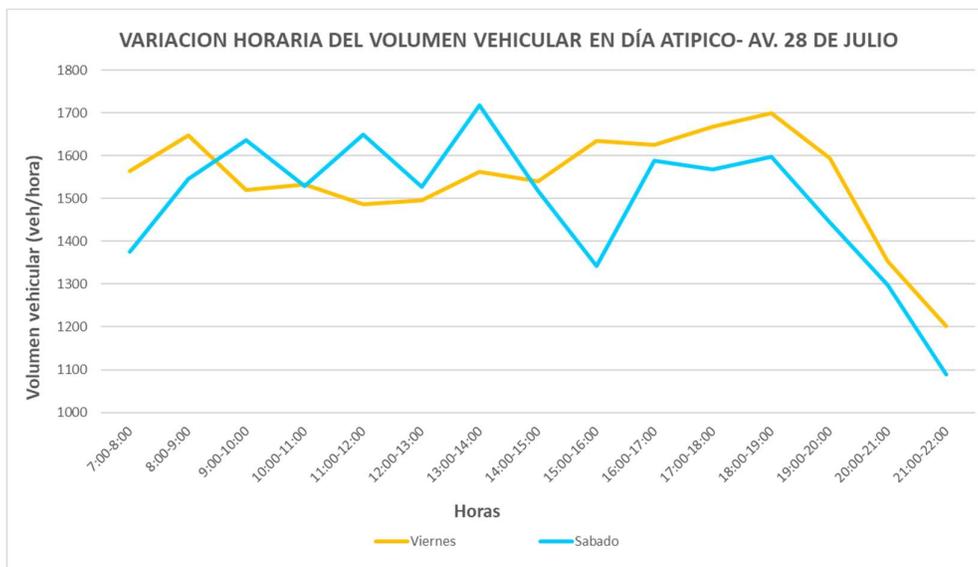


Figura 96 Variación horaria del volumen vehicular en día atípico – Av. 28 de Julio

Fuente: Propia

### 3.6.2 Día y hora de máxima demanda

Para determinar el día de máxima demanda se realizó una comparación del total de vehículos que circularon en las aproximaciones Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio en el periodo de 7:00 am a 10:00 pm (tabla 28 – tabla 37), obteniéndose en las dos avenidas que el día con mayor volumen vehicular es el viernes, asimismo se observa que la Av. 28 de Julio es la aproximación con mayor volumen de vehículos en la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”, lo descrito anteriormente se puede apreciar en la tabla 53 y la tabla 54.

Tabla 53 Volumen diario – Av. Velasco Astete

Av. Velasco Astete	
Día	Volumen (Veh/día)
Lunes	18431
Martes	18818
Jueves	19513
Viernes	21430
Sábado	20760

Fuente: Propia



Tabla 54 Volumen diario – Av. 28 de Julio

Av. 28 de Julio	
Día	Volumen (Veh/día)
Lunes	19988
Martes	20066
Jueves	21580
Viernes	23128
Sábado	22429

Fuente: Propia

Para determinar el periodo horario de máxima demanda se realizó una suma de los volúmenes horarios conformados por periodos de 15 minutos para una hora de los días de mayor volumen diario (viernes y sábado), con la finalidad de cuantificar el volumen que circula por la intersección a nivel “Ovalo Libertadores. En la siguiente figura de muestra los volúmenes sumados de las avenidas Velasco Astete y 28 de Julio de los días aforados, observándose que el día de mayor volumen es el viernes.

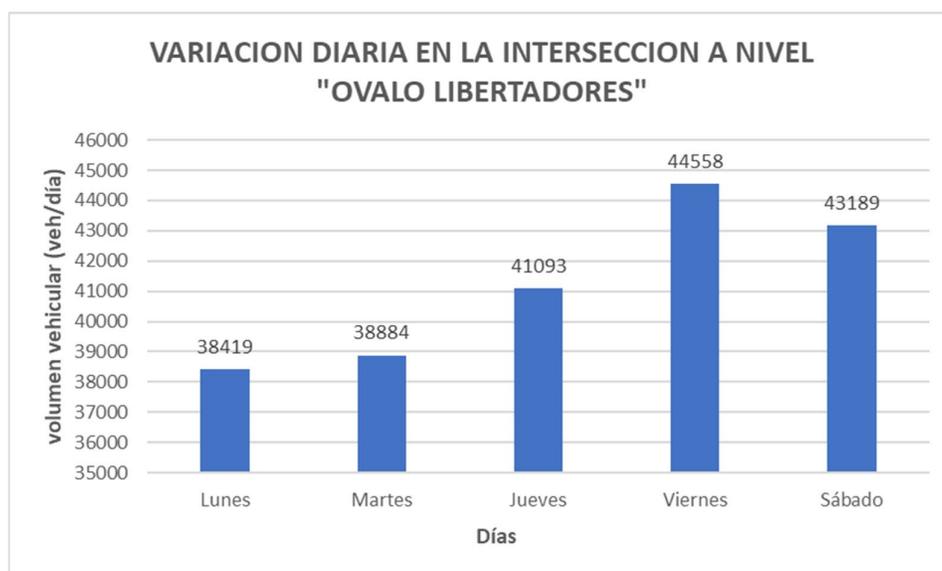


Figura 97 Variación diaria del volumen vehicular en la intersección “Ovalo Libertadores”

Fuente: Propia

En el siguiente grafico que representa la variación horaria de la suma de volúmenes de la Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio de los días viernes y sábado, se puede apreciar que en el periodo de 3:00 pm a 6:00 pm el volumen de vehículos que hacen uso de la intersección es constante.

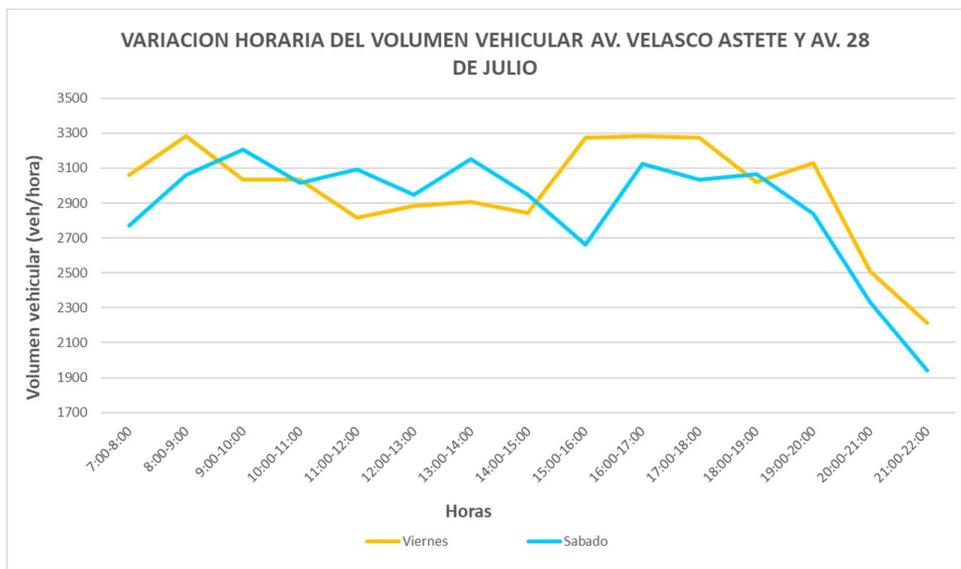


Figura 98 Variación horaria de las Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio

Fuente: Propia

En el siguiente grafico de barras se corrobora que el periodo de 3:00 pm a 6:00 pm representa un volumen alto y constante de vehículos, entonces para determinar el factor horario de máxima demanda se detallara en la siguiente página donde se muestran las horas aforadas en intervalos de 15 minutos, mostrándose el aforo desde las 12:00 pm hasta las 7:00 pm del día viernes correspondiente a las dos avenidas ya mencionadas.

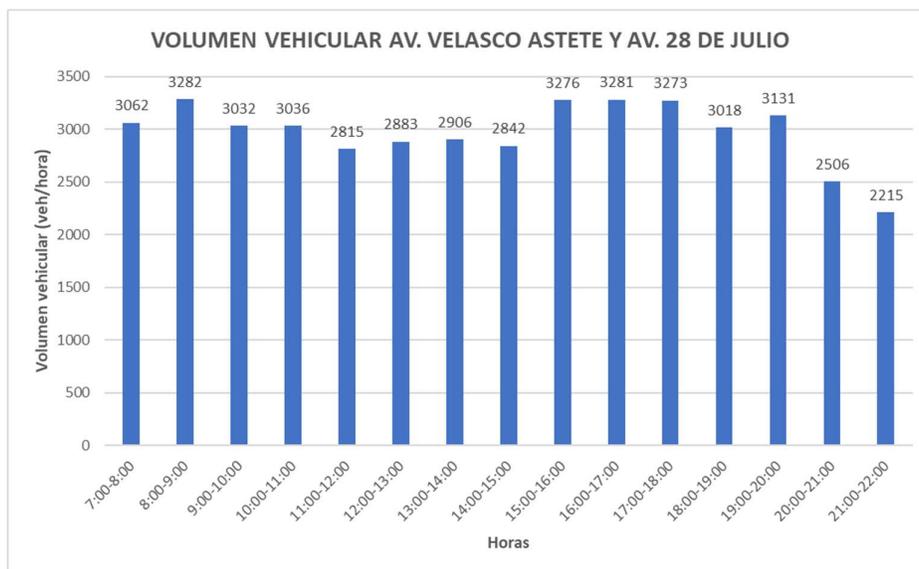


Figura 99 Volumen vehicular de las Av. Velasco Astete y Av. 28 de Julio

Fuente: Propia



Tabla 55 Determinación del factor horario de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																						
Fecha de aforo vehicular																						
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Ovalo Libertadores" aplicando la metodología TRL para el cálculo de capacidad																					
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez									Jestyn A. Quispe Cahua												
Aproximacion	Av. Velasco Astete																					
Hora	Tipo de Vehiculos																Parciales					
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Traylor			Traylor				Sub total	Agrupacion 1	Agrupacion 2	Agrupacion 3	Agrupacion 4	
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3					
13:00 - 13:15	529	57	35	14	1	0	21	11	1	0	0	0	2	0	0	0	1	672				
13:15 - 13:30	606	41	43	18	1	1	18	7	0	0	0	0	2	0	0	0	0	737				
13:30 - 13:45	581	58	45	18	1	2	30	6	0	0	0	0	1	0	0	0	0	742	2906			
13:45 - 14:00	582	64	44	17	1	0	35	9	0	0	0	1	2	0	0	0	0	755		2972		
14:00 - 14:15	593	43	44	17	5	1	24	8	0	0	0	0	3	0	0	0	0	738			3002	
14:15 - 14:30	606	42	53	18	3	2	31	7	0	0	0	0	5	0	0	0	0	767	2842			2921
14:30 - 14:45	527	35	31	16	7	1	34	6	0	0	0	0	1	3	0	0	0	661				
14:45 - 15:00	516	59	39	18	3	2	34	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	676		2830		
15:00 - 15:15	555	62	40	14	6	5	38	4	1	0	0	0	1	0	0	0	0	726				
15:15 - 15:30	677	58	60	17	0	4	23	4	0	0	0	0	2	0	0	0	0	845				
15:30 - 15:45	653	79	54	18	2	3	32	4	0	0	0	0	3	0	0	0	0	848	3276			3095
15:45 - 16:00	660	76	67	18	1	2	24	6	0	0	0	0	3	0	0	0	0	857		3396		
16:00 - 16:15	629	54	73	26	13	3	40	6	0	0	0	0	2	0	0	0	0	846			3336	
16:15 - 16:30	605	63	60	6	5	4	37	4	0	0	0	0	1	0	0	0	0	785				3346
16:30 - 16:45	669	68	52	14	2	2	44	5	0	0	0	0	2	0	0	0	0	858	3281			
16:45 - 17:00	628	66	36	23	0	4	26	8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	792				
17:00 - 17:15	632	74	42	16	3	7	29	0	0	0	0	0	4	0	0	0	0	807			3253	
17:15 - 17:30	654	52	37	15	6	1	28	1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	796				3246
17:30 - 17:45	694	61	39	21	4	3	27	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	851	3273			
17:45 - 18:00	672	51	30	20	7	2	22	11	2	0	0	0	1	0	0	1	0	819		3279		
18:00 - 18:15	668	43	33	25	9	5	20	6	1	0	0	0	3	0	0	0	0	813			3266	
18:15 - 18:30	654	53	33	15	4	4	17	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0	783	3018			3082
18:30 - 18:45	535	45	35	18	8	4	12	5	0	0	0	0	5	0	0	0	0	667				
18:45 - 19:00	591	69	46	18	4	0	22	5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	755		2995		
19:00 - 19:15	631	69	34	21	5	1	20	9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	790			2884	
19:15 - 19:30	521	64	33	22	9	5	16	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	672				3052
19:30 - 19:45	672	83	34	24	3	2	15	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	835	3131			
19:45 - 20:00	674	74	41	23	3	3	12	2	0	0	0	0	2	0	0	0	0	834		2341	1669	834

$$FHMD = \frac{V}{4 * V_{15}}$$

V  
V15  
FHMD

Volumen maximo por hora  
Volumen maximo parcial  
Factor horario de maxima demanda

= 3396 Veh/hora  
= 857 Veh/hora  
= 0.99

Máximo 3281 3396 3336 3346

Fuente: Propia

En la tabla 55 se puede observar que la hora de máxima demanda a partir de los aforos de la tabla 28 a tabla 37 es de 3:15 pm a 4:15 pm. En la figura 100 se puede apreciar que en el periodo ya mencionado se presentan los picos más altos y constantes del volumen vehicular.

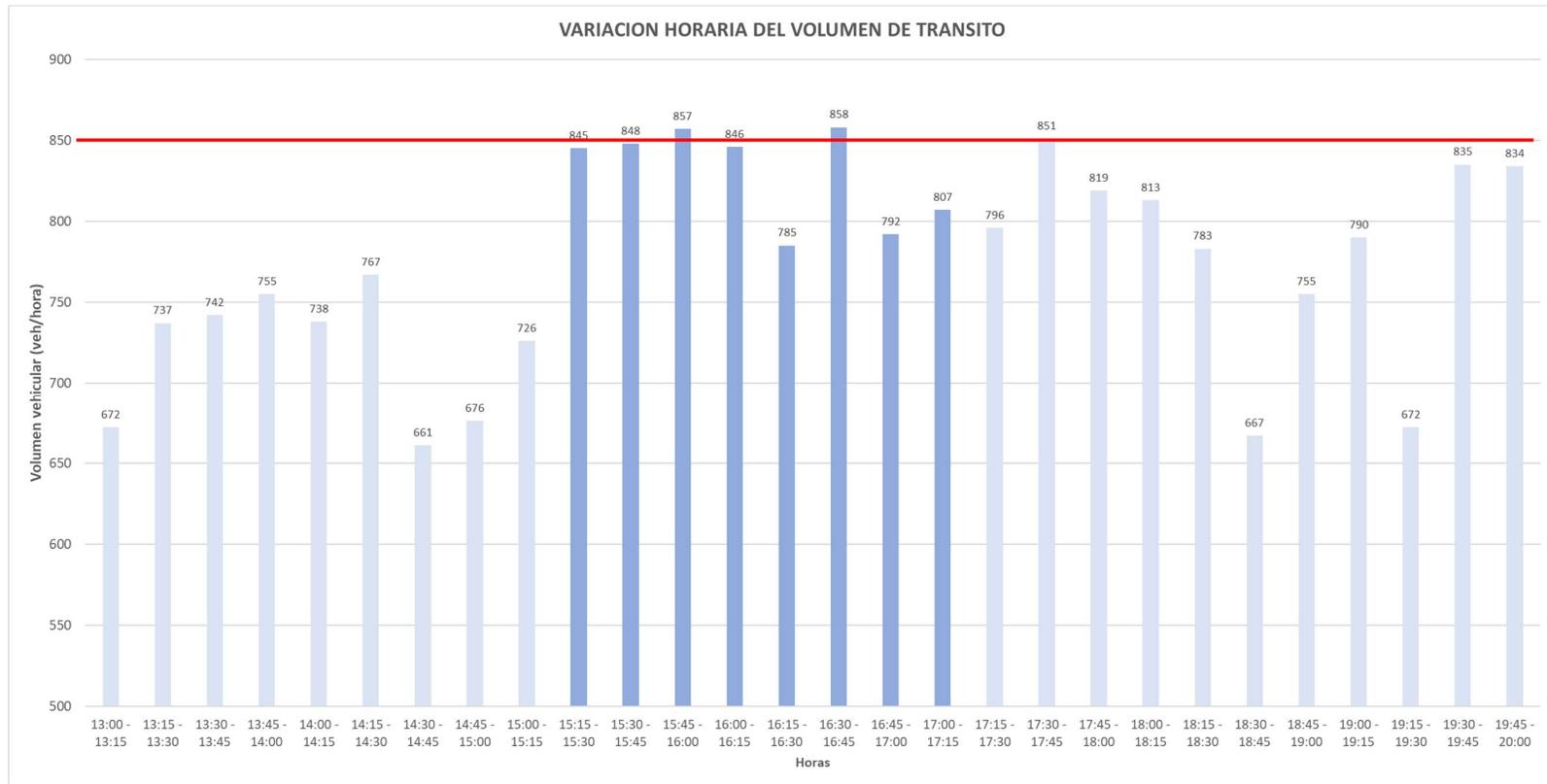


Figura 100 Variación del volumen vehicular en el periodo de máxima demanda

Fuente: Propia

En la figura 100 del grafico de barras correspondiente a los aforos por cada 15 minutos de la tabla 55 se observa que los valores más altos están de 3:15 pm a 4:15 pm, sin embargo, de 4:30 pm a 4:45 pm se observa que el volumen también es alto, debido a esto se realizó un aforo en el periodo de 3:15 pm a 5:15 pm para determinar la hora de máxima demanda con mayor detalle. A continuación, se muestra desde la tabla 56 hasta la tabla 59 el aforo en el periodo ya mencionado realizado el viernes 02 de agosto del año 2019.



Tabla 56 Aforo vehicular Av. 28 de Julio – Periodo de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Av. 28 de Julio						Fecha	02/08/2019										
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
15:15 - 15:30	320	39	8	7	6	3	16	3									2	
15:30 - 15:45	359	38	19	9	1	3	28	4	1								1	
15:45 - 16:00	343	32	11	6	1	2	21	8									3	
16:00 - 16:15	315	35	19	9	1		39	9									5	
16:15 - 16:30	342	37	29	8			26	13									2	
16:30 - 16:45	337	39	12	8	1	1	28	4									2	
16:45 - 17:00	299	34	27	7		2	35	7				1	3				1	
17:00 - 17:15	309	30	24	9		1	31	10	2			1	3				2	
Parcial	2624	284	149	63	10	12	224	58	3	0	0	2	20	0	0	0	6	
Subtotal	3120				335													
%	90.3%				9.7%													
Vehiculos livianos				Vehiculos pesados													Total	3455

Fuente: Propia



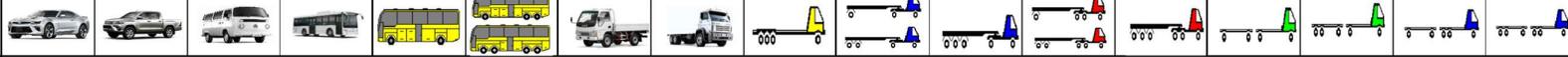
Tabla 57 Aforo vehicular Av. Qosqo– Periodo de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Av. Qosqo						Fecha	02/08/2019										
Tipo de Vehiculos																		
Hora	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
15:15 - 15:30	110	24	9						6									
15:30 - 15:45	128	12	4						5									
15:45 - 16:00	119	12	4						6	1								
16:00 - 16:15	159	15	3						2				1					
16:15 - 16:30	145	12	2	1					6	2								
16:30 - 16:45	166	15	2	1	1				9									
16:45 - 17:00	163	17	2						4	1								
17:00 - 17:15	141	21	5						7	1								
Parcial	1131	128	31	2	1	0	45	5	0	0	0	0	1	0	0	0	0	
Subtotal	1292				52													
%	96.1%				3.9%													
Vehiculos livianos				Vehiculos pesados													Total	1344

Fuente: Propia



Tabla 58 Aforo vehicular Av. Velasco Astete– Periodo de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	PropuestasPropuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez						Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Av. Velasco Astete						Fecha	02/08/2019										
Hora	Tipo de Vehiculos																	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler					
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3	
																		
15:15 - 15:30	301	22	24	11	2	1	12	1									1	
15:30 - 15:45	375	26	11	8			10	1									3	
15:45 - 16:00	352	22	21	10	2	1	7	1									1	
16:00 - 16:15	368	19	25	8	1	1	5	2										
16:15 - 16:30	315	30	22	12	3		7	5									1	
16:30 - 16:45	334	27	23	11	1		10	2									1	
16:45 - 17:00	338	29	23	13		1	5	3	1									
17:00 - 17:15	295	34	21	12	2	3	13	1									2	
Parcial	2678	209	170	85	11	7	69	16	1	0	0	0	9	0	0	0	0	
Subtotal	3142				113													
%	96.5%				3.5%													
Vehiculos livianos				Vehiculos pesados													Total	3255

Fuente: Propia



Tabla 59 Aforo vehicular Vía Expresa– Periodo de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																			
Ficha de aforo vehicular																			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																		
Tesisistas	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua											
Aproximacion	Via Expresa							Fecha	02/08/2019										
Hora	Tipo de Vehiculos																		
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler			Trayler						
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2	>=3T3		
15:15 - 15:30	194	13	2	6	1	3	15	1					1						
15:30 - 15:45	182	15	2	10		4	16	3			2		6						
15:45 - 16:00	268	12	5	5	1		17	3				1	1				1		
16:00 - 16:15	215	12	5	7	2	4	15	3											
16:15 - 16:30	269	14	6	7		5	18	2											
16:30 - 16:45	276	15	3	5	1	2	16	4											
16:45 - 17:00	246	15	3	9			13	6					1						
17:00 - 17:15	243	11	1	5			16	5	1			2	3				1		
Parcial	1893	107	27	54	5	18	126	27	1	0	2	3	12	0	0	0	2		
Subtotal	2081							196											
%	91.4%							8.6%											
	Vehiculos livianos							Vehiculos pesados										Total	2277

Fuente: Propia



Tabla 60 Determinación de la hora de mayor demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																		
Ficha de aforo vehicular																		
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																	
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez									Jestyn A. Quispe Cahua								
Intersección "Ovalo Libertadores"																		
Hora	Tipo de Vehiculos																Sumatoria por hora	
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones			Semi Trayler				Trayler				
					2 Ejes	>= 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	>=3S3	2T2	2T3	3T2		>=3T3
15:15 - 15:30	925	98	43	24	9	7	49	5										
15:30 - 15:45	1044	91	36	27	1	7	59	8	1		2							
15:45 - 16:00	1082	78	41	21	4	3	51	13				1						
<b>16:00 - 16:15</b>	<b>1057</b>	<b>81</b>	<b>52</b>	<b>24</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>61</b>	<b>14</b>				<b>6</b>						
<b>16:15 - 16:30</b>	<b>1071</b>	<b>93</b>	<b>59</b>	<b>28</b>	<b>3</b>	<b>5</b>	<b>57</b>	<b>22</b>				<b>3</b>						
<b>16:30 - 16:45</b>	<b>1113</b>	<b>96</b>	<b>40</b>	<b>25</b>	<b>4</b>	<b>3</b>	<b>63</b>	<b>10</b>				<b>3</b>						
<b>16:45 - 17:00</b>	<b>1046</b>	<b>95</b>	<b>55</b>	<b>29</b>	<b>0</b>	<b>3</b>	<b>57</b>	<b>17</b>	<b>1</b>			<b>1</b>	<b>4</b>					
17:00 - 17:15	988	96	51	26	2	4	67	17	3			3	8					

Fuente: Propia

Se realizó una agrupación de cuatro periodos de 15 minutos del aforo final en el periodo de 3:15 pm a 5:15 pm para determinar la hora de máxima demanda, en la tabla 60 se puede observar que la hora de máxima demanda se encuentra en el periodo de 16:00 a 17:00 horas. De esta manera se realiza el aforo de los flujos vehiculares desde tres puntos como se muestra en la figura 89.



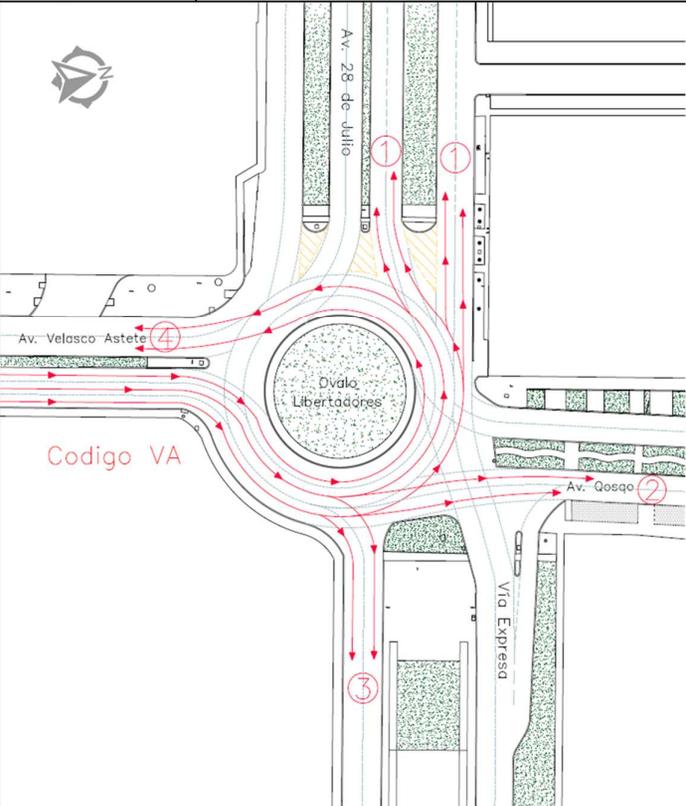
Tabla 61 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. 28 de Julio

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																																								
Ficha de flujos vehiculares																																																								
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el metodo del TRL para el cálculo de capacidad																																																							
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez	Jestyn A. Quispe Cahua																																																						
Aproximación	Av. 28 de Julio	Codigo de Aproximacion <b>28J</b>																																																						
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Flujos por Aproximacion</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>28J1</td> <td>28J2</td> <td>28J3</td> <td>28J4</td> </tr> <tr> <td>16:00 - 16:15</td> <td>85</td> <td>147</td> <td>191</td> <td>9</td> </tr> <tr> <td>16:15 - 16:30</td> <td>117</td> <td>148</td> <td>182</td> <td>10</td> </tr> <tr> <td>16:30 - 16:45</td> <td>95</td> <td>134</td> <td>192</td> <td>12</td> </tr> <tr> <td>16:45 - 17:00</td> <td>93</td> <td>127</td> <td>190</td> <td>6</td> </tr> <tr> <td>Sub total</td> <td>390</td> <td>556</td> <td>755</td> <td>37</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td colspan="4">1738</td> </tr> <tr> <td>%Vpesado</td> <td colspan="4">9.7%</td> </tr> </tbody> </table>		Flujos por Aproximacion					Hora	Movimientos				1	2	3	4	Código	28J1	28J2	28J3	28J4	16:00 - 16:15	85	147	191	9	16:15 - 16:30	117	148	182	10	16:30 - 16:45	95	134	192	12	16:45 - 17:00	93	127	190	6	Sub total	390	556	755	37	Total	1738				%Vpesado	9.7%			
	Flujos por Aproximacion																																																							
	Hora	Movimientos																																																						
		1	2	3	4																																																			
	Código	28J1	28J2	28J3	28J4																																																			
	16:00 - 16:15	85	147	191	9																																																			
	16:15 - 16:30	117	148	182	10																																																			
	16:30 - 16:45	95	134	192	12																																																			
	16:45 - 17:00	93	127	190	6																																																			
	Sub total	390	556	755	37																																																			
Total	1738																																																							
%Vpesado	9.7%																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Porcentaje de Vehiculos Pesados</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Código</td> <td>28J1</td> <td>28J2</td> <td>28J3</td> <td>28J4</td> </tr> <tr> <td>%Vpesado</td> <td>0.5%</td> <td>6.2%</td> <td>3.0%</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>		Porcentaje de Vehiculos Pesados					Hora	Movimientos				1	2	3	4	Código	28J1	28J2	28J3	28J4	%Vpesado	0.5%	6.2%	3.0%	-																															
Porcentaje de Vehiculos Pesados																																																								
Hora	Movimientos																																																							
	1	2	3	4																																																				
Código	28J1	28J2	28J3	28J4																																																				
%Vpesado	0.5%	6.2%	3.0%	-																																																				

Fuente Propia



Tabla 62 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. Velasco Astete

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																																																																			
Ficha de flujos vehiculares																																																																																			
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																																																																																		
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua																																																																																
Aproximación	Av. Velasco Astete		Código de Aproximación	VA																																																																															
 <p>Código VA</p>			<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Flujos por Aproximación</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1 </th> <th>2 </th> <th>3 </th> <th>4 </th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>VA1</th> <th>VA2</th> <th>VA3</th> <th>VA4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16:00 - 16:15</td> <td>282</td> <td>78</td> <td>68</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>16:15 - 16:30</td> <td>245</td> <td>94</td> <td>56</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:30 - 16:45</td> <td>246</td> <td>104</td> <td>59</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:45 - 17:00</td> <td>266</td> <td>92</td> <td>54</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Sub total</td> <td>1039</td> <td>368</td> <td>237</td> <td>2</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td colspan="4">1646</td> </tr> <tr> <td>%Vpesado</td> <td colspan="4">3.5%</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Porcentaje de Vehículos Pesados</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1 </th> <th>2 </th> <th>3 </th> <th>4 </th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>VA1</th> <th>VA2</th> <th>VA3</th> <th>VA4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>%Vpesado</td> <td>2.7%</td> <td>0.3%</td> <td>0.5%</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Flujos por Aproximación					Hora	Movimientos				1 	2 	3 	4 	Código	VA1	VA2	VA3	VA4	16:00 - 16:15	282	78	68	1	16:15 - 16:30	245	94	56	-	16:30 - 16:45	246	104	59	-	16:45 - 17:00	266	92	54	1	Sub total	1039	368	237	2	Total	1646				%Vpesado	3.5%				Porcentaje de Vehículos Pesados					Hora	Movimientos				1 	2 	3 	4 	Código	VA1	VA2	VA3	VA4	%Vpesado	2.7%	0.3%	0.5%	-
Flujos por Aproximación																																																																																			
Hora	Movimientos																																																																																		
	1 	2 	3 	4 																																																																															
Código	VA1	VA2	VA3	VA4																																																																															
16:00 - 16:15	282	78	68	1																																																																															
16:15 - 16:30	245	94	56	-																																																																															
16:30 - 16:45	246	104	59	-																																																																															
16:45 - 17:00	266	92	54	1																																																																															
Sub total	1039	368	237	2																																																																															
Total	1646																																																																																		
%Vpesado	3.5%																																																																																		
Porcentaje de Vehículos Pesados																																																																																			
Hora	Movimientos																																																																																		
	1 	2 	3 	4 																																																																															
Código	VA1	VA2	VA3	VA4																																																																															
%Vpesado	2.7%	0.3%	0.5%	-																																																																															

Fuente Propia



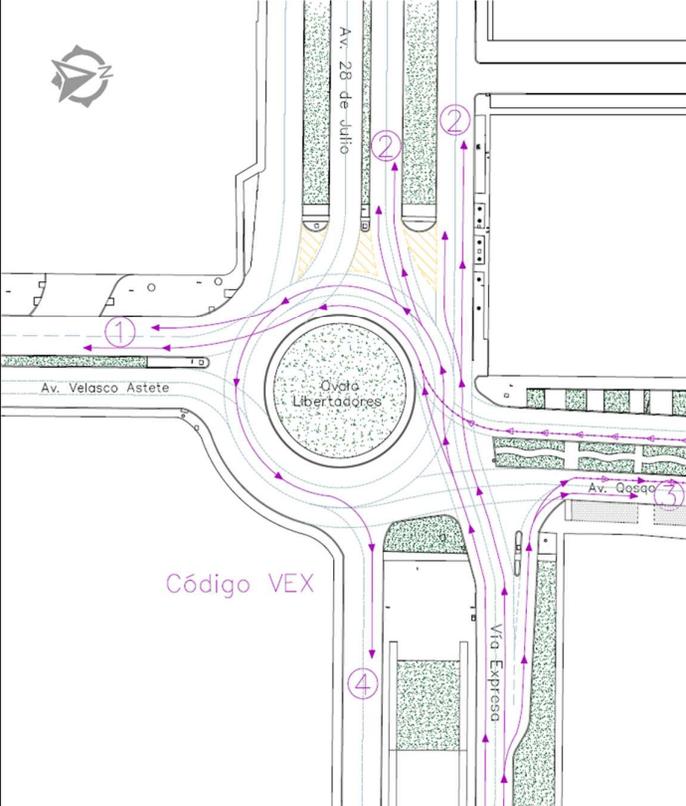
Tabla 63 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Av. Qosqo

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																																										
Ficha de flujos vehiculares																																																										
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																																																									
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua																																																							
Aproximación	Av. Qosqo		Código de Aproximación <b>QQ</b>																																																							
	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Flujos por Aproximación</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1 </th> <th>2 </th> <th>3 </th> <th>4 </th> </tr> <tr> <th>Código</th> <td>QQ1</td> <td>QQ2</td> <td>QQ3</td> <td>QQ4</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16:00 - 16:15</td> <td>3</td> <td>80</td> <td>14</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:15 - 16:30</td> <td>1</td> <td>68</td> <td>19</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:30 - 16:45</td> <td>1</td> <td>76</td> <td>19</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:45 - 17:00</td> <td>-</td> <td>76</td> <td>35</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Sub total</td> <td>5</td> <td>300</td> <td>87</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td colspan="4">392</td> </tr> <tr> <td>%Vpesado</td> <td colspan="4">3.9%</td> </tr> </tbody> </table>				Flujos por Aproximación					Hora	Movimientos				1 	2 	3 	4 	Código	QQ1	QQ2	QQ3	QQ4	16:00 - 16:15	3	80	14	-	16:15 - 16:30	1	68	19	-	16:30 - 16:45	1	76	19	-	16:45 - 17:00	-	76	35	-	Sub total	5	300	87	0	Total	392				%Vpesado	3.9%			
	Flujos por Aproximación																																																									
	Hora	Movimientos																																																								
		1 	2 	3 	4 																																																					
	Código	QQ1	QQ2	QQ3	QQ4																																																					
	16:00 - 16:15	3	80	14	-																																																					
	16:15 - 16:30	1	68	19	-																																																					
	16:30 - 16:45	1	76	19	-																																																					
	16:45 - 17:00	-	76	35	-																																																					
	Sub total	5	300	87	0																																																					
Total	392																																																									
%Vpesado	3.9%																																																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Porcentaje de Vehículos Pesados</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1 </th> <th>2 </th> <th>3 </th> <th>4 </th> </tr> <tr> <th>Código</th> <td>QQ1</td> <td>QQ2</td> <td>QQ3</td> <td>QQ4</td> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>%Vpesado</td> <td>-</td> <td>3.1%</td> <td>0.8%</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>					Porcentaje de Vehículos Pesados					Hora	Movimientos				1 	2 	3 	4 	Código	QQ1	QQ2	QQ3	QQ4	%Vpesado	-	3.1%	0.8%	-																														
Porcentaje de Vehículos Pesados																																																										
Hora	Movimientos																																																									
	1 	2 	3 	4 																																																						
Código	QQ1	QQ2	QQ3	QQ4																																																						
%Vpesado	-	3.1%	0.8%	-																																																						

Fuente Propia



Tabla 64 Flujos vehiculares de la hora de máxima demanda – Vía Expresa

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																																																									
Ficha de flujos vehiculares																																																									
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																																																								
Tesistas	Josue M. Ccapatinta Melendez		Jestyn A. Quispe Cahua																																																						
Aproximación	Vía Expresa	Código de Aproximación	VEX																																																						
 <p>Código VEX</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Flujos por Aproximación</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>VEX1</th> <th>VEX2</th> <th>VEX3</th> <th>VEX4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>16:00 - 16:15</td> <td>110</td> <td>142</td> <td>11</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:15 - 16:30</td> <td>107</td> <td>148</td> <td>66</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:30 - 16:45</td> <td>137</td> <td>160</td> <td>25</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>16:45 - 17:00</td> <td>102</td> <td>146</td> <td>45</td> <td>-</td> </tr> <tr> <td>Sub total</td> <td>456</td> <td>596</td> <td>147</td> <td>0</td> </tr> <tr> <td>Total</td> <td colspan="4">1199</td> </tr> <tr> <td>%Vpesado</td> <td colspan="4">8.6%</td> </tr> </tbody> </table>			Flujos por Aproximación					Hora	Movimientos				1	2	3	4	Código	VEX1	VEX2	VEX3	VEX4	16:00 - 16:15	110	142	11	-	16:15 - 16:30	107	148	66	-	16:30 - 16:45	137	160	25	-	16:45 - 17:00	102	146	45	-	Sub total	456	596	147	0	Total	1199				%Vpesado	8.6%			
	Flujos por Aproximación																																																								
	Hora	Movimientos																																																							
		1	2	3	4																																																				
	Código	VEX1	VEX2	VEX3	VEX4																																																				
	16:00 - 16:15	110	142	11	-																																																				
	16:15 - 16:30	107	148	66	-																																																				
	16:30 - 16:45	137	160	25	-																																																				
	16:45 - 17:00	102	146	45	-																																																				
	Sub total	456	596	147	0																																																				
Total	1199																																																								
%Vpesado	8.6%																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="5">Porcentaje de Vehículos Pesados</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Hora</th> <th colspan="4">Movimientos</th> </tr> <tr> <th>1</th> <th>2</th> <th>3</th> <th>4</th> </tr> <tr> <th>Código</th> <th>VEX1</th> <th>VEX2</th> <th>VEX3</th> <th>VEX4</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>%Vpesado</td> <td>0.3%</td> <td>8.1%</td> <td>0.2%</td> <td>-</td> </tr> </tbody> </table>			Porcentaje de Vehículos Pesados					Hora	Movimientos				1	2	3	4	Código	VEX1	VEX2	VEX3	VEX4	%Vpesado	0.3%	8.1%	0.2%	-																															
Porcentaje de Vehículos Pesados																																																									
Hora	Movimientos																																																								
	1	2	3	4																																																					
Código	VEX1	VEX2	VEX3	VEX4																																																					
%Vpesado	0.3%	8.1%	0.2%	-																																																					

Fuente Propia

### 3.6.3 Composición vehicular

En la composición vehicular se determinó el volumen y porcentaje por cada tipo de vehículo que circula en la intersección durante el horario de mayor demanda, para esto se realizó una suma de los flujos vehiculares de todas las aproximaciones (tablas 61-64), obteniéndose la tabla 65 donde se muestra que los vehículos livianos tienen un porcentaje de 93.45% siendo estos los de mayor volumen, y el otro 6.55% corresponde a los vehículos pesados, en las figuras 101 y 102 se muestran la composición tanto de vehículos livianos como de vehículos pesados respectivamente.

Tabla 65 Composición vehicular en la hora de máxima demanda

Universidad Andina Del Cusco - Escuela Profesional de Ingeniería Civil																	
Composicion Vehicular																	
Tesis	Propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominada "Ovalo Libertadores" aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad																
Tesis	Josue M. Ccapatinta Melendez							Jestyn A. Quispe Cahua									
Hora	Tipo de Vehiculos																
	Autos	Pick up	Combis	Micros	Buses		camiones		Semi Traylor				Traylor				
					2 Ejes	≥ 3 Ejes	2 Ejes	3 Ejes	4 ejes	2S1/2S2	2S3	3S1/3S2	≥ 3S3	2T2	2T3	3T2	≥ 3T3
16:00 - 16:15	1057	81	52	24	4	5	61	14									6
16:15 - 16:30	1071	93	59	28	3	5	57	22									3
16:30 - 16:45	1113	96	40	25	4	3	63	10									3
16:45 - 17:00	1046	95	55	29	0	3	57	17	1			1	4				1
Parcial	4287	365	206	106	11	16	238	63	1			1	16				2
Porcentaje	80.70%	6.87%	3.88%	2.00%	0.21%	0.30%	4.48%	1.19%	0.02%	0%	0%	0.02%	0.30%	0%	0%	0%	0.04%

Fuente Propia

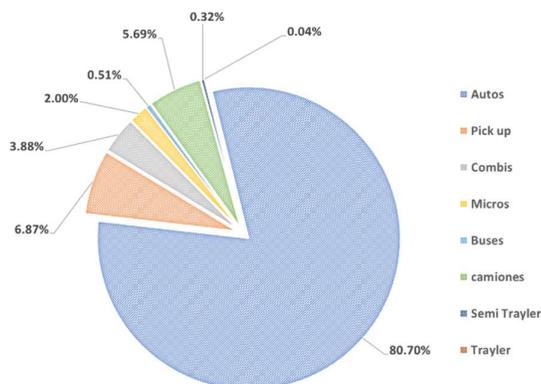


Figura 101 Composición vehicular de la intersección

Fuente: Propia

De la figura 101 de composición vehicular de toda la intersección, se puede apreciar que la mayoría de estos vehículos están representados por autos (80.7%) con un equivalente a 4287 vehículos.

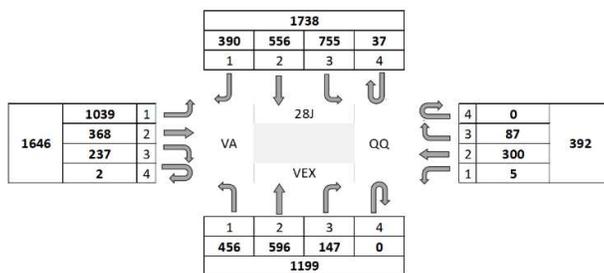


Figura 102 Composición vehicular de la intersección

Fuente: Propia

En la figura 102 se observa los flujos vehiculares de la intersección Ovalo Libertadores por aproximación en la hora de máxima demanda.

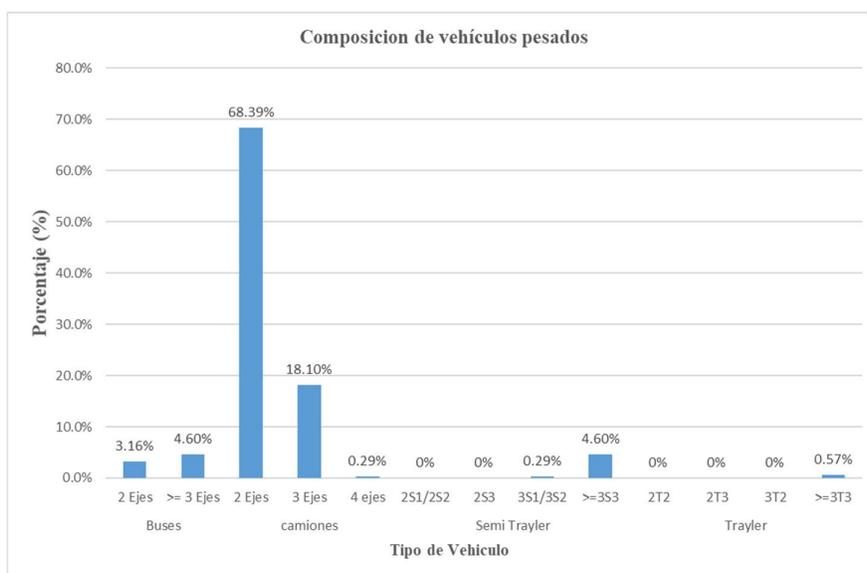


Figura 103 Composición vehicular de vehículos pesados

Fuente: Propia

En la figura 103 de composición vehicular de vehículos pesados se observa los camiones de 2 ejes representa un 68.39% de los vehículos pesados (4.48% del total de vehículos), en esta figura se observa que el semitrailer T3S3 representa un 4.60 % de los vehículos pesados (0.30% del total de vehículos) siendo el vehículo de mayor dimensión y frecuencia de paso en la zona de estudio.

### 3.6.4 Velocidades

Para determinar las velocidades de aproximación, ingreso y circulación de los vehículos que hacen uso de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” a través de sus aproximaciones, se hizo uso de las tablas 19,20 y 21 correspondiente a las fichas de velocidades de aproximación, ingreso y circulación respectivamente, donde se consideraron 30 muestras (vehículos), estos

vehículos deben ser aleatorios y representativos tanto de condiciones de flujo libre y flujo de tránsito, evitando el muestreo excesivo de vehículos que circulen a altas velocidades (Manual de Estudios de Ingeniería de Tránsito, 2015). En la tabla 66 se muestra un resumen de las velocidades promedio (aproximación, ingreso y circulación) por aproximación determinadas en un periodo de 12:00 pm a 13:00 pm la determinación de velocidad de detalla en los anexos.

Tabla 66 Velocidades promedio por aproximación

Aproximacion	Velocidad promedio de aproximacion	Velocidad promedio de ingreso	Velocidad promedio de circulacion
	(km/hr)		
Av. 28 de Julio	45.48	12.59	18.67
Av. Velasco Astete	25.83	9.29	16.96
Av. Qosqo	22.66	8.31	19.33
Vía Expresa	37.24	26.62	37.13

Fuente: Propia

### 3.6.5 Vehículo de diseño

En la composición vehicular a lo largo del periodo de aforo de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” se puede observar que circulan tanto vehículos livianos como vehículos pesados, para el diseño geométrico de intersecciones se debe seleccionar el vehículo de diseño que presente las dimensiones más grandes por aproximación, según las restricciones presentes y de acuerdo a la frecuencia de paso se seleccionara el vehículo de diseño por aproximación.

En las aproximaciones Av. 28 de Julio, Av. Velasco Astete y Vía Expresa se observa que el vehículo con mayor frecuencia de circulación y de mayor dimensión es el T3S3, en la figura 103 se muestra las dimensiones del vehículo de diseño para estas aproximaciones; en la aproximación Av. Qosqo el vehículo de diseño es un camión de 3 ejes como se muestra en la figura 104.

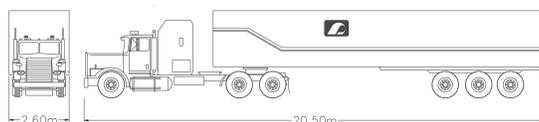


Figura 104 Vehículo de diseño T3S3

Fuente: Propia



Figura 105 Vehículo de diseño camión de 3 ejes

Fuente: Propia

### 3.6.6 Uso de suelos

En la siguiente figura 106 se puede observar que gran parte de la zona alrededor de la infraestructura vial “Ovalito Libertadores” está compuesta por zonas residenciales (RDB), zonas de comercio (CE-CV), educación básica y otros usos (OU), en este último se encuentran específicamente en el Aeropuerto Internacional Alejandro Velasco Astete y el parque Pukllaycancha; entonces para las propuestas de mejora de esta intersección se podrían ver afectadas la esquina de la Av. 28 de Julio con la Av. Velasco Astete que actualmente es un grifo en desuso (CE), la esquina de la Av. Qosqo con la Av. 28 de Julio que actualmente es un negocio de venta de vehículos (CV), y áreas que corresponden al aeropuerto y al parque Pukllaycancha; de esta manera se puede observar que en se requieran mayores áreas para las propuestas están sujetas a este uso de suelos.

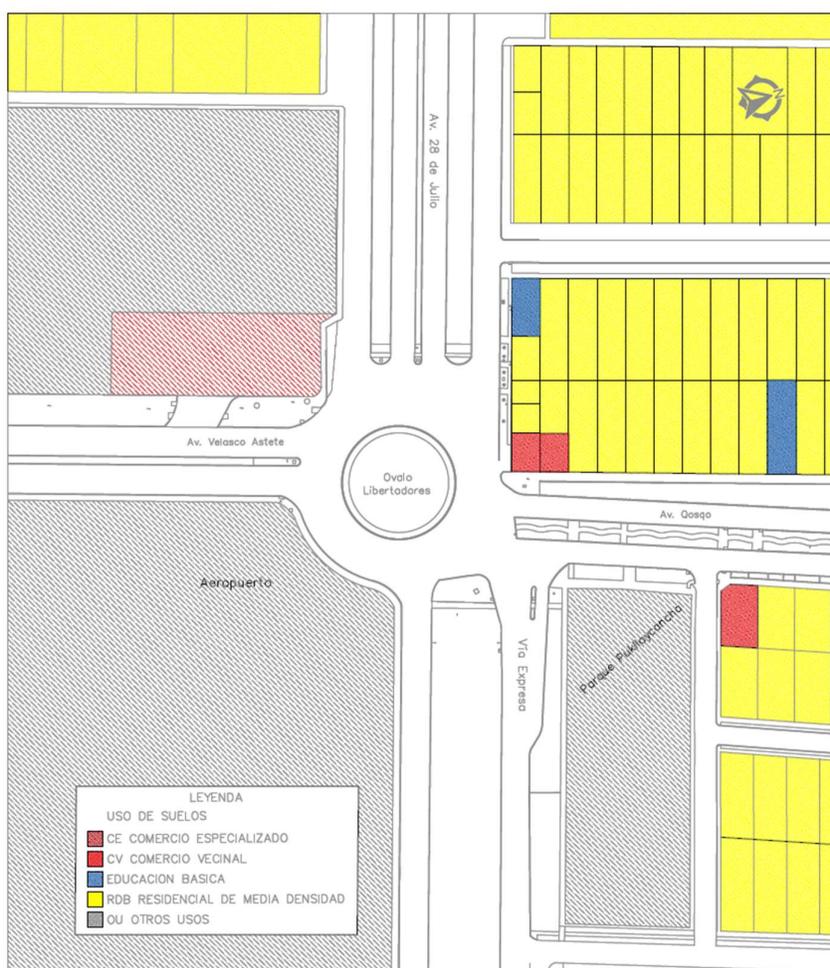


Figura 106 Uso de suelo – zona de estudio

Fuente: Plan de desarrollo urbano de la provincia del Cusco 2013 - 2023



### 3.6.7 Proyecciones de tránsito a futuro

Para el cálculo de las proyecciones de tránsito futuras se plantea una situación a 25 años, para la proyección se emplea la fórmula de tráfico futuro donde se toma en cuenta una tasa anual de crecimiento ( $i$ ); para el caso de los vehículos livianos se considera la tasa de crecimiento promedio anual de la población de Perú - Cusco, de la tabla 3 del marco teórico, tomando el valor de 0.3%; para el caso de los vehículos pesados se considera de la tasa de crecimiento anual – PBI del país, de la figura 26, y toma el valor de 5.6%.

A continuación, se muestra la proyección futura de las aproximaciones de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” por cada proyección a 25 años en la tabla 67.

**Tabla 67 Proyecciones futuras a 25 años**

Aproximación	Proyecciones futuras - 25 años				Total
	Movimientos				
	1	2	3	4	
					
Av. 28 de Julio	424	688	871	40	2023
Av. Velasco Astete	1190	398	258	2	1848
Av. Qosqo	5	347	95	-	447
Vía Expresa	494	767	159	-	1419

Fuente: Propia

### 3.6.8 Determinación del flujo circulante

Para determinar el flujo circulante para una aproximación se hace una sumatoria de los movimientos de las otras aproximaciones teniendo en consideración cuales son los movimientos que circulan hasta antes de llegar a la aproximación determinada, este flujo es necesario para el cálculo de capacidad de entrada por aproximación.

A continuación, se detalla la determinación del flujo circulante por aproximación.

$$Q(28J) c = VA (4) + VEX (1,4) + QQ (1,2,4) = 763 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VA) c = 28J (2,3,4) + QQ (1,4) = 1353 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VEX) c = 28J (3,4) + VA (1,2,4) + QQ (4) = 2201 \text{ veh/hr}$$

$$Q(QQ) c = 28J (4) + VA (1,4) + VEX (1,2,4) = 2130 \text{ veh/hr}$$

En la situación actual debido a la presencia del carril auxiliar de ingreso de la Av. 28 de Julio, se genera un flujo circulante para este carril auxiliar al cual se le suma el volumen que viene de la vía principal de ingreso, a continuación, se detalla el flujo circulante para el carril auxiliar.

$$Q(28Jaux) c = VA (4) + VEX (1,4) + QQ (1,2,4) + 28Jprinc (1,2,3,4) = 1550 \text{ veh/hr}$$



En el caso de la proyección a 25 años no se presentan carriles auxiliares por lo tanto estas son los flujos circulantes.

$$Q(28J) c = VA (4) + VEX (1,4) + QQ (1,2,4) = 848 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VA) c = 28J (2,3,4) + QQ (1,4) = 1604 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VEX) c = 28J (3,4) + VA (1,2,4) + QQ (4) = 2501 \text{ veh/hr}$$

$$Q(QQ) c = 28J (4) + VA (1,4) + VEX (1,2,4) = 2493 \text{ veh/hr}$$

Para la propuesta N°4 y N°5 con la consideración de un paso a desnivel contemplado en el proyecto de mejoramiento de la Vía Expresa se muestran los siguientes flujos circulantes

$$Q(28J) c = VA (4) + VEX (1,4) + QQ (1,2,4) = 763 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VA) c = 28J (3,4) + QQ (1,4) = 797 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VEX) c = 28J (3,4) + VA (1,2,4) + QQ (4) = 2201 \text{ veh/hr}$$

$$Q(QQ) c = 28J (4) + VA (1,4) + VEX (1,4) = 1534 \text{ veh/hr}$$

Y finalmente para la proyección a 25 años de la propuesta N°4 y N°5 los flujos circulantes son los siguientes.

$$Q(28J) c = VA (4) + VEX (1,4) + QQ (1,2,4) = 848 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VA) c = 28J (3,4) + QQ (1,4) = 916 \text{ veh/hr}$$

$$Q(VEX) c = 28J (3,4) + VA (1,2,4) + QQ (4) = 2501 \text{ veh/hr}$$

$$Q(QQ) c = 28J (4) + VA (1,4) + VEX (1,4) = 1726 \text{ veh/hr}$$

Todo lo mencionado anteriormente se puede apreciar desde la figura 107 y en la figura 108 para las propuestas N° 1,2 y 3, para la propuesta N° 4 y N°5 los flujos circulantes se pueden observar en las figuras 108 y 109.

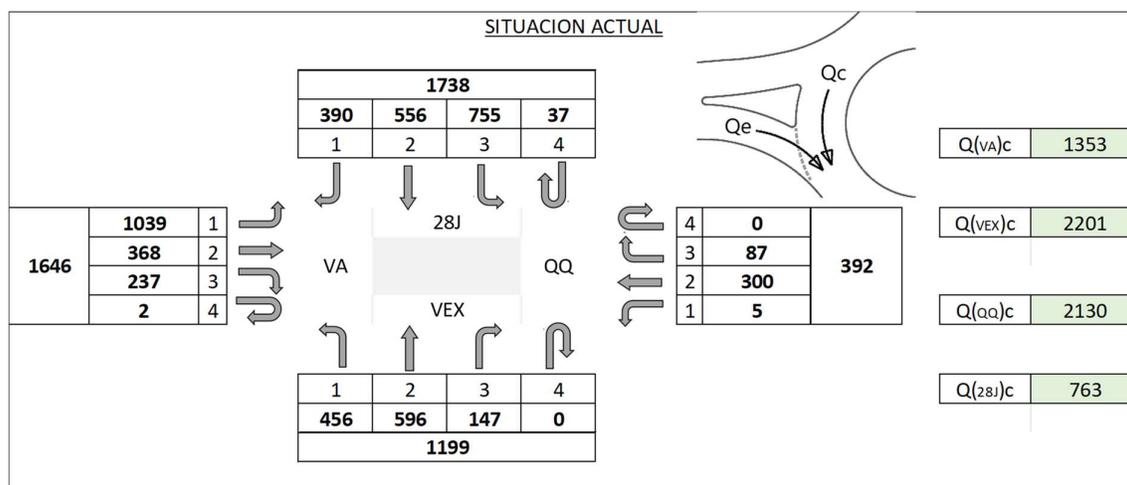


Figura 107 Flujos circulantes – Volúmenes actuales

Fuente: Propia

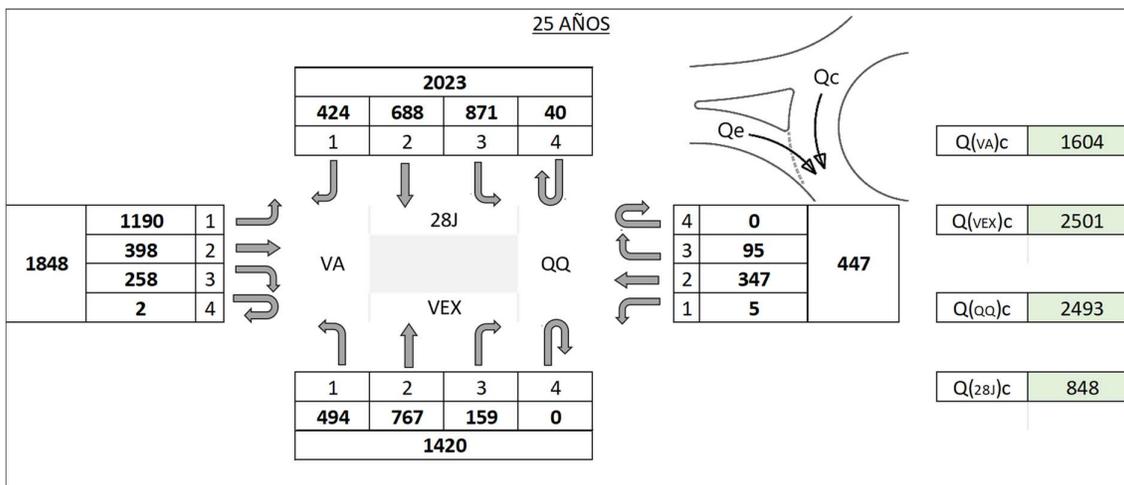


Figura 108 Flujos circulares – proyección futura

Fuente: Propia

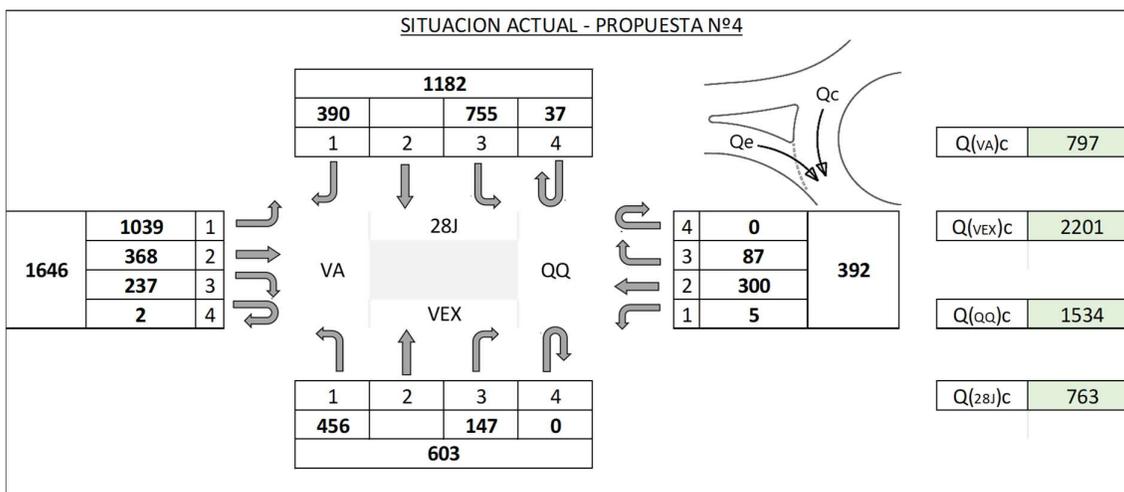


Figura 109 Flujos circulares para propuesta N°4 – situación actual

Fuente: Propia

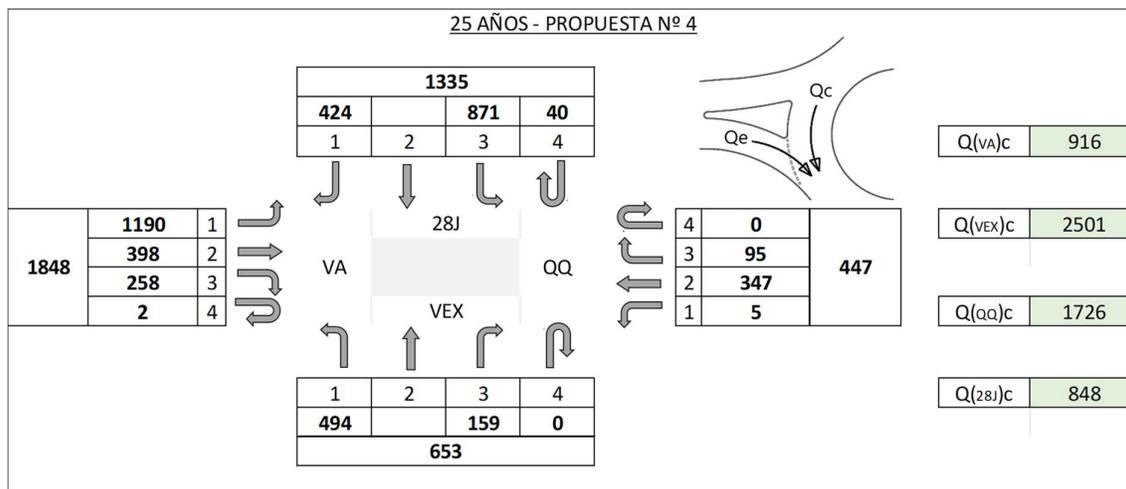


Figura 110 Flujos circulantes para propuesta N°4 – proyección futura

Fuente: Propia

### 3.6.9 Representación de características geométricas y parámetros en una rotonda

A continuación, se presentan dos figuras para una fácil comprensión de los análisis que se presentan posteriormente. La figura 111 representa las características geométricas más importantes para el diseño de una rotonda.

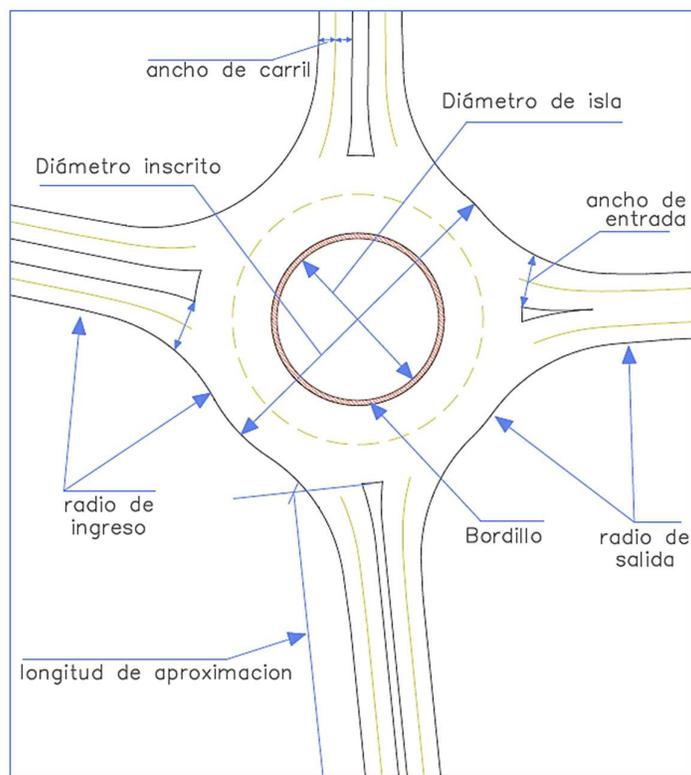


Figura 111 Características geométricas de una rotonda

Fuente: Propia

En la figura 112 se muestran los parámetros que se emplean para el cálculo de capacidad por aproximación mediante el modelo del UK TRL, estos parámetros se especifican en el marco teórico.

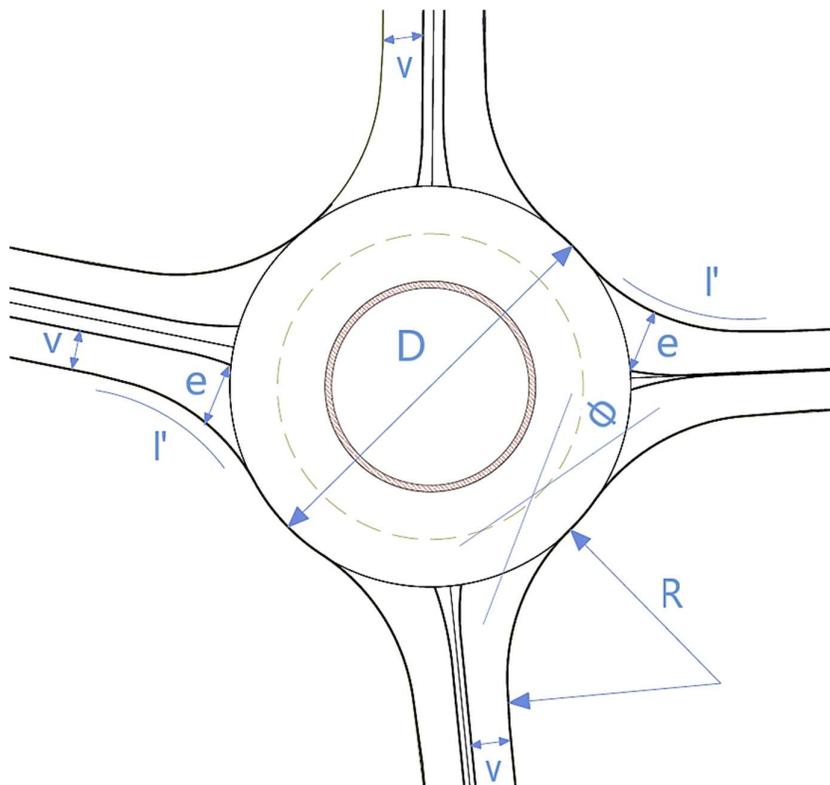


Figura 112 Parámetros para el modelo UK TRL

Fuente: Propia

### 3.6.10 Modelación de las propuestas de rediseño – Junctions 9

La metodología de esta investigación contempla la evaluación de las rotondas para lo cual se debe realizar una construcción de estas propuestas. La información recolectada en la zona de estudio nos permite tener datos base para la microsimulación en el software Junctions 9. De esta manera presenta continuación los pasos más importantes para la construcción de los modelos de simulación de la situación actual y de las propuestas presentadas.

- Definir intersección

Como primer paso se escoge el tipo de intersección, que en nuestro caso es rotondas además del número de aproximaciones, en este primer paso también se define el tipo de control presente pudiendo ser por prioridad o semafórica, y la cantidad de periodos de máxima demanda que en nuestro caso solo es uno, además de elegir las unidades con las que se simulara.

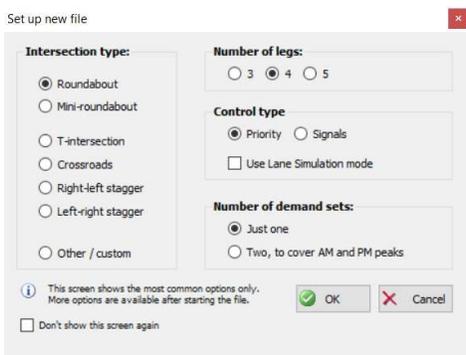


Figura 113 Definir intersección Junctions 9

Fuente: Propia

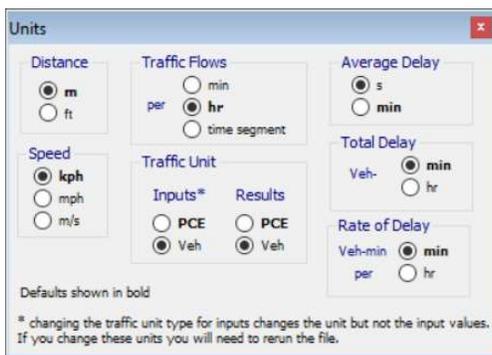


Figura 114 Definir unidades Junctions 9

Fuente: Propia

- Plano de fondo

Como segundo paso se realiza la construcción del diseño geométrico de las propuestas de rediseño la cual se hace sobre un fondo escalado donde se modela las aproximaciones por vías, así como los movimientos realizados por aproximación, finalmente en este paso se hace un reajuste de los parámetros del cálculo de capacidad (anexos). Los modelos finales en el Junctions 9 para la situación actual y las propuestas se encuentran en los anexos.

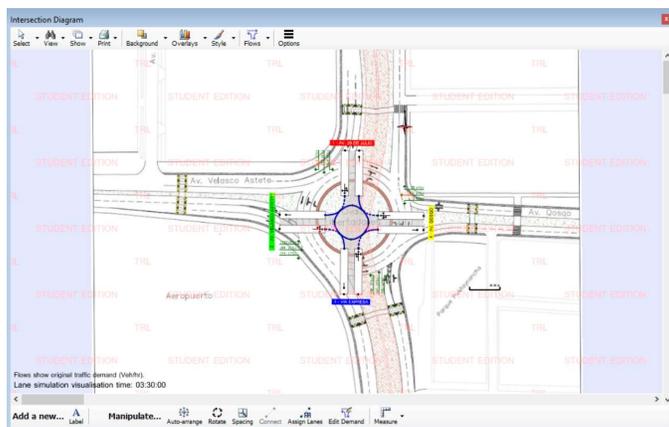


Figura 115 Plano de fondo Junctions 9

Fuente: Propia

- Definir características geométricas

Como tercer paso se definen la intersección y las aproximaciones, en este último se asignan los carriles, posterior a ello se insertan las características geométricas para el cálculo de capacidad,

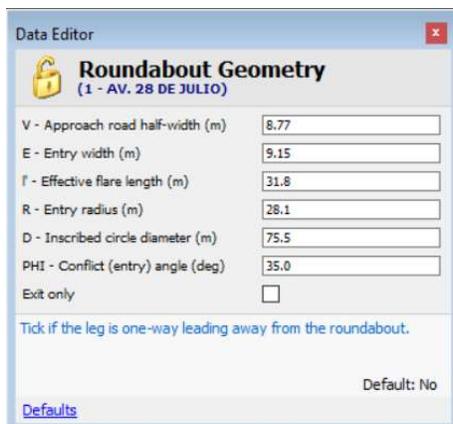


Figura 116 Características geométricas Junctions 9

Fuente: Propia

- Datos de entrada

El cuarto paso consiste en introducir los datos de origen y destino de flujos vehiculares por aproximación en unidades de vehículos por hora seguido a esto se introducen los porcentajes de los vehículos pesados de igual forma, después de haber realizado de manera correcta todos los pasos anteriores se puede dar inicio al quinto paso que es iniciar la simulación para posteriormente obtener los resultados.

The screenshot shows a window titled 'Origin-Destination Data - Whole Period - 1 - PROPUESTA1'. It has tabs for 'Demand (Veh/hr)', 'Calculations', and 'Options'. The 'Demand (Veh/hr)' tab is active, showing a table with the following data:

From \ To	1 - AV. 28 DE JULIO	2 - AV. VELASCO ASTETE	3 - VÍA EXPRESA	4 - AV. QOSQO	Total
1 - AV. 28 DE JULIO	37	0	556	390	983
2 - AV. VELASCO ASTETE	1039	2	237	368	1646
3 - VÍA EXPRESA	596	456	0	147	1199
4 - AV. QOSQO	87	300	5	0	392
Total	1759	758	798	905	-

Figura 117 Origen destino Junctions 9

Fuente: Propia



### 3.6.11 Situación actual – Intersección “Óvalo Libertadores”

El diseño geométrico de la situación actual no presenta características propias de un ovalo, las características geométricas determinadas de la intersección se pueden apreciar desde la tabla 38 a la tabla 48, además los ciclos semafóricos se muestran en la tabla 49 hasta la tabla 52 la. En la tabla 68 se muestra las características más importantes de la situación actual, y en la figura 118 se puede observar la situación actual de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”. La descripción a nivel operacional se desarrollará en las siguientes páginas.

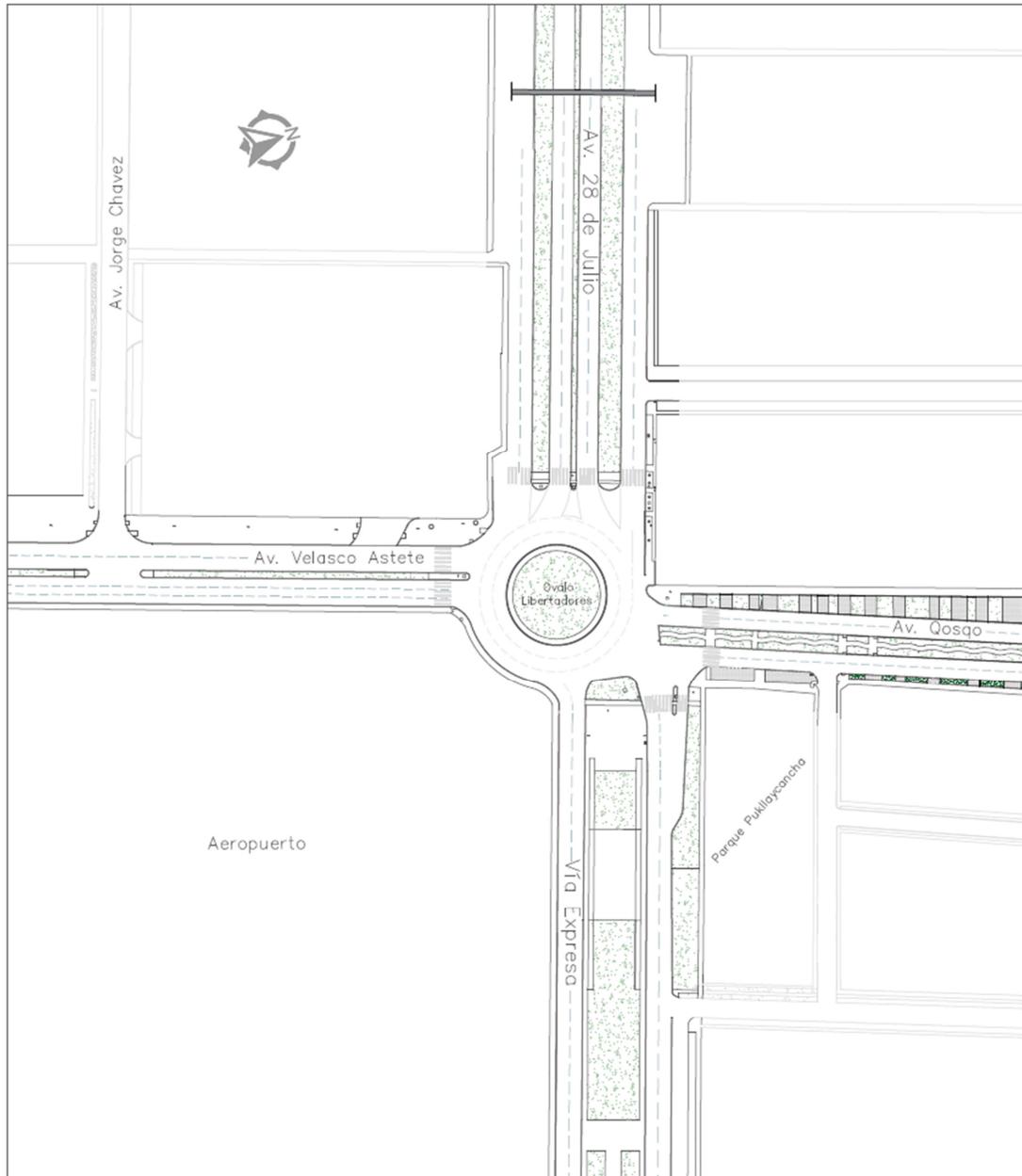


Figura 118 Situación actual

Fuente: Propia



Tabla 68 Características de diseño geométrico – Situación actual

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros		55.14		
Díametro de la isla central	metros		31.07		
Ancho de bordillo	metros		-		
Radio de entrada	metros	39.40	9.30	11.30	62.00
Radio de salida	metros	28.98	13.25	15.00	11.72
Longitud de aproximacion	metros	300.00	290.00	250.00	350.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 69 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades de las distintas zonas y movimientos de la rotonda.

Tabla 69 Radios de camino rápido – Situación actual

Aproximación	R1	R2	R3	R4	R5
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Av. 28 de Julio	44.00	22.00	55.00	39.00	45.00
Av. Velasco Astete	48.00	28.00	80.00	39.00	40.00
Av. Qosqo	45.00	26.00	44.00	39.00	20.00
Vía Expresa	88.00	21.00	80.00	39.00	52.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 70 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la intersección, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.

Tabla 70 Distancias de visibilidad – Situación actual

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	37.72	30.41	39.40	31.17	53.77	20.45	38.15	32.52
Distancia visual a la caldaza de circulacion	26.86	56.25	30.18	56.25	26.27	53.25	29.11	56.85
Distancia visual al paso de peatones en la salida	42.21	28.95	51.17	48.87	51.17	23.45	37.72	39.98
Distancia al flujo entrante	48.50	46.24	48.10	37.84	49.66	64.54	62.04	24.15
Distancia al flujo circulante	46.01	45.82	46.01	40.25	46.01	53.25	46.01	55.24

Fuente: Propia

- **Capacidad**

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores”, en la tabla 71 se muestran estos parámetros.

Tabla 71 Parámetros para el modelo TRL- situación actual

Aproximacion	Parametros					
	e	v	L'	D	$\phi$	r
	m	m	m	m	°	m
Av. 28 de Julio - Auxiliar	8.00	7.50	13.28	55.14	60	11.69
Av. 28 de Julio - Principal	6.50	6.50	13.28	55.14	32	28.71
Av Velasco Astete	9.32	8.00	8.56	55.14	34	8.19
Via Expresa	8.88	8.00	30.70	55.14	37	62.00
Av. Qosqo	6.00	6.00	11.62	55.14	66	7.55

Fuente: Propia

En la tabla 72 se muestran el flujo circulante ( $Q_c$ ) y la capacidad de entrada calculada a la rotonda ( $Q_e$ ).

Tabla 72 Calculo de capacidad – situación actual

Aproximacion	Situacion Actual									
	Parametros						F	Fc	Qc	Qe
	e	v	L'	D	$\phi$	r				
m	m	m	m	°	m	Veh/h	-	Veh/h	Veh/h	
Av. 28 de Julio - Auxiliar	8.00	7.50	13.28	55.14	60	11.69	2407.71	0.71	1550	1123
Av. 28 de Julio - Principal	6.50	6.50	13.28	55.14	32	28.71	1969.50	0.63	763	1499
Av Velasco Astete	9.32	8.00	8.56	55.14	34	8.19	2691.81	0.76	1353	1519
Via Expresa	8.88	8.00	30.70	55.14	37	62.00	2668.24	0.76	2201	1006
Av. Qosqo	6.00	6.00	11.62	55.14	66	7.55	1818.00	0.61	2130	420

Fuente: Propia

En la figura 119 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la intersección por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 5566 veh/hora.

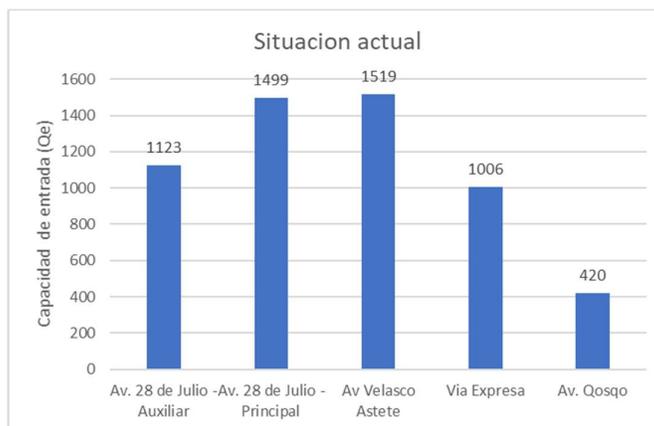


Figura 119 Capacidad por aproximación – situación actual

Fuente: Propia

En la figura 159 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones incluido el carril auxiliar de ingreso de la Av. 28 de Julio, la aproximación con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes es la Vía Expresa.

- **Vehículo de diseño**

En la figura 120 se puede apreciar que el vehículo de diseño T3S3 al realizar su recorrido desde la Av. 28 de Julio hacia la Vía Expresa ocupa gran parte de la calzada circulatoria ocasionando que la circulación de vehículos se vea afectada, en la zona de ingreso este vehículo ocupa los dos carriles de igual manera sucede en la zona de salida.

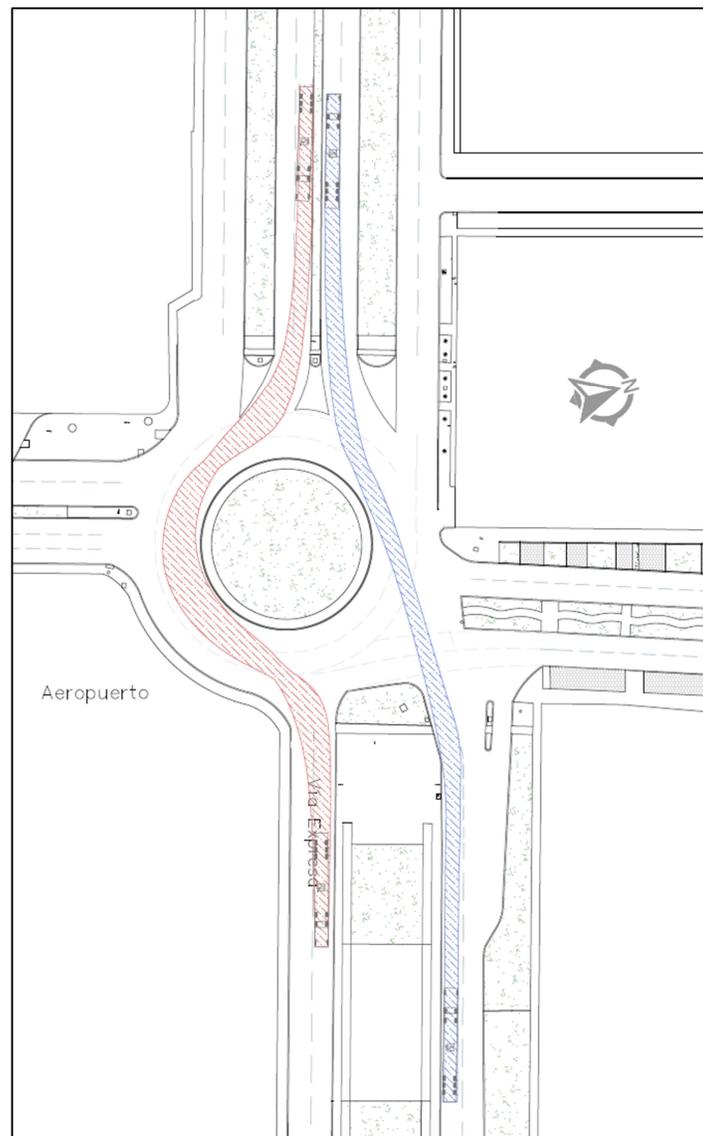


Figura 120 Área de barrido en la Av. 28 de Julio – Situación actual

Fuente: Propia

Además, en la figura 121 también se puede apreciar que el vehículo de diseño T3S3 al realizar su recorrido desde la Av. Velasco Astete hacia la Av. 28 de Julio ocupa gran parte de la calzada circulatoria ocasionando que la circulación de vehículos se vea afectada, en la zona de ingreso este vehículo ocupa los dos carriles de los tres existentes de igual manera sucede en la zona de salida.

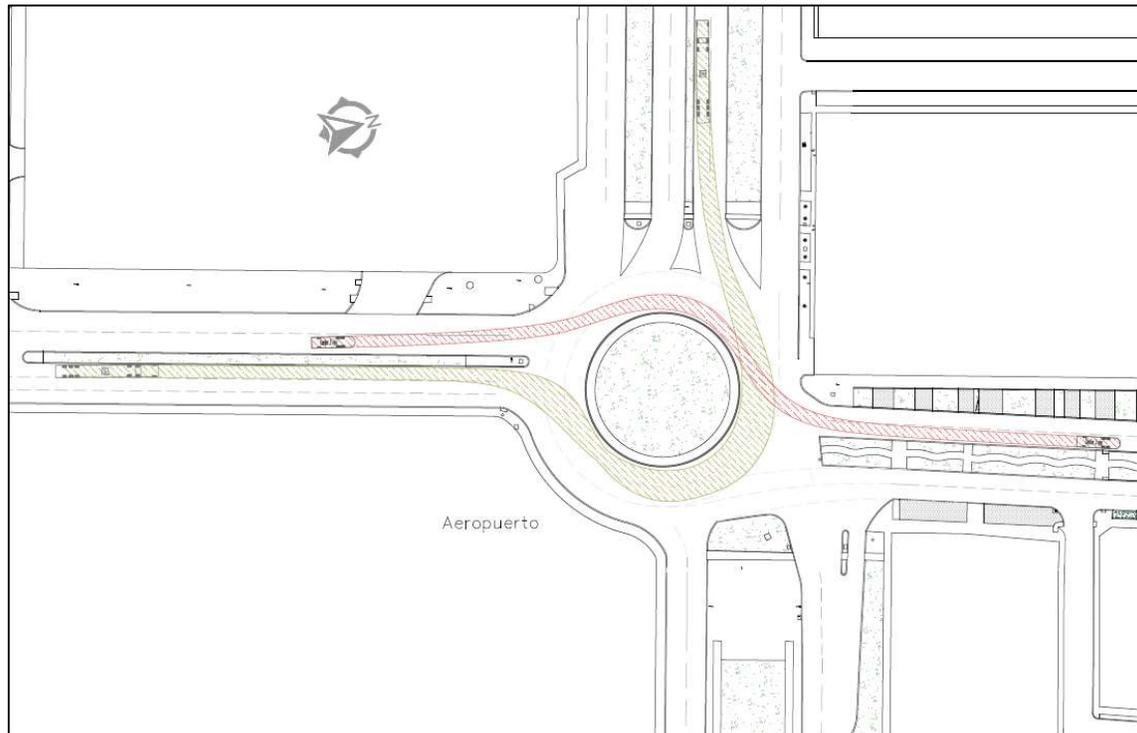


Figura 121 Área de barrido en la Av. Velasco Astete – Situación actual

Fuente: Propia

Por lo tanto, se puede observar en las figuras 119 y 120 que en la situación actual de la intersección a nivel denominada “Ovalito Libertadores” los ingresos de las aproximaciones y la calzada de circulación no están diseñadas para el vehículo de diseño T3S3.

- **Longitudes de cola**

En tabla 73 se muestra las longitudes de colas en la hora de máxima demanda de la situación actual, las cuales se determinaron a partir de las tablas 22 a la tabla 25.



Tabla 73 Longitudes de cola – situación actual

Nº	Av. 28 de Julio (m)	Av. Velasco Astete (m)	Av. Qosqo (m)	Vía Expresa (m)
1	120	40	50	50
2	120	40	80	50
3	100	50	100	40
4	120	45	80	55
5	100	75	110	70
6	80	55	100	80
7	140	60	90	90
8	120	75	110	65
9	160	100	50	90
10	80	40	80	35
11	80	50	140	45
12	120	70	120	50
13	160	115	90	60
14	120	100	40	40
15	140	120	60	60
16	140	150	80	75
17	120	300	100	90
18	140	70	140	120
19	100	85	130	110
20	50	95	100	90
21	120	110	90	100
22	50	130	80	130
23	80	290	110	100
24	120	220	120	120
25	110	150	100	140
26	100	105	40	145
27	30	110	100	150
28	80	135	90	130
29	70	150	110	220
30	80	150	80	150
31	90	140	60	110
32	70	120	90	180
33	100	280	100	115
34	30	230	140	120
35	140	220	120	300
36	160	280	90	250
Mínimo	30	40	40	35
Máximo	160	300	140	300

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

En la siguiente tabla 74 se muestra el nivel de servicio por aproximación y el nivel de servicio para toda la intersección. Se puede apreciar que el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “F”.

Tabla 74 Niveles de servicio – Situación Actual

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	92.11	F	133.12	F
2- AV. VELASCO ASTETE	192.02	F		
3- VÍA EXPRESA	92.55	F		
4- AV. QOSQO	172.20	F		

Fuente: Propia



### 3.6.12 Propuesta N°1 – Rotonda convencional de tres carriles

La primera propuesta consiste en el diseño geométrico de una rotonda convencional en base a criterios de control de velocidad y seguridad; a continuación, se procederá a describir la primera propuesta para la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores” las características geométricas se presentan en la tabla 75, además, en la figura 122 se puede observar la propuesta N°1; las características operacionales se detallan en las siguientes páginas.

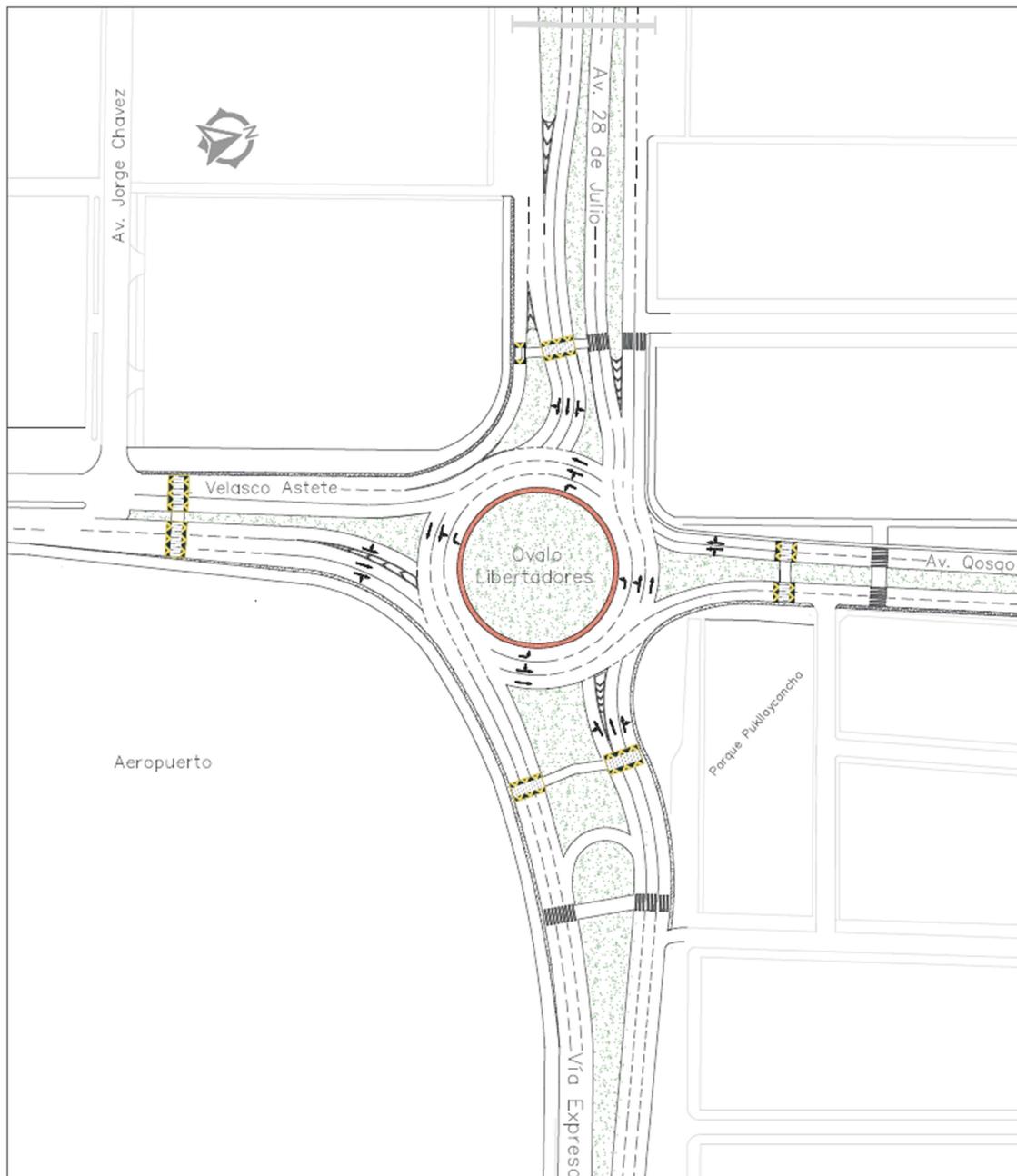


Figura 122 Propuesta N°1

Fuente: Propia



Tabla 75 Características de diseño geométrico – Propuesta N°1

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros		75.08		
Díametro de la isla central	metros		50.00		
Ancho de bordillo	metros		1.50		
Ancho de calzada circulatoria	metros		12.60		
Ancho de entrada	metros	11.70	12.60	6.70	12.00
Numero de carriles	unidad	2.00	2.00	2.00	3.00
Ancho de carriles	metros	3.25	4.52	3.00	3.50
Pendiente	%	1.30	1.30	0.80	2.20
Radio de entrada	metros	18.08	60.26	14.56	37.44
Radio de salida	metros	41.74	221.67	18.83	55.14
Longitud de aproximacion	metros	185.00	270.00	125.00	350.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 76 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades en las distintas zonas y movimientos dentro de la rotonda.

Tabla 76 Radios de camino rápido – Propuesta N°1

Aproximación	R1	R2	R3	R4	R5
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Av. 28 de Julio	60.00	32.00	210.00	45.00	40.00
Av. Velasco Astete	150.00	40.00	126.00	32.00	40.00
Av. Qosqo	95.00	38.00	98.00	39.00	42.00
Vía Expresa	106.00	67.00	130.00	32.00	62.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 77 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la propuesta N°1, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.



Tabla 77 Distancias de visibilidad – Propuesta N°1

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	44.12	40.54	71.40	68.12	59.30	52.42	55.97	50.26
Distancia visual a la caldaza de circulacion	32.21	32.51	35.97	32.51	46.69	51.88	35.06	32.11
Distancia visual al paso de peatones en la salida	85.80	88.17	65.01	67.45	66.10	64.56	56.89	55.83
Distancia al flujo entrante	63.81	59.18	53.90	60.89	75.47	74.16	66.43	62.26
Distancia al flujo circulante	42.79	56.02	42.79	53.24	46.44	57.87	56.13	58.55

Fuente: Propia

- **Capacidad**

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la propuesta N°1 de una rotonda convencional de tres carriles, en la tabla 78 se muestran estos parámetros.

Tabla 78 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°1

Aproximacion	Parametros					
	e	v	L'	D	φ	r
	m	m	m	m	°	m
Av. 28 de Julio	11.70	10.46	26.33	75.50	27	18.08
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26
Via Expresa	14.90	11.70	26.50	75.50	38	37.44
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56

Fuente: Propia

En la tabla 79 se presenta el cálculo mediante el modelo del TRL de la capacidad por aproximación donde se muestra la capacidad de entrada a la rotonda (Qe).

Tabla 79 Calculo de capacidad – Propuesta N° 1

Capacidad de la interseccion a nivel Ovalo Libertadores										
Propuesta N1 - Situacion Actual										
Aproximacion	Parametros						F	Fc	Qc	Qe
	e	v	L'	D	φ	r				
	m	m	m	m	°	m				
Av. 28 de Julio	11.70	10.46	26.33	75.50	27	18.08	3495.89	0.76	763	2935
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26	4245.78	0.87	1353	3150
Via Expresa	14.90	11.70	26.50	75.50	38	37.44	4244.46	0.87	2201	2322
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56	1903.39	0.52	2130	755

Fuente: Propia

En la figura 123 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 9161 veh/hora.

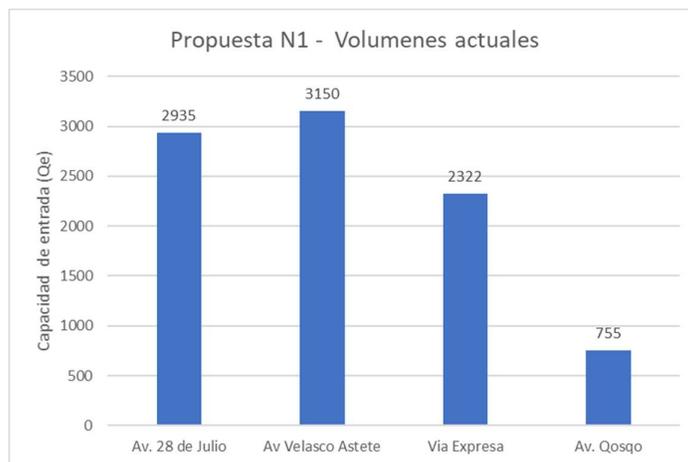


Figura 123 Capacidad por aproximación – Propuesta N°1

Fuente: Propia

En la figura 160 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones, la aproximación con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes es la Av. Velasco Astete, seguida de la Vía Expresa que también presenta capacidades entrantes similares ante flujos circulantes.

- **Vehículo de diseño**

En la figura 124 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 en las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía expresa, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones en la Vía Expresa.

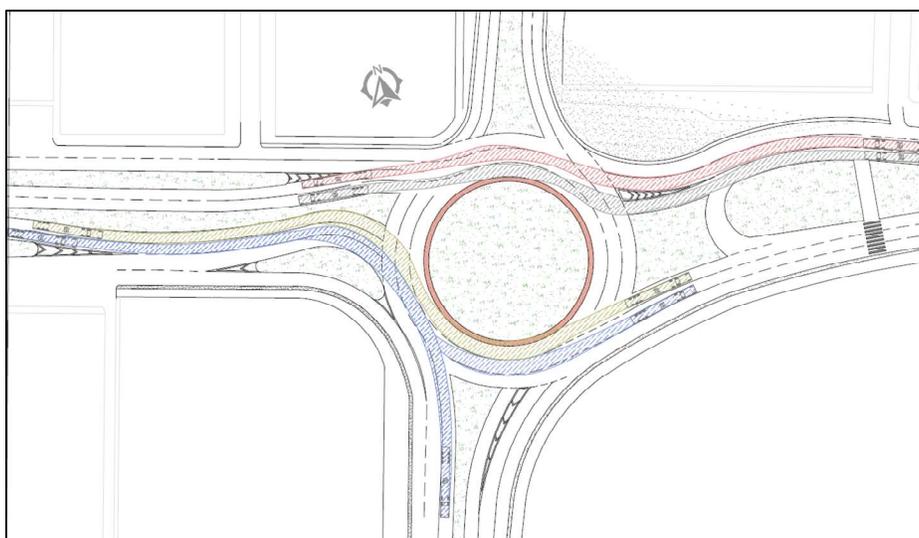


Figura 124 Área de barrido 1 – Propuesta N°1

Fuente: Propia

Además, en la figura 125 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 y camión de 3 ejes en las aproximaciones Av. Qosqo y Av. Velasco Astete respectivamente, dos vehículos T3S3 pueden realizar un movimiento de mayor recorrido en la rotonda sin ocupar el área de los tres carriles en la calzada de circulación, además se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones en la Av. Velasco.

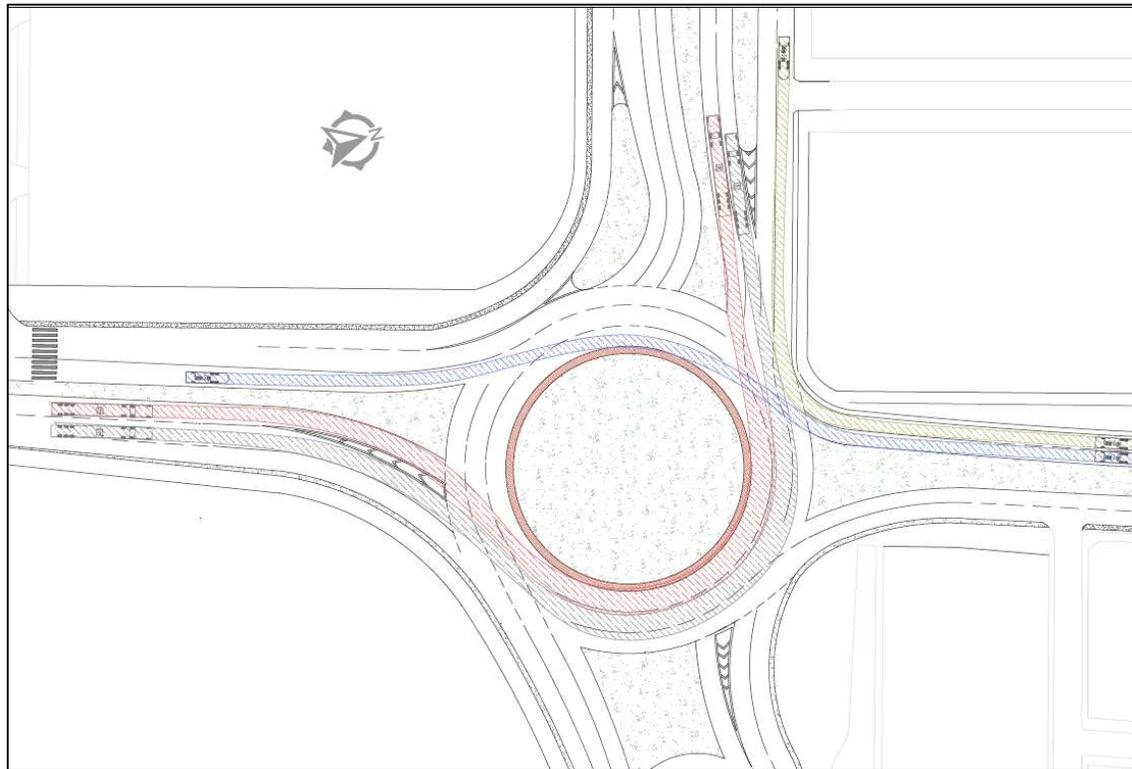


Figura 125 Área de barrido 2 – Propuesta N°1

Fuente: Propia

- **Longitudes de cola**

Durante la hora de máxima demanda se obtuvieron longitudes de colas que sirven como datos de entrada para determinar las longitudes de cola mediante la simulación en el software Junctions 9 Student Version ante los volúmenes actuales y con el tránsito futuro. En tabla 80 se muestra las longitudes de colas en periodos de quince minutos en una hora según la simulación, se muestran los resultados en unidad de vehículos y metros además de la longitud máxima para la propuesta N°1.



Tabla 80 Longitudes de cola – Propuesta N°1

Propuesta N1				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	9	52	52
	4:15 4:30	8	46	
	4:30 4:45	9	52	
	4:45 5:00	7	40	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	10	58	69
	4:15 4:30	12	69	
	4:30 4:45	10	58	
	4:45 5:00	8	46	
Via Expresa	4:00 4:15	10	58	63
	4:15 4:30	11	63	
	4:30 4:45	7	40	
	4:45 5:00	10	58	
Av. Qosqo	4:00 4:15	10	58	58
	4:15 4:30	9	52	
	4:30 4:45	8	46	
	4:45 5:00	7	40	

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

Los niveles de servicio se determinaron por cada aproximación y para toda la intersección mediante el software Junctions 9 Student Version. En la siguiente tabla 81 se muestran las demoras, el nivel de servicio por aproximación y para toda la intersección. Se puede apreciar que la mayor demora es de 48.16 segundos en la Av. Velasco Astete teniendo un nivel de servicio “E”, el nivel de servicio de toda la intersección de la propuesta N°1 es “D” evaluados con los volúmenes actuales.

Tabla 81 Niveles de servicio – Propuesta N°1 – Volúmenes actuales

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	23.52	C	34.96	D
2- AV. VELASCO ASTETE	48.16	E		
3- VÍA EXPRESA	32.84	D		
4- AV. QOSQO	33.01	D		

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra la superposición de la propuesta N°1 de color verde sobre el plano de la situación actual de color rojo, se puede proporción de tamaño entre la situación actual y la propuesta presentada donde se emplean áreas adicionales y aproximaciones donde se optimiza el diseño geométrico en el ingreso, circulación y salida. Se aprecia que en la aproximación 28 de julio se realizaron cambios en el ingreso y salida hacia la rotonda, la vía



auxiliar del carril de ingreso genera un giro exclusivo hacia la av. Velasco Astete, en la aproximación av. Velasco Astete se genera un carril adicional de ingreso hacia la rotonda, en el caso de la Vía Expresa se optimiza el ingreso hacia la rotonda y finalmente en la Av. Qosqo el ingreso y la salida presentan mejores accesos y salidas.

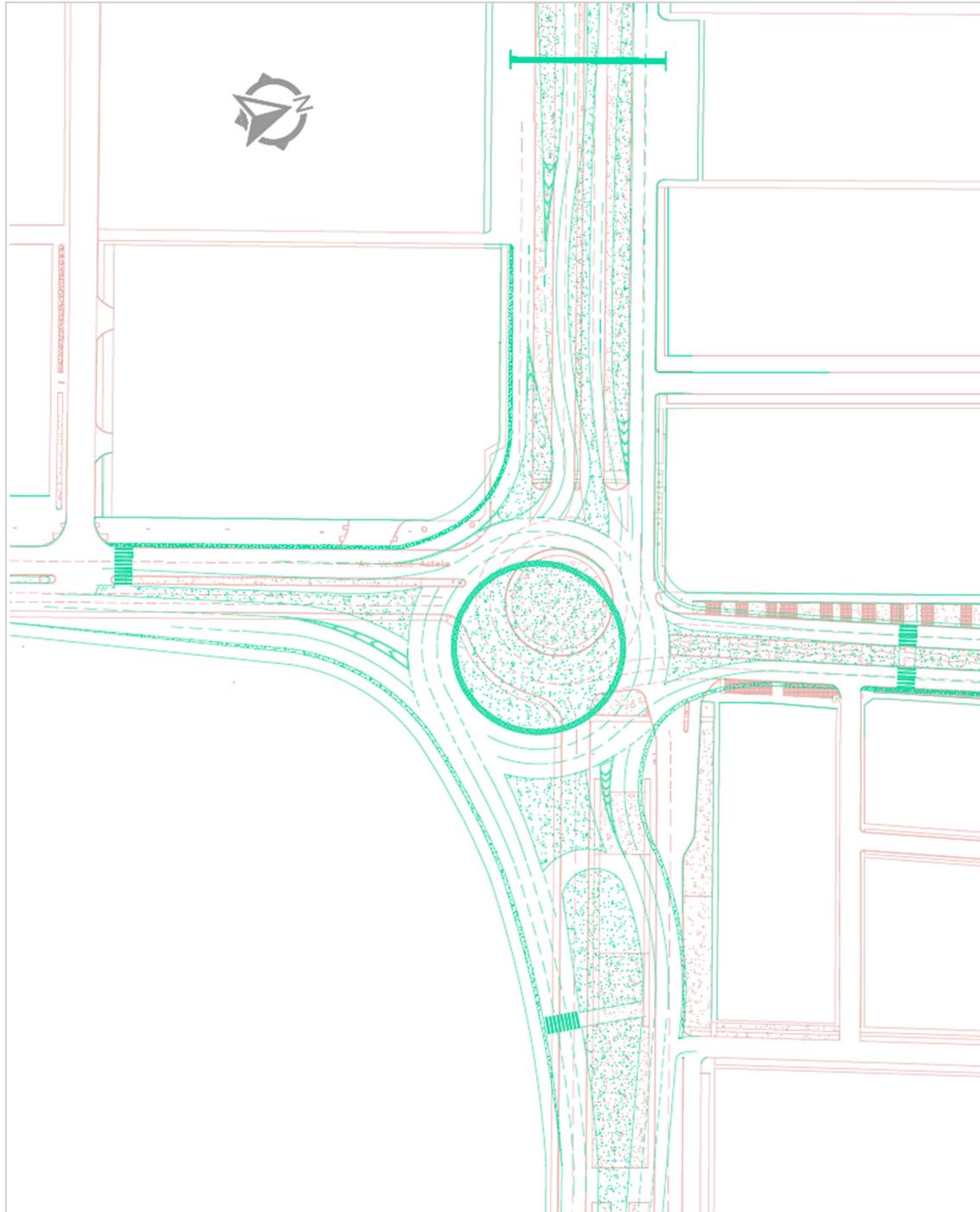


Figura 126 Superposición de la propuesta N°1

Fuente: Propia

- **Funcionamiento operacional propuesta N°1- proyección a 25 años**

La propuesta N°1 fue evaluada con los volúmenes vehiculares proyectados a 5 años, de esta manera se tiene el comportamiento operacional que se presenta a continuación; en la figura 127 se muestra la capacidad por aproximación para la propuesta N°1 para la proyección futura, teniendo una capacidad total de intersección de 8439 veh/hora.

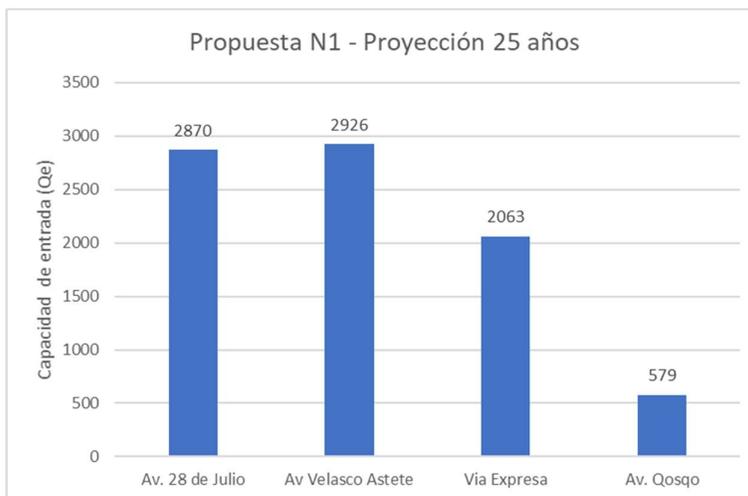


Figura 127 Capacidad por aproximación – Propuesta N°1 (25 años)

Fuente: Propia

La tabla 82 muestra los niveles de servicio por aproximación de la propuesta N° 1 obtenidos mediante la simulación con el software Junctions 9 Student Version para la proyección de 25 años, la aproximación con mayor demora es la Av. Velasco Astete con 58.25 seg, además el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “E” con una demora de intersección de 47.33 seg.

Tabla 82 Niveles de servicio – Propuesta N°1 – proyección futura

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
	[Lane Simulation] - 2019			
1- AV. 28 DE JULIO	34.68	D	47.33	E
2- AV. VELASCO ASTETE	58.25	F		
3- VÍA EXPRESA	43.97	E		
4- AV. QOSQO	46.02	E		

Fuente: Propia

Las longitudes de colas determinadas en la proyección a 25 años para la propuesta N°1 se muestran en la tabla 83, estas longitudes fueron obtenidas mediante la evaluación con el módulo Arcady con los volúmenes proyectados.



Tabla 83 Longitudes de cola – Propuesta N°1 – proyección futura

Propuesta N1				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	10	58	69
	4:15 4:30	12	69	
	4:30 4:45	9	52	
	4:45 5:00	11	63	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	14	81	115
	4:15 4:30	20	115	
	4:30 4:45	13	75	
	4:45 5:00	16	92	
Via Expresa	4:00 4:15	15	86	86
	4:15 4:30	13	75	
	4:30 4:45	12	69	
	4:45 5:00	10	58	
Av. Qosqo	4:00 4:15	14	81	92
	4:15 4:30	16	92	
	4:30 4:45	15	86	
	4:45 5:00	13	75	

Fuente: Propia



### 3.6.13 Propuesta N°2 – Turborotonda de tres carriles

La propuesta N°2 presenta características de una turborotonda de dos ejes entre las Av. 28 de Julio y la Vía Expresa, se procederá a describir la segunda propuesta para la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores” las características geométricas se presentan en la tabla 84, además, en la figura 128 se puede observar la propuesta N°2, además en las siguientes paginas se muestra la evaluación operacional ante los volúmenes vehiculares actuales y futuros.



Figura 128 Propuesta N°2

Fuente: Propia



Tabla 84 Características de diseño geométrico – Propuesta N°2

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros			90.00	
Díametro de la isla central	metros			67.50	
Ancho de bordillo	metros			1.50	
Ancho de calzada circulatoria	metros			12.00	
Ancho de entrada	metros	12.00	12.00	7.20	12.00
Numero de carriles	unidad	2.00	3.00	2.00	3.00
Ancho de carriles	metros	3.75	3.60	3.00	3.50
Pendiente	%	1.30	1.30	0.80	2.20
Radio de entrada	metros	21.21	43.93	22.18	37.91
Radio de salida	metros	35.25	122.58	69.09	23.79
Longitud de aproximacion	metros	185.00	270.00	125.00	350.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 85 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades en las distintas zonas y movimientos en la intersección.

Tabla 85 Radios de camino rápido – Propuesta N°2

Aproximación	R1	R2	R3	R4	R5
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Av. 28 de Julio	74.00	40.00	122.00	38.00	50.00
Av. Velasco Astete	70.00	45.00	90.00	35.00	45.00
Av. Qosqo	75.00	40.00	147.00	35.00	50.00
Vía Expresa	87.00	40.00	95.00	38.00	160.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 86 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la propuesta N°2, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.



Tabla 86 Distancias de visibilidad – Propuesta N°2

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	49.14	44.25	47.75	53.11	53.45	48.45	49.48	51.44
Distancia visual a la caldaza de circulacion	35.97	40.05	38.15	40.05	35.97	35.72	35.97	37.82
Distancia visual al paso de peatones en la salida	63.90	70.10	54.41	55.59	55.97	50.66	70.62	68.03
Distancia al flujo entrante	58.51	61.49	58.22	61.78	77.28	79.22	61.78	63.22
Distancia al flujo circulante	46.44	53.56	46.44	49.66	48.50	55.94	46.44	50.56

Fuente: Propia

- **Capacidad**

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la propuesta N°2 de una turborotonda de tres carriles, en la tabla 87 se muestran estos parámetros.

Tabla 87 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°2

Aproximacion	Parametros						
	e	v	L'	D	φ	r	
	m	m	m	m	°	m	
Av. 28 de Julio	12.00	11.65	30.37	81.83	30	21.38	
Av Velasco Astete	14.76	11.47	21.65	81.83	30	43.93	
Via Expresa	15.26	12.15	18.19	81.83	32	37.91	
Av. Qosqo	7.20	6.90	16.71	81.83	37	22.18	

Fuente: Propia

En la tabla 88 se presenta el cálculo mediante el modelo del TRL de la capacidad por aproximación donde se muestra la capacidad de entrada a la rotonda (Qe).

Tabla 88 Calculo de capacidad – Propuesta N°2

Capacidad de la interseccion a nivel Ovalo Libertadores											
Propuesta N2 - Situacion Actual											
Aproximacion	Parametros							F Veh/h	Fc -	Qc Veh/h	Qe Veh/h
	e	v	L'	D	φ	r					
	m	m	m	m	°	m					
Av. 28 de Julio	12.00	11.65	30.37	81.83	30	21.38	3632.23	0.75	763	3070	
Av Velasco Astete	14.76	11.47	21.65	81.83	30	43.93	4146.12	0.82	1353	3111	
Via Expresa	15.26	12.15	18.19	81.83	32	37.91	4290.54	0.85	2201	2469	
Av. Qosqo	7.20	6.90	16.71	81.83	37	22.18	2176.66	0.54	2130	1011	

Fuente: Propia

En la figura 129 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 9662 veh/hora.

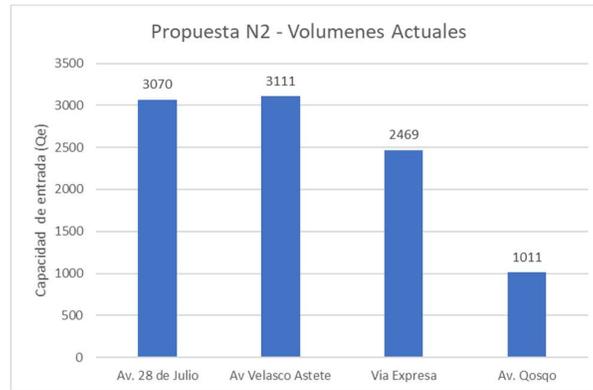


Figura 129 Capacidad por aproximación – Propuesta N°2

Fuente: Propia

En la figura 161 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones, la aproximación con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes es la Av. Velasco Astete, además la aproximación con menores valores de capacidad es la Av. Qosqo.

- **Vehículo de diseño**

En la figura 130 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 en las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía expresa, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, las características de la isla central de la turbo rotonda canaliza a los vehículos de mejor manera, no se presenta superposición de trayectorias, se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones en la Vía Expresa.



Figura 130 Área de barrido 1 – Propuesta N°2

Fuente: Propia



Además, en la figura 131 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 y camión de 3 ejes en las aproximaciones Av. Qosqo y Av. Velasco Astete, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones en la Av. Velasco.

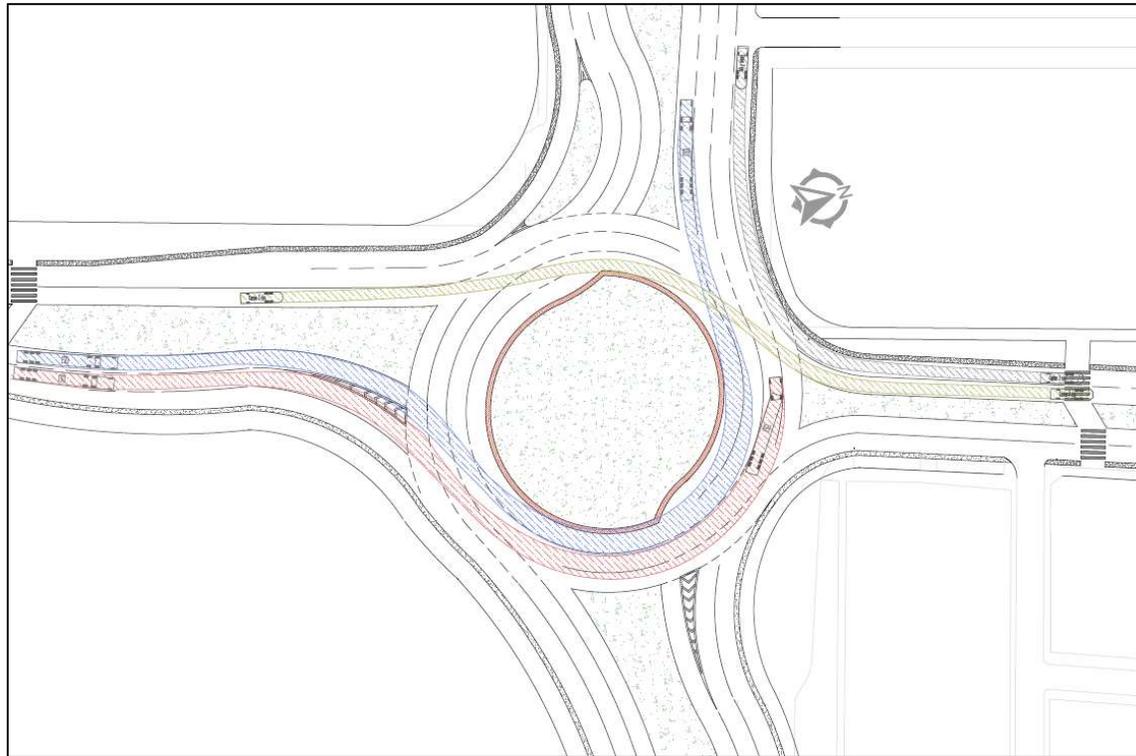


Figura 131 Área de barrido 2 – Propuesta N°2

Fuente: Propia

- **Longitud de cola**

En tabla 89 se muestra las longitudes de colas en la hora de máxima de la propuesta N°2, demanda, las cuales se determinaron mediante la simulación en el software Junctions 9 Student Version y datos de entrada obtenidos en la hora de máxima demanda con los volúmenes actuales.



Tabla 89 Longitudes de cola – situación actual

Aproximación	Propuesta N2			
	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	5	29	40
	4:15 4:30	6	35	
	4:30 4:45	5	29	
	4:45 5:00	7	40	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	7	40	69
	4:15 4:30	12	69	
	4:30 4:45	6	35	
	4:45 5:00	5	29	
Via Expresa	4:00 4:15	8	46	52
	4:15 4:30	9	52	
	4:30 4:45	6	35	
	4:45 5:00	5	29	
Av. Qosqo	4:00 4:15	6	35	58
	4:15 4:30	10	58	
	4:30 4:45	4	23	
	4:45 5:00	2	12	

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

En la siguiente tabla 90 se muestra el nivel de servicio por aproximación y el nivel de servicio para toda la intersección. Se puede apreciar que el nivel de servicio en toda la intersección de la propuesta N°2 es “D”

Tabla 90 Niveles de servicio – Propuesta N°2 – Volúmenes actuales

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	22.75	C	34.08	D
2- AV. VELASCO ASTETE	39.02	E		
3- VÍA EXPRESA	29.28	D		
4- AV. QOSQO	33.54	D		

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra la superposición de la propuesta N°2 de color verde sobre el plano de la situación actual de color rojo, al igual que en la propuesta N°1 se emplean mayores áreas en comparación a la situación actual, además se generan cambios en las aproximaciones debido a la optimización de las características geométricas en base a criterios de control de velocidad y seguridad. En la Av. Velasco Astete se incrementa un carril en la zona de ingreso, de forma similar que en la propuesta N° 1, el ingreso de la av. 28 de Julio se optimiza para mejorar el comportamiento funcional, además de la generación de un giro exclusivo que inicia



desde el carril auxiliar de ingreso, la av. Qosqo y la Vía Expresa el ingreso y salida presentan características propias de rotondas. Debido al diseño de una turborotonda de dos ejes el número de carriles aumenta en una unidad en la zona de la calzada de circulación que conecta las Av. 28 de Julio y Vía Expresa.

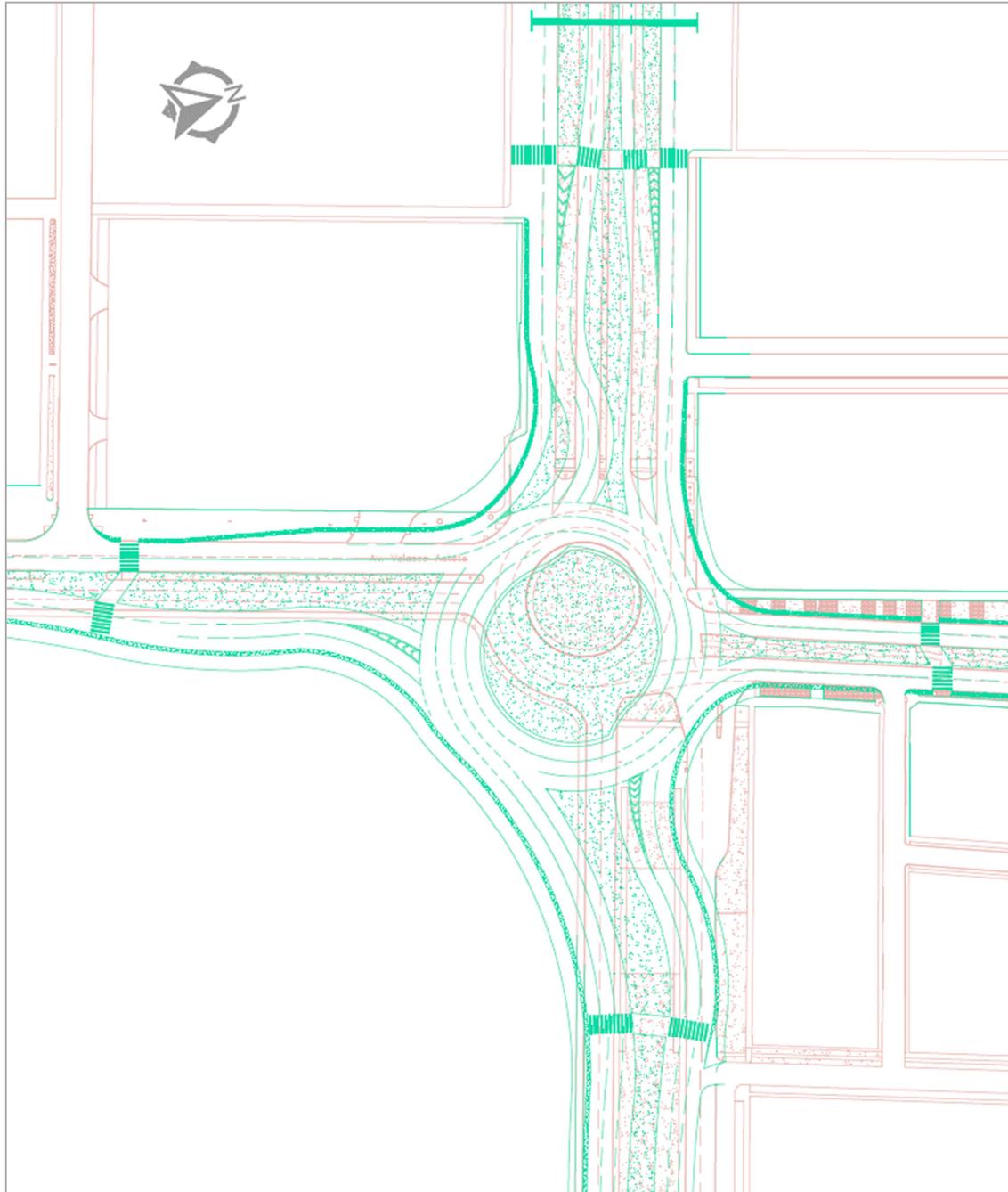


Figura 132 Superposición de la propuesta N°2

Fuente: Propia



- **Funcionamiento operacional propuesta N°2 - proyección a 25 años**

En la figura 133 se muestra la capacidad por aproximación para la propuesta N°2 evaluada con los volúmenes proyectados a 25 años, haciendo una capacidad total de intersección de 8936 veh/hora.

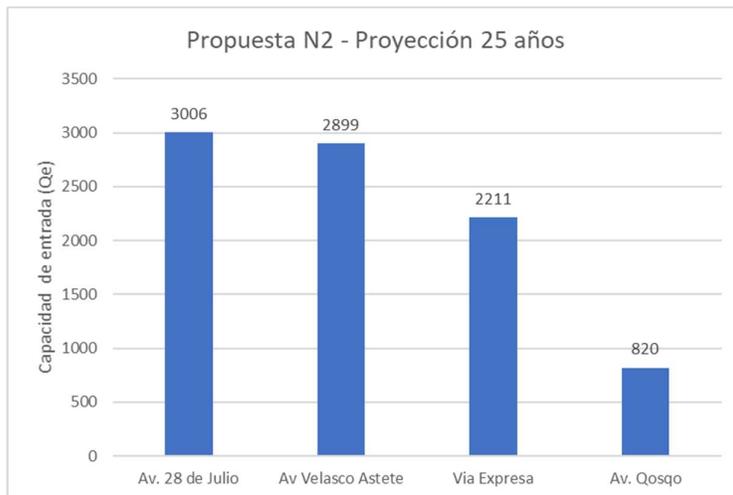


Figura 133 Capacidad por aproximación – Propuesta N°2 (25 años)

Fuente: Propia

La tabla 91 muestra los niveles de servicio por aproximación de la propuesta N° 2 para la proyección de 25 años, se puede apreciar que la Av. 28 de Julio presenta una menor demora de 32.28 seg con un nivel de servicio “D”, además el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “E”.

Tabla 91 Niveles de servicio – Propuesta N°2 – proyección futura

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	32.28	D	44.49	E
2- AV. VELASCO ASTETE	49.14	E		
3- VÍA EXPRESA	42.09	E		
4- AV. QOSQO	45.91	E		

Fuente: Propia

Las longitudes de colas determinadas en la proyección a 25 años para la propuesta N°2 se muestran en la tabla 92 para cada una de las aproximaciones, se muestran resultados en unidades de vehículos y metros además de la longitud máxima.



Tabla 92 Longitudes de cola – Propuesta N°2 – proyección futura

Propuesta N2				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	9	52	69
	4:15 4:30	11	63	
	4:30 4:45	10	58	
	4:45 5:00	12	69	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	13	75	98
	4:15 4:30	14	81	
	4:30 4:45	12	69	
	4:45 5:00	17	98	
Via Expresa	4:00 4:15	17	98	98
	4:15 4:30	16	92	
	4:30 4:45	12	69	
	4:45 5:00	15	86	
Av. Qosqo	4:00 4:15	14	81	81
	4:15 4:30	13	75	
	4:30 4:45	10	58	
	4:45 5:00	11	63	

Fuente: Propia



### 3.6.14 Propuesta N°3 – Rotonda convencional con dos pasos a desnivel

La propuesta de rediseño geométrico N° 3 de la intersección “Ovalo Libertadores” consiste en una rotonda convencional de 3 carriles con la consideración de un pase a desnivel que canaliza el flujo de la Av. Velasco Astete con dirección a la Av. 28 de Julio y otro pase a desnivel entre las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía Expresa; las características geométricas se presentan en la tabla 93, además, en la figura 134 se puede observar la propuesta N°3. El comportamiento funcional de esta propuesta se presenta en las siguientes páginas.

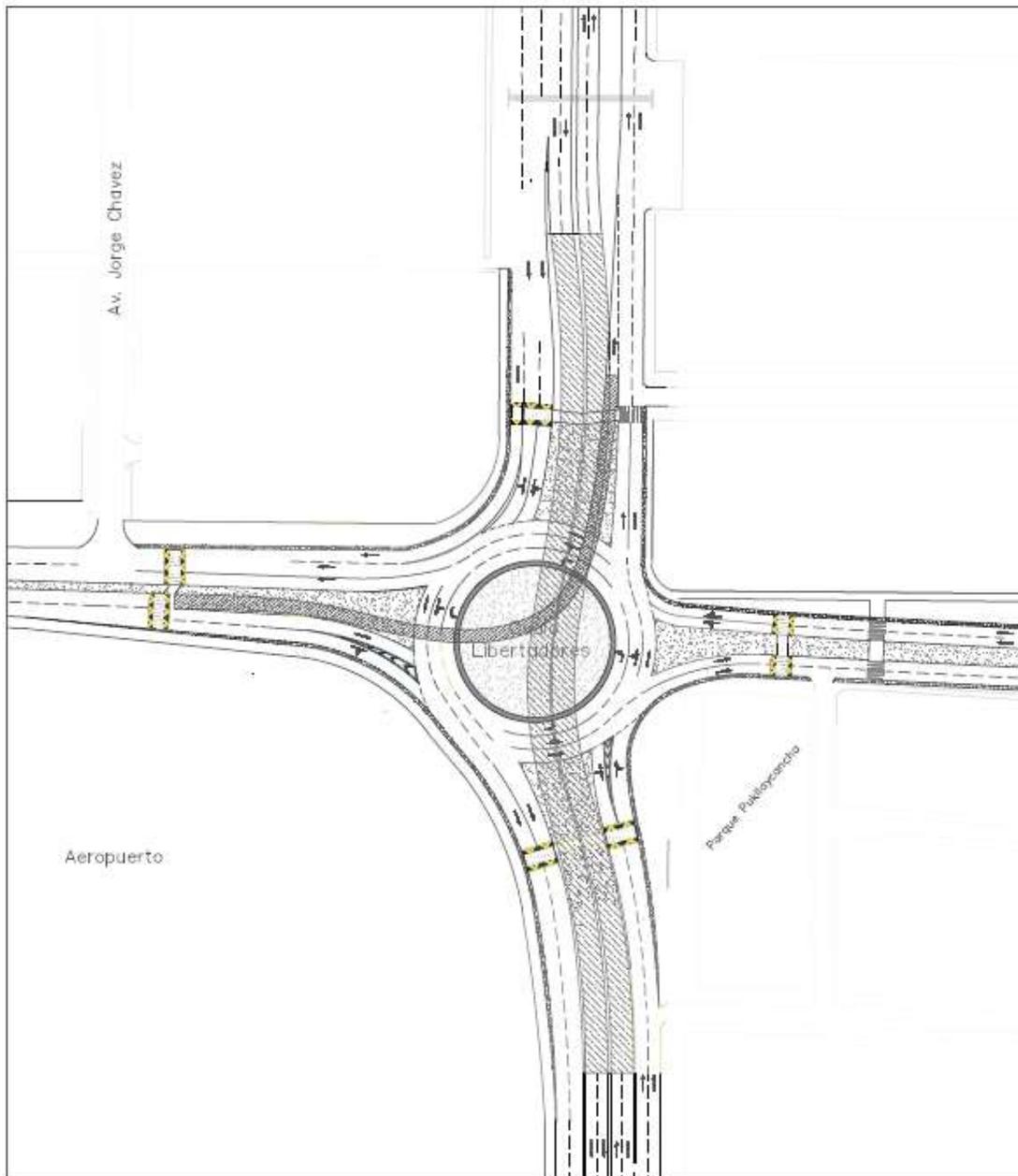


Figura 134 Propuesta N°3

Fuente: Propia



Tabla 93 Características de diseño geométrico – Propuesta N°3

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros		75.50		
Díametro de la isla central	metros		53.00		
Ancho de bordillo	metros		1.50		
Ancho de calzada circulatoria	metros		12.00		
Ancho de entrada	metros	9.15	14.35	6.30	11.10
Numero de carriles	unidad	2.00	3.00	2.00	2.00
Ancho de carriles	metros	3.75	3.70	3.00	4.00
Pendiente	%	1.30	1.30	0.80	2.20
Radio de entrada	metros	28.10	60.26	14.56	24.26
Radio de salida	metros	41.74	93.34	30.30	55.14
Longitud de aproximacion	metros	220.00	270.00	125.00	350.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 94 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades.

Tabla 94 Radios de camino rápido – Propuesta N°3

Aproximación	R1	R2	R3	R4	R5
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Av. 28 de Julio	85.00	30.00	190.00	35.00	40.00
Av. Velasco Astete	100.00	30.00	125.00	32.00	40.00
Av. Qosqo	95.00	35.00	120.00	35.00	45.00
Vía Expresa	84.00	50.00	165.00	30.00	120.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 95 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la propuesta N° 3, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.



Tabla 95 Distancias de visibilidad – Propuesta N°3

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	52.81	55.81	57.50	70.11	52.48	52.32	55.97	60.25
Distancia visual a la caldaza de circulacion	31.21	30.90	31.21	30.90	40.22	40.43	33.67	36.99
Distancia visual al paso de peatones en la salida	81.20	85.23	64.73	66.45	75.18	60.07	63.34	59.42
Distancia al flujo entrante	63.81	60.72	61.26	61.29	69.53	77.94	60.99	56.80
Distancia al flujo circulante	44.22	51.57	44.22	52.24	41.79	56.78	44.22	45.41

Fuente: Propia

- **Capacidad**

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la propuesta N°3 de una rotonda oval de tres carriles, en la tabla 96 se muestran estos parámetros.

Tabla 96 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°3

Aproximacion	Parametros					
	e	v	L'	D	φ	r
	m	m	m	m	°	m
Av. 28 de Julio	9.15	8.77	31.75	75.50	35	28.10
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26
Via Expresa	11.10	9.40	25.15	75.50	37	24.26
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56

Fuente: Propia

En la tabla 97 se presenta el cálculo mediante el modelo del TRL de la capacidad por aproximación donde se muestra la capacidad de entrada a la rotonda (Qe).

Tabla 97 Calculo de capacidad – Propuesta N°3

Capacidad de la interseccion a nivel Ovalo Libertadores										
Propuesta N3 - Situacion Actual										
Aproximacion	Parametros						F	Fc	Qc	Qe
	e	v	L'	D	φ	r				
	m	m	m	m	°	m	Veh/h	-	Veh/h	Veh/h
Av. 28 de Julio	9.15	8.77	31.75	75.50	35	28.10	3069.69	0.90	763	2372
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26	4708.19	1.22	797	3835
Via Expresa	11.10	9.40	25.15	75.50	37	24.26	3628.02	1.01	1162	2416
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56	2110.69	0.72	495	1642

Fuente: Propia

En la figura 135 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 10266 veh/hora.

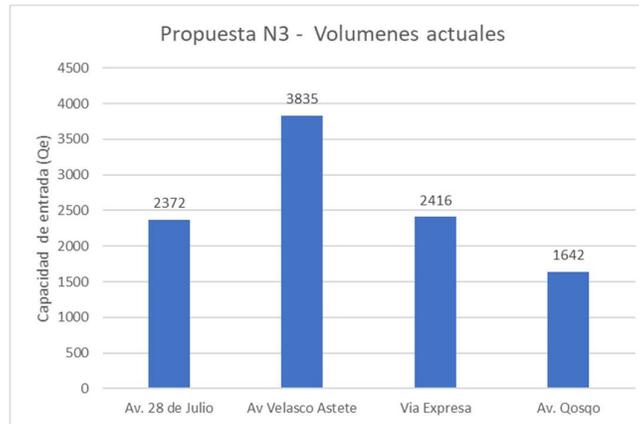


Figura 135 Capacidad por aproximación – Propuesta N°3

Fuente: Propia

En la figura 162 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones, las aproximaciones con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes son las Av. Velasco Astete y la Vía Expresa siendo ligeramente mayor la Vía Expresa, además la aproximación con menores valores de capacidad es la Av. Qosqo.

- **Vehículo de diseño**

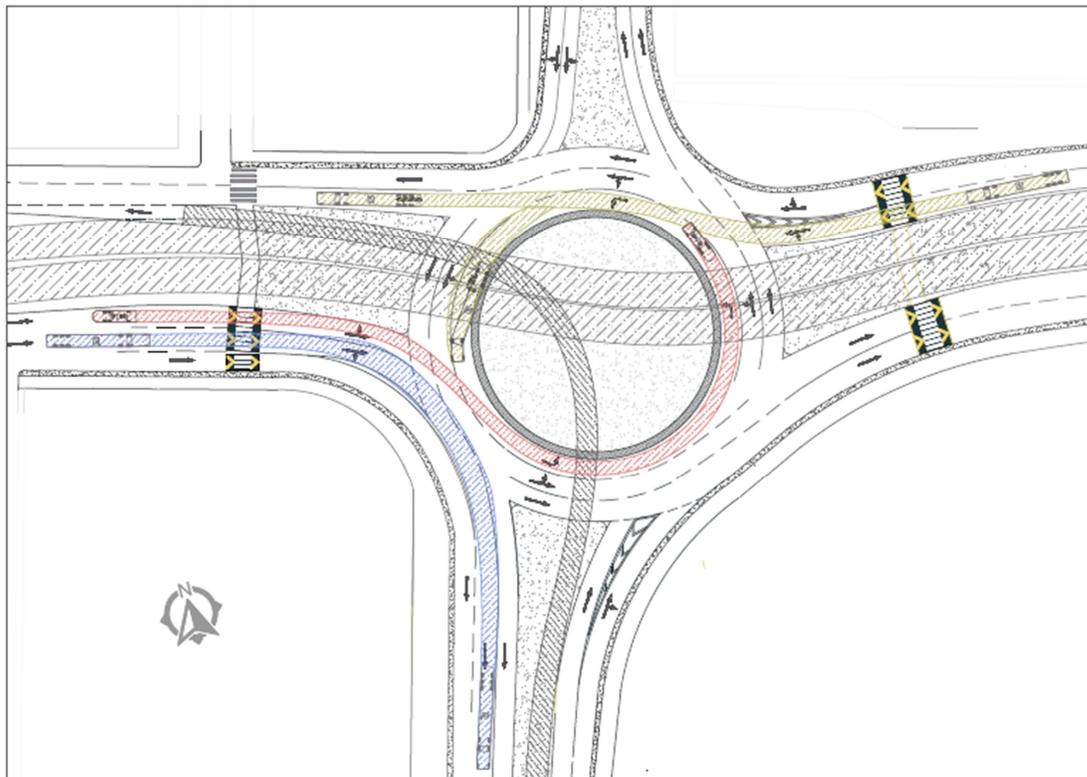


Figura 136 Área de barrido 1 – Propuesta N°3

Fuente: Propia



En la figura 136 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 en las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía expresa, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, en la Vía Expresa se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones.

Además, en la figura 137 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 y camión de 3 ejes en las aproximaciones Av. Qosqo y Av. Velasco Astete, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones en la Av. Velasco.

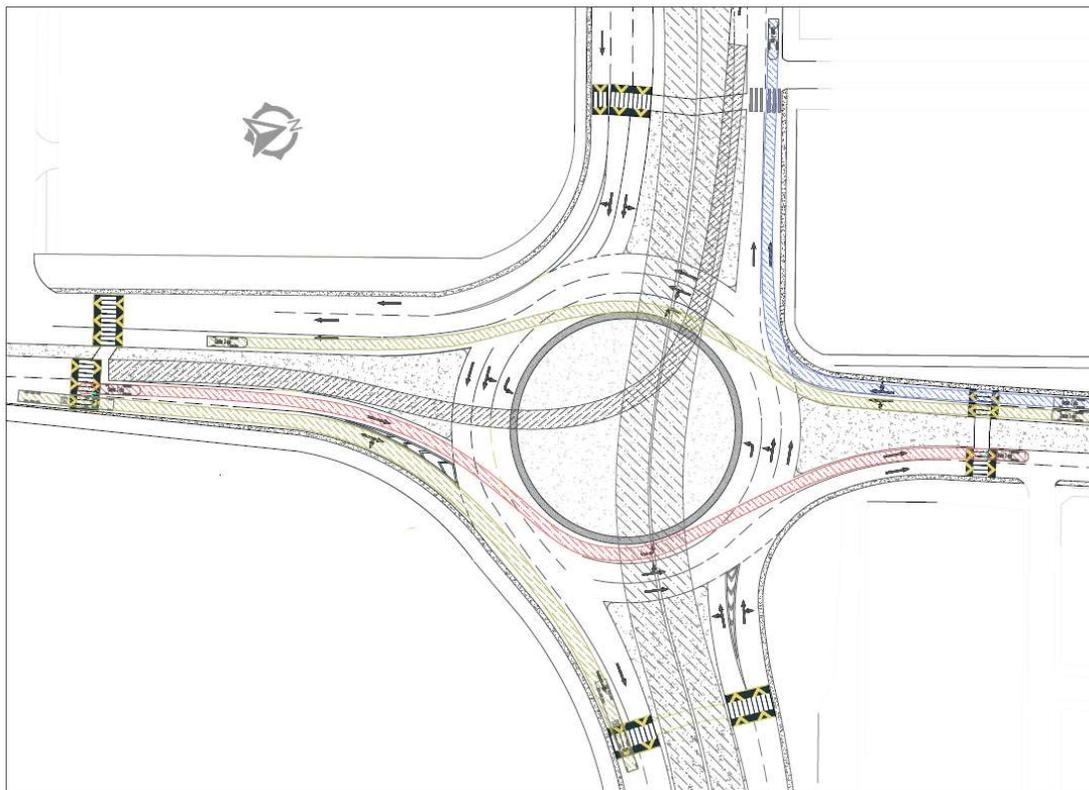


Figura 137 Área de barrio 2 – Propuesta N°3

Fuente: Propia

- **Longitud de cola**

En tabla 98 se muestra las longitudes de colas en la hora de máxima demanda de la propuesta N°3, las cuales se determinaron mediante la simulación en el software Junctions 9 Student Version con los volúmenes actuales.



Tabla 98 Longitudes de cola – situación actual

Propuesta N3				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	1	6	6
	4:15 4:30	1	6	
	4:30 4:45	1	6	
	4:45 5:00	1	6	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	2	12	17
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	1	6	
	4:45 5:00	2	12	
Via Expresa	4:00 4:15	4	23	23
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	2	12	
	4:45 5:00	4	23	
Av. Qosqo	4:00 4:15	2	12	17
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	1	6	
	4:45 5:00	1	6	

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

En la siguiente tabla 99 se muestra el nivel de servicio por aproximación y el nivel de servicio para toda la intersección. Se puede apreciar que el nivel de servicio de la aproximación Av. 28 de Julio es “A” con una demora de 8.13 seg, y el nivel de servicio en toda la intersección de la propuesta N°3 es “B” con una demora de 14.18 seg.

Tabla 99 Niveles de servicio – Propuesta N°3 – Volúmenes actuales

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	8.13	A	14.18	B
2- AV. VELASCO ASTETE	13.71	B		
3- VÍA EXPRESA	16.36	C		
4- AV. QOSQO	16.11	C		

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra la superposición de la propuesta N°3 de color verde sobre el plano de la situación actual de color rojo. Se puede observar la presencia de un pase a desnivel que tiene de ancho un carril, este pase a desnivel nace desde la Av. Velasco Astete con dirección al carril auxiliar de la Av. 28 de Julio, así mismo el segundo pase a desnivel está presente en los carriles principales de la Av. 28 de Julio con la Vía Expresa. Esta propuesta ocupa mayores



áreas en comparación a la situación actual de la intersección. Se genera un giro exclusivo que proviene desde el carril auxiliar de ingreso de la Av. 28 de Julio con dirección a la Av. Velasco Astete. Las aproximaciones presentan ingresos y salidas con características geométricas propias de una rotonda en base a criterios de control de velocidad y seguridad.

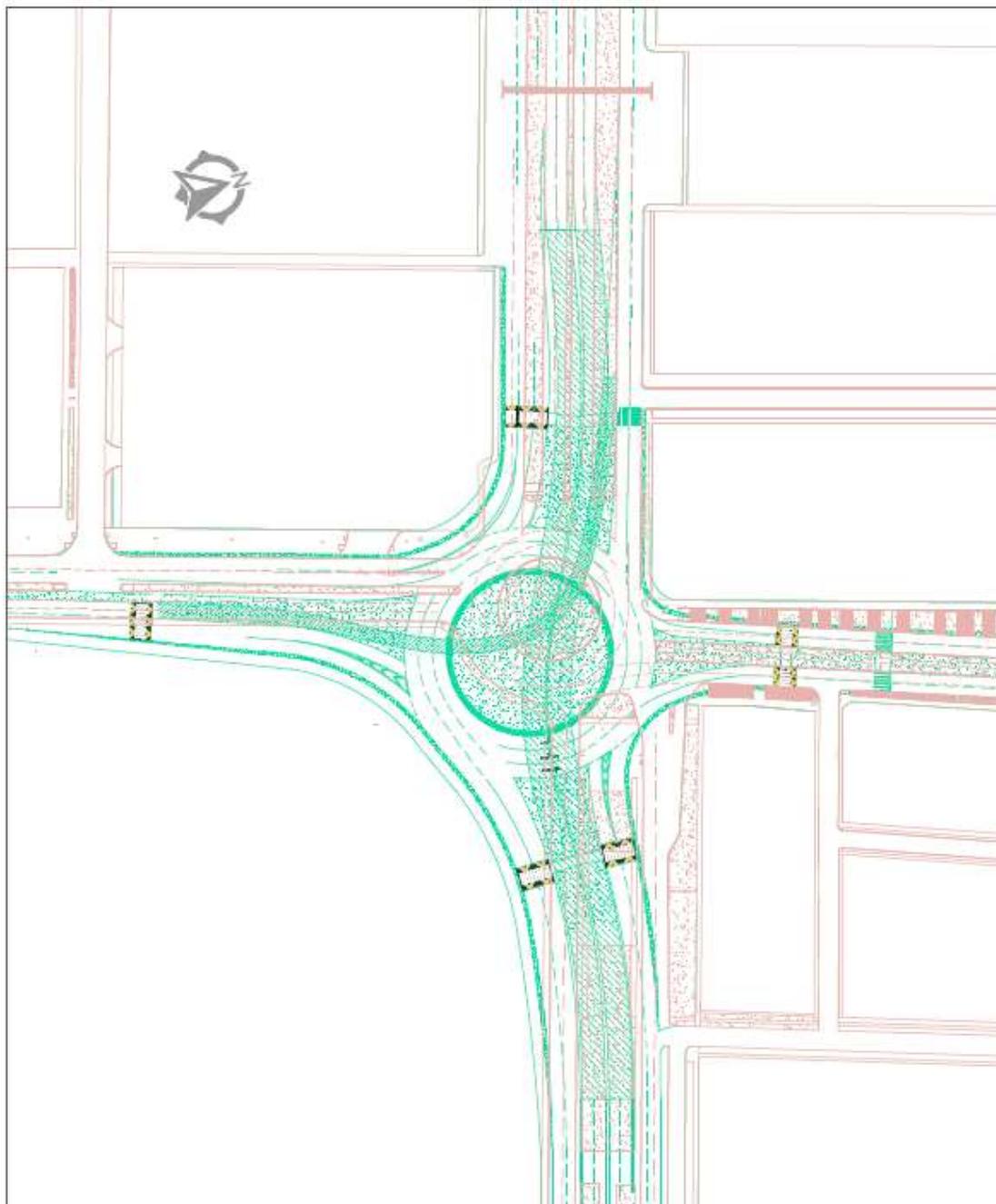


Figura 138 Superposición de la propuesta N°3

Fuente: Propia



- **Funcionamiento operacional propuesta N°3 - Proyección a 25 años**

En la figura 139 se muestra la capacidad por aproximación para la propuesta N°3 para la proyección futura, haciendo una capacidad total de intersección de 9566 veh/hora.

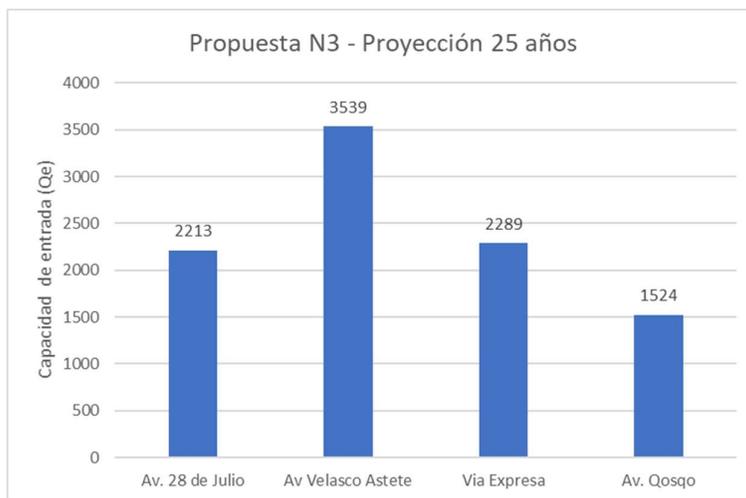


Figura 139 Capacidad por aproximación – Propuesta N°3 (25 años)

Fuente: Propia

La tabla 100 muestra los niveles de servicio por aproximación de la propuesta N° 3 para la proyección de 25 años, además el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “C”.

Tabla 100 Niveles de servicio – Propuesta N°3 – proyección futura

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	18.63	C	24.11	C
2- AV. VELASCO ASTETE	23.79	C		
3- VÍA EXPRESA	24.57	C		
4- AV. QOSQO	27.01	D		

Fuente: Propia

Las longitudes de colas determinadas en la proyección a 25 años para la propuesta N°3 se muestran en la tabla 101 para cada una de las aproximaciones, se muestran resultados en unidades de vehículos y metros además de la longitud máxima.



Tabla 101 Longitudes de cola – Propuesta N°3 – proyección futura

Propuesta N3				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	2	12	17
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	2	12	
	4:45 5:00	1	6	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	4	23	23
	4:15 4:30	2	12	
	4:30 4:45	4	23	
	4:45 5:00	3	17	
Via Expresa	4:00 4:15	6	35	35
	4:15 4:30	6	35	
	4:30 4:45	3	17	
	4:45 5:00	5	29	
Av. Qosqo	4:00 4:15	5	29	29
	4:15 4:30	4	23	
	4:30 4:45	5	29	
	4:45 5:00	3	17	

Fuente: Propia

### 3.6.15 Propuesta N°4 – Rotonda con paso a desnivel (Proyecto Vía Expresa)

A continuación, se procederá a describir la cuarta propuesta para la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores”, esta propuesta está basada en el diseño geométrico presentado en la propuesta del mejoramiento integral de la Vía Expresa, las características geométricas se presentan en la tabla 102, además, en la figura 140 se puede observar la propuesta N°4.

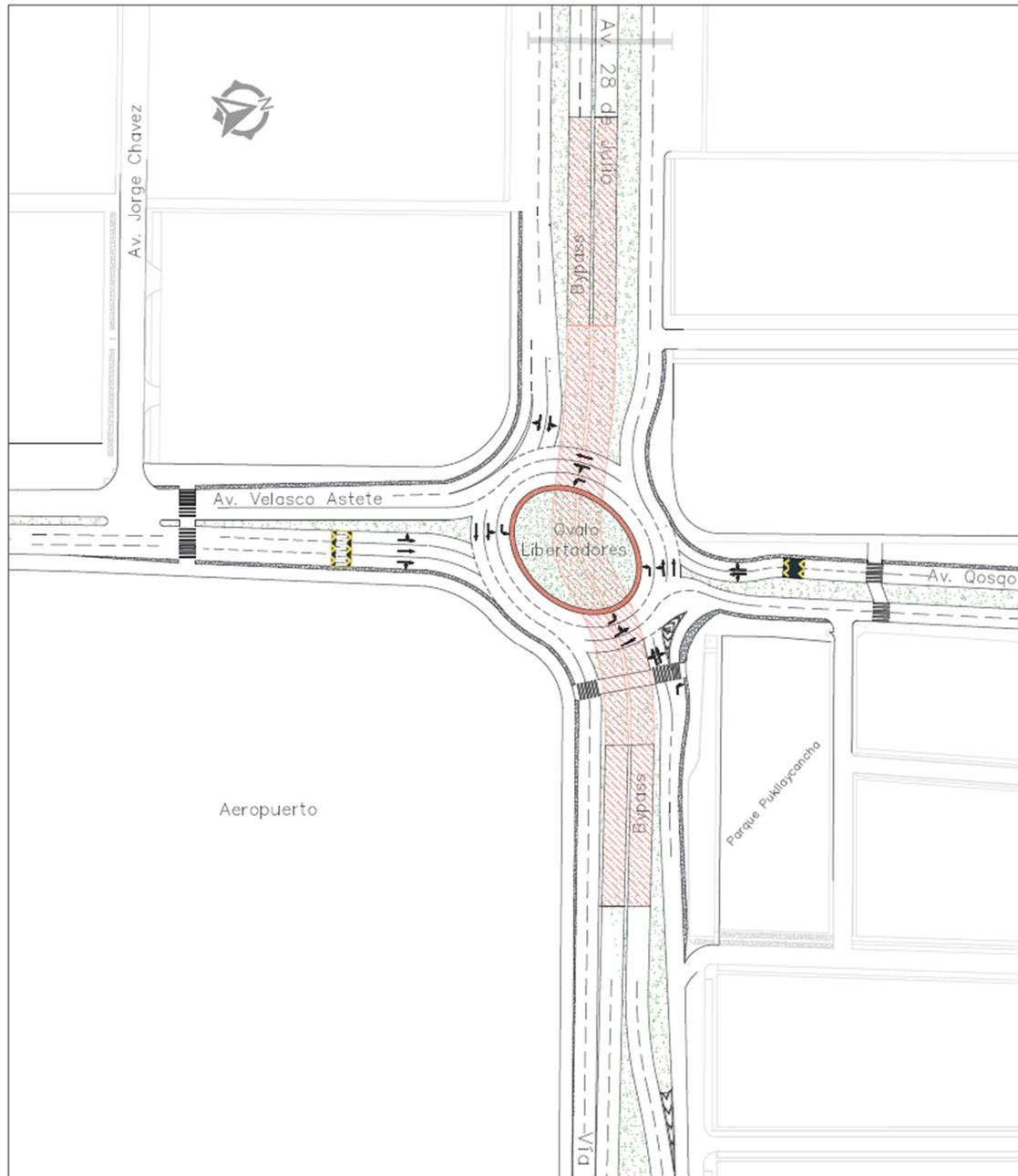


Figura 140 Propuesta N°4

Fuente: Propia



Tabla 102 Características de diseño geométrico – Propuesta N°4

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros			63.84	
Díametro de la isla central	metros			41.34	
Ancho de bordillo	metros			1.50	
Ancho de calzada circulatoria	metros			12.00	
Ancho de entrada	metros	9.00	11.40	6.25	6.00
Numero de carriles	unidad	2.00	3.00	2.00	2.00
Ancho de carriles	metros	3.75	3.30	3.00	3.00
Pendiente	%	1.30	1.30	0.80	2.20
Radio de entrada	metros	23.57	36.93	21.31	54.70
Radio de salida	metros	40.43	26.62	31.57	20.15
Longitud de aproximacion	metros	130.00	270.00	125.00	360.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 103 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades en las diferentes zonas y movimientos dentro de la intersección.

Tabla 103 Radios de camino rápido – Propuesta N°4

Aproximación	R1	R2	R3	R4	R5
	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
Av. 28 de Julio	110.00	35.00	61.00	30.00	45.00
Av. Velasco Astete	70.00	45.00	94.00	35.00	45.00
Av. Qosqo	55.00	40.00	55.00	30.00	20.00
Vía Expresa	77.00	47.00	43.00	30.00	69.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 104 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la propuesta N°4, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.



Tabla 104 Distancias de visibilidad – Propuesta N°4

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	51.50	45.52	38.15	48.67	36.85	45.89	39.82	36.74
Distancia visual a la caldaza de circulación	31.21	45.73	27.44	45.73	30.70	42.46	31.72	45.35
Distancia visual al paso de peatones en la salida	40.63	103.25	36.85	45.84	32.71	54.20	46.33	169.12
Distancia al flujo entrante	50.04	65.57	60.18	73.69	48.50	69.47	47.28	41.25
Distancia al flujo circulante	41.79	44.19	41.79	45.85	41.79	47.56	42.79	29.31

Fuente: Propia

### • Capacidad

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la propuesta N°4 de una rotonda con paso a desnivel, en la tabla 105 se muestran estos parámetros.

Tabla 105 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°4

Aproximacion	Parametros					
	e	v	L'	D	φ	r
	m	m	m	m	°	m
Av. 28 de Julio	9.00	8.50	15.68	63.84	45	23.57
Av Velasco Astete	11.40	11.00	18.15	63.84	28	36.93
Via Expresa	6.00	6.00	12.83	63.84	63	54.70
Av. Qosqo	6.25	6.00	19.33	63.84	39	21.31

Fuente: Propia

En la tabla 106 se presenta el cálculo mediante el modelo del TRL de la capacidad por aproximación donde se muestra la capacidad de entrada a la rotonda (Qe).

Tabla 106 Calculo de capacidad – Propuesta N°4

Aproximacion	Parametros						F	Fc	Qc	Qe
	e	v	L'	D	φ	r				
	m	m	m	m	°	m				
Av. 28 de Julio	9.00	8.50	15.68	63.84	45	23.57	2712.97	0.70	763	2078
Av Velasco Astete	11.40	11.00	18.15	63.84	28	36.93	3446.22	0.83	797	2869
Via Expresa	6.00	6.00	12.83	63.84	63	54.70	1818.00	0.56	2201	545
Av. Qosqo	6.25	6.00	19.33	63.84	39	21.31	1890.74	0.57	1534	991

Fuente: Propia

En la figura 141 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 6484 veh/hora.

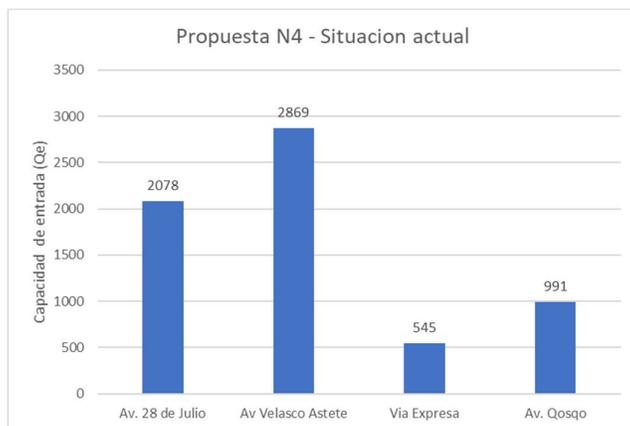


Figura 141 Capacidad por aproximación – Propuesta N°4

Fuente: Propia

En la figura 162 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones, la aproximación con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes es la Av. Velasco Astete, además la aproximación con menores valores de capacidad es la Vía Expresa.

- **Vehículo de diseño**

En la figura 142 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 en las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía expresa, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias.

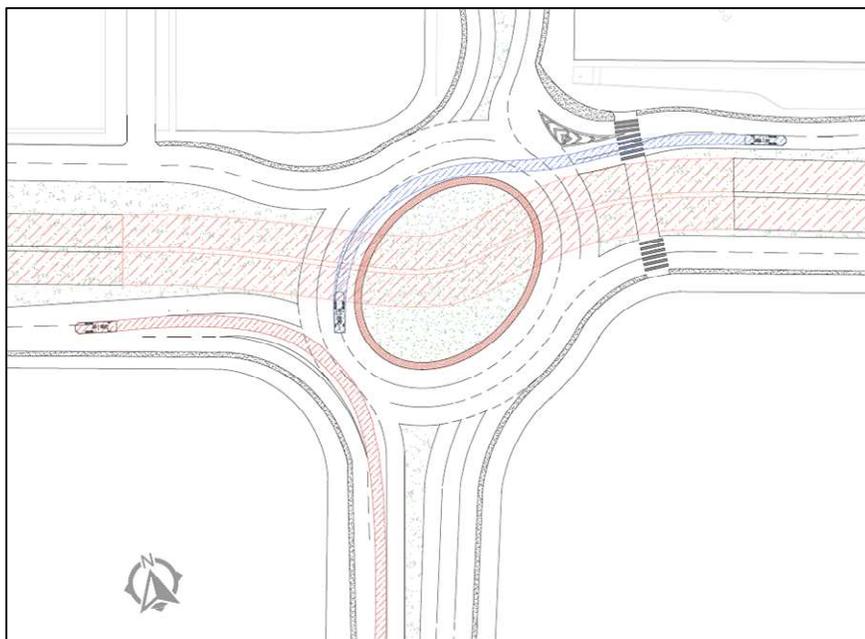


Figura 142 Área de barrido 1 – Propuesta N°4

Fuente: Propia



Además, en la figura 143 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 y camión de 3 ejes en las aproximaciones Av. Qosqo y Av. Velasco Astete, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias sin embargo los vehículos T3S3 que se aproximan de la Av. Velasco Astete ocupan gran área de la calzada de circulación.

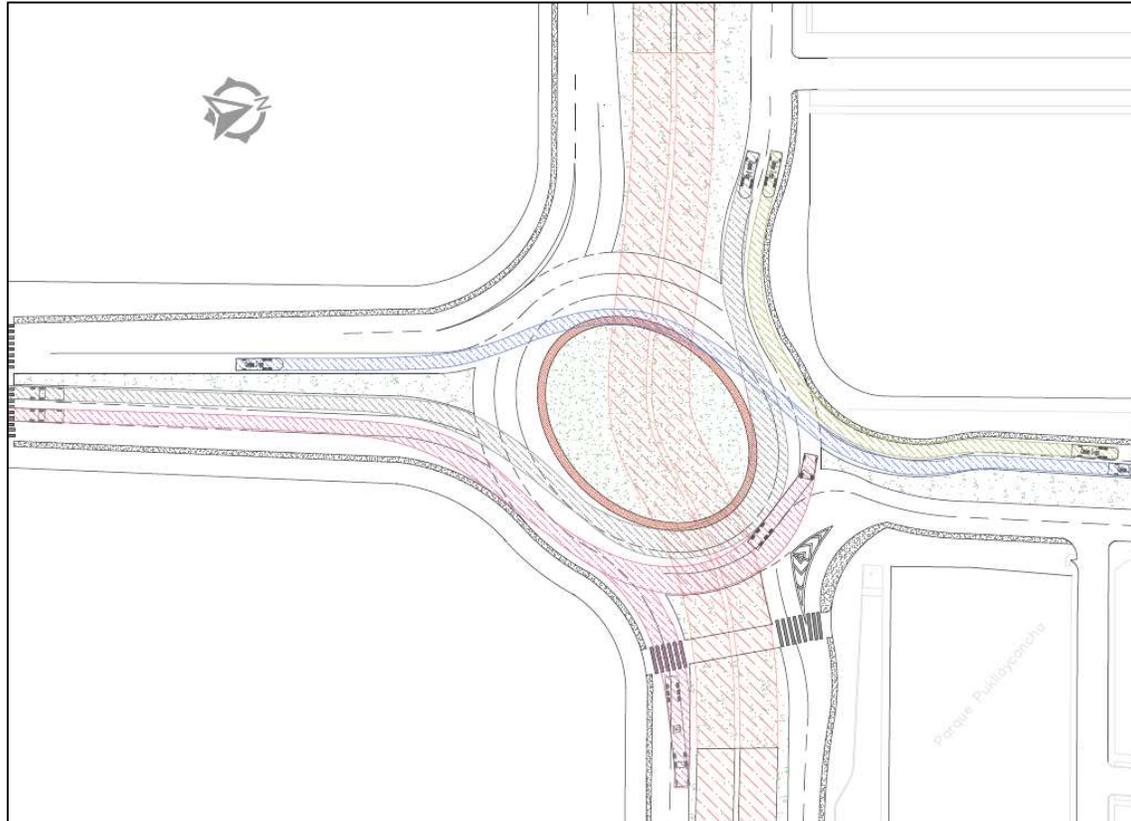


Figura 143 Área de barrido 2 – Propuesta N°4

Fuente: Propia

- **Longitud de cola**

En tabla 107 se muestra las longitudes de colas para la propuesta N°4 en la hora de máxima demanda, las cuales se determinaron mediante la simulación en el software Junctions 9 Student Version con los volúmenes actuales y datos de entrada que fueron obtenidos durante la hora de máxima demanda.



Tabla 107 Longitudes de cola – situación actual

Propuesta N4				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	4	23	29
	4:15 4:30	5	29	
	4:30 4:45	3	17	
	4:45 5:00	4	23	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	9	52	52
	4:15 4:30	6	35	
	4:30 4:45	4	23	
	4:45 5:00	3	17	
Via Expresa	4:00 4:15	14	81	86
	4:15 4:30	15	86	
	4:30 4:45	7	40	
	4:45 5:00	10	58	
Av. Qosqo	4:00 4:15	8	46	46
	4:15 4:30	7	40	
	4:30 4:45	7	40	
	4:45 5:00	5	29	

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

En la siguiente tabla 108 se muestra el nivel de servicio por aproximación y el nivel de servicio para toda la intersección. Se puede apreciar que el nivel de servicio en toda la intersección de la propuesta N°4 es “F” con una demora total de 69.54 seg.

Tabla 108 Niveles de servicio – Propuesta N°4 – Volúmenes actuales

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	32.28	D	69.54	F
2- AV. VELASCO ASTETE	86.44	F		
3- VÍA EXPRESA	46.93	E		
4- AV. QOSQO	42.01	E		

Fuente: Propia

En la siguiente figura se muestra la superposición de la propuesta N°4 de color verde sobre el plano de la situación actual de color rojo, se puede observar que ocupa prácticamente el mismo área de la situación actual a excepciones de espacios que son necesarios para mejorar el diseño geométrico, la propuesta presente tiene la consideración de un pase a desnivel entre las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía Expresa. Las aproximaciones en la zona de ingreso y



salida presentan mejores características de rotondas, la planteo un giro exclusivo de la Vía Expresa con dirección hacia la Av. Qosqo, así como una isla canalizadora para lograr que los vehículos de diseño de la Av. Qosqo puedan realizar el giro hacia la derecha sin afectar los otros carriles.

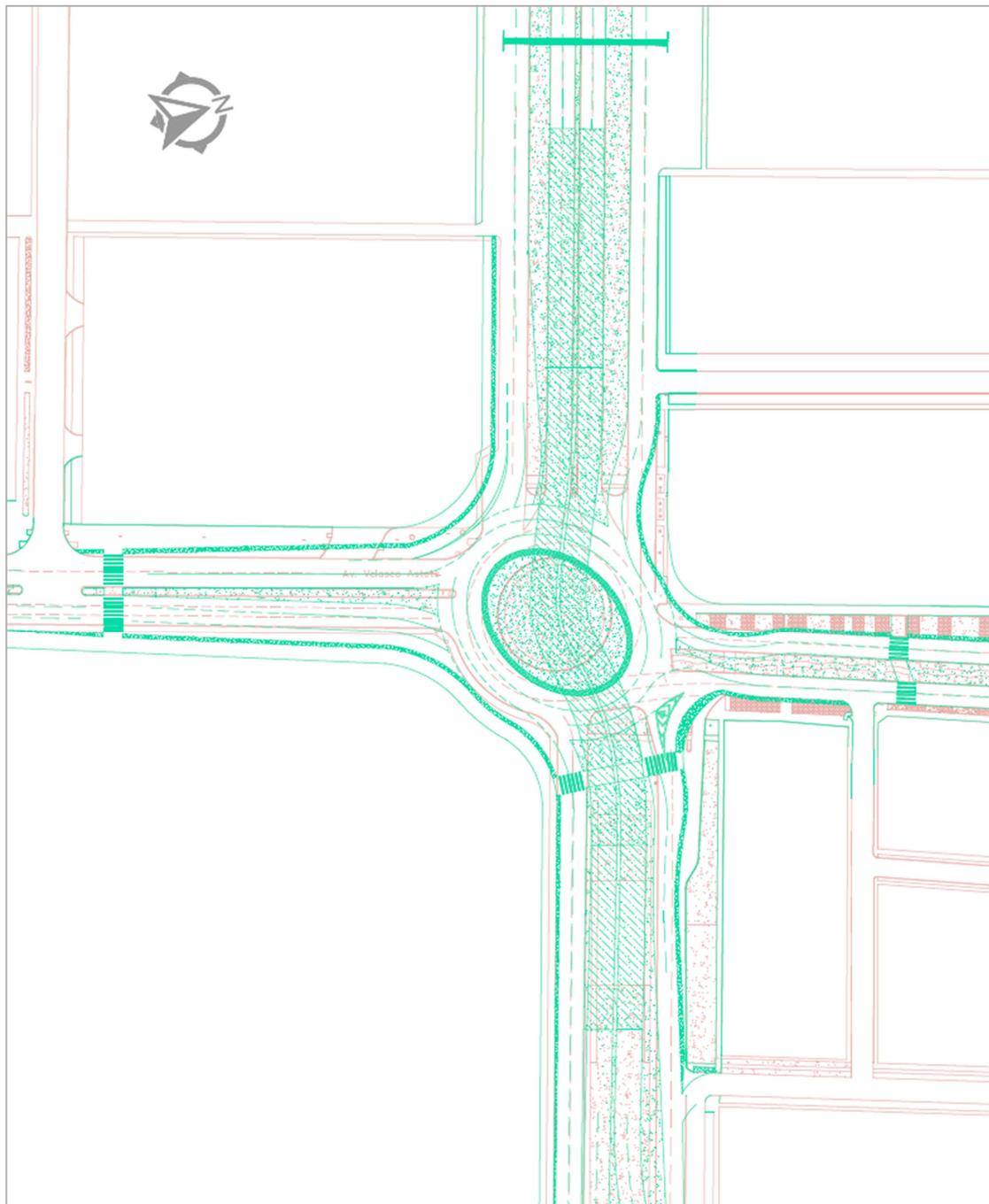


Figura 144 Superposición de la propuesta N°4

Fuente: Propia



- **Funcionamiento operacional propuesta N° 4 - Proyección a 25 años**

En la figura 145 se muestra la capacidad por aproximación para la propuesta N°4 para la proyección futura; la avenida 28 de Julio y la Vía Expresa son la de mayor y menor capacidad respectivamente. Finalmente, la capacidad total de intersección de 6066 veh/hora.

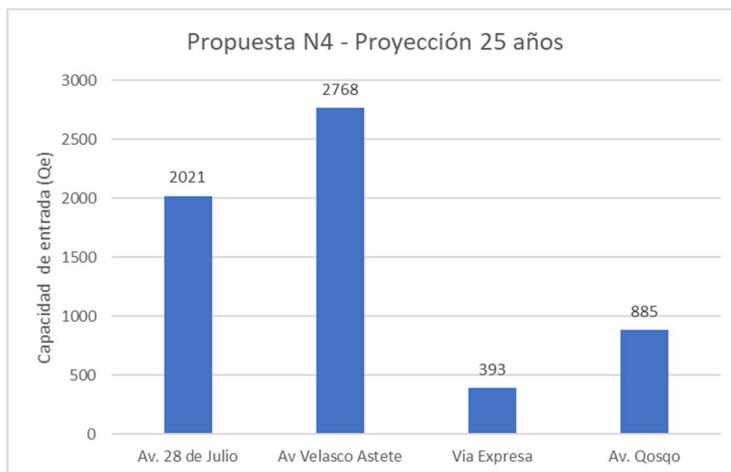


Figura 145 Capacidad por aproximación – Propuesta N°4 (25 años)

Fuente: Propia

La tabla 109 muestra los niveles de servicio por aproximación de la propuesta N° 4 para la proyección de 25 años, además el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “F”.

Tabla 109 Niveles de servicio – Propuesta N°4 – proyección futura

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	51.22	F	90.42	F
2- AV. VELASCO ASTETE	105.69	F		
3- VÍA EXPRESA	71.07	F		
4- AV. QOSQO	80.93	F		

Fuente: Propia

Las longitudes de colas determinadas en la proyección a 25 años para la propuesta N°4 se muestran en la tabla 110 donde se presentan los resultados en unidades de vehículos y metros además de la longitud máxima en un periodo de una hora.



Tabla 110 Longitudes de cola – Propuesta N°4 – proyección futura

Propuesta N4				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	11	63	92
	4:15 4:30	16	92	
	4:30 4:45	12	69	
	4:45 5:00	10	58	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	12	69	121
	4:15 4:30	21	121	
	4:30 4:45	15	86	
	4:45 5:00	11	63	
Via Expresa	4:00 4:15	23	132	173
	4:15 4:30	30	173	
	4:30 4:45	17	98	
	4:45 5:00	13	75	
Av. Qosqo	4:00 4:15	18	104	121
	4:15 4:30	21	121	
	4:30 4:45	17	98	
	4:45 5:00	12	69	

Fuente: Propia



### 3.6.16 Propuesta N°5 – Rotonda convencional con paso a desnivel

La propuesta N°5 es una rotonda convencional de 3 carriles con la consideración de un paso a desnivel entre las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía Expresa, se procede a describir las características planteadas de la cuarta propuesta para la intersección a nivel denominada “Óvalo Libertadores” ,las características geométricas se presentan en la tabla 111, el comportamiento funcional se describirá en las siguientes paginas para la situación actual y la proyección futura, de esta forma en la figura 146 se puede observar la propuesta N°5.

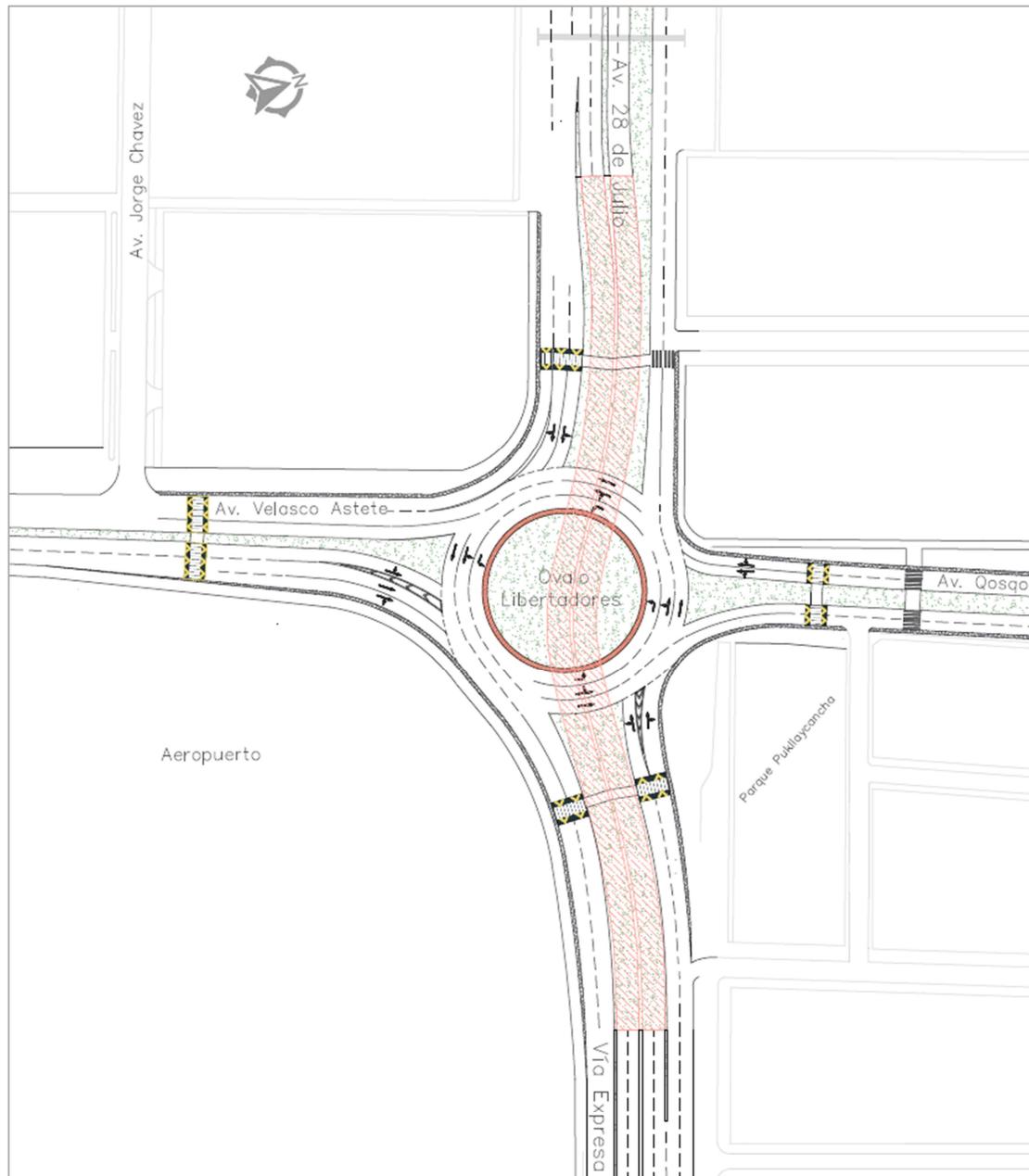


Figura 146 Propuesta N°5

Fuente: Propia



Tabla 111 Características de diseño geométrico – Propuesta N°5

Características	Unidad	Av. 28 de Julio	Av. Velasco Astete	Av. Qosqo	Vía Expresa
Díametro de circunferencia inscrita	metros		75.50		
Díametro de la isla central	metros		53.00		
Ancho de bordillo	metros		1.50		
Ancho de calzada circulatoria	metros		12.00		
Ancho de entrada	metros	9.15	14.35	6.30	11.10
Numero de carriles	unidad	2.00	3.00	2.00	2.00
Ancho de carriles	metros	3.75	3.70	3.00	4.00
Pendiente	%	1.30	1.30	0.80	2.20
Radio de entrada	metros	28.10	60.26	14.56	24.26
Radio de salida	metros	41.74	93.34	30.30	55.14
Longitud de aproximacion	metros	220.00	270.00	125.00	350.00

Fuente: Propia

- **Camino rápido**

En la tabla 112 se muestran los cinco radios que se consideran en el camino rápido para cada aproximación necesarias para el cálculo de velocidades.

Tabla 112 Radios de camino rápido – Propuesta N°5

Aproximación	R1 (m)	R2 (m)	R3 (m)	R4 (m)	R5 (m)
Av. 28 de Julio	85.00	30.00	190.00	35.00	40.00
Av. Velasco Astete	100.00	30.00	125.00	32.00	40.00
Av. Qosqo	95.00	35.00	120.00	35.00	45.00
Vía Expresa	84.00	50.00	165.00	30.00	120.00

Fuente: Propia

- **Distancia de visibilidad**

La tabla 113 presenta las distancias determinadas de visibilidad de parada en las tres zonas necesarias y la distancia de visibilidad a la intersección, además se muestran las distancias reales de la propuesta N°5, el cálculo de las velocidades mediante los radios del camino rápido se detalla en los anexos.



Tabla 113 Distancias de visibilidad – Propuesta N°5

Distancia de visibilidad	28J		VA		VEX		QQ	
	calculada	real	calculada	real	calculada	real	calculada	real
Distancia visual en el ingreso a la rotonda	52.81	55.81	57.50	70.11	52.48	52.32	55.97	60.25
Distancia visual a la caldaza de circulacion	31.21	30.90	31.21	30.90	40.22	40.43	33.67	36.99
Distancia visual al paso de peatones en la salida	81.20	85.23	64.73	66.45	75.18	60.07	63.34	59.42
Distancia al flujo entrante	63.81	60.72	61.26	61.29	69.53	77.94	60.99	56.80
Distancia al flujo circulante	44.22	51.57	44.22	52.24	41.79	56.78	44.22	45.41

Fuente: Propia

• **Capacidad**

Para el cálculo de capacidad de tomaron en consideración los siguientes parámetros de la fórmula del modelo del TRL los cuales se determinaron a partir de características geométricas de la propuesta N°5 de una rotonda con paso a desnivel, en la tabla 114 se muestran estos parámetros.

Tabla 114 Parámetros para el modelo TRL- Propuesta N°5

Aproximacion	Parametros					
	e	v	L'	D	φ	r
	m	m	m	m	°	m
Av. 28 de Julio	9.15	8.77	31.75	75.50	35	28.10
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26
Via Expresa	11.10	9.40	25.15	75.50	37	24.26
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56

Fuente: Propia

En la tabla 115 se presenta el cálculo mediante el modelo del TRL de la capacidad por aproximación donde se muestra la capacidad de entrada a la rotonda (Qe).

Tabla 115 Calculo de capacidad – Propuesta N°5

Aproximacion	Capacidad de la interseccion a nivel Ovalo Libertadores										
	Propuesta N5 - Situacion Actual										
	Parametros						F	Fc	Qc	Qe	
	e	v	L'	D	φ	r	Veh/h	-	Veh/h	Veh/h	
	m	m	m	m	°	m					
Av. 28 de Julio	9.15	8.77	31.75	75.50	35	28.10	2768.20	0.65	763	2268	
Av Velasco Astete	14.36	12.15	37.90	75.50	32	60.26	4245.78	0.87	797	3645	
Via Expresa	11.10	9.40	25.15	75.50	37	24.26	3271.70	0.72	2201	1657	
Av. Qosqo	6.30	6.00	14.87	75.50	43	14.56	1903.39	0.52	1534	1042	

Fuente: Propia

En la figura 147 se muestra la cantidad de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación, además la capacidad total de la intersección se determina mediante la suma de estas capacidades entrantes por aproximación haciendo un total de 8613 veh/hora.

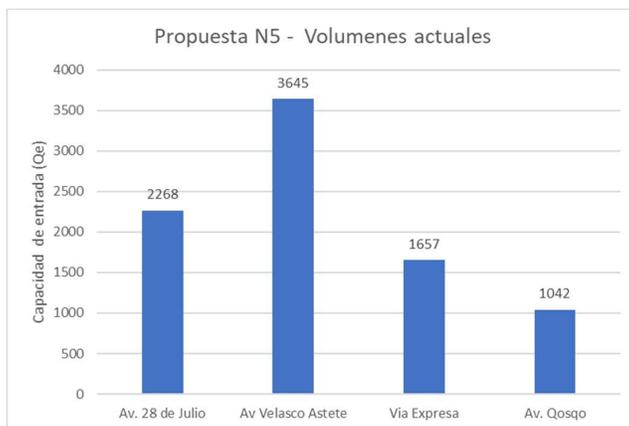


Figura 147 Capacidad por aproximación – Propuesta N°5

Fuente: Propia

En la figura 164 (anexos) se puede observar la regresión lineal del modelo UK -TRL para las cuatro aproximaciones, la aproximación con mayor capacidad entrante a la intersección con valores mínimos de flujos circulantes es la Av. Velasco Astete, además la aproximación con menores valores de capacidad es la Av. Qosqo.

- **Vehículo de diseño**

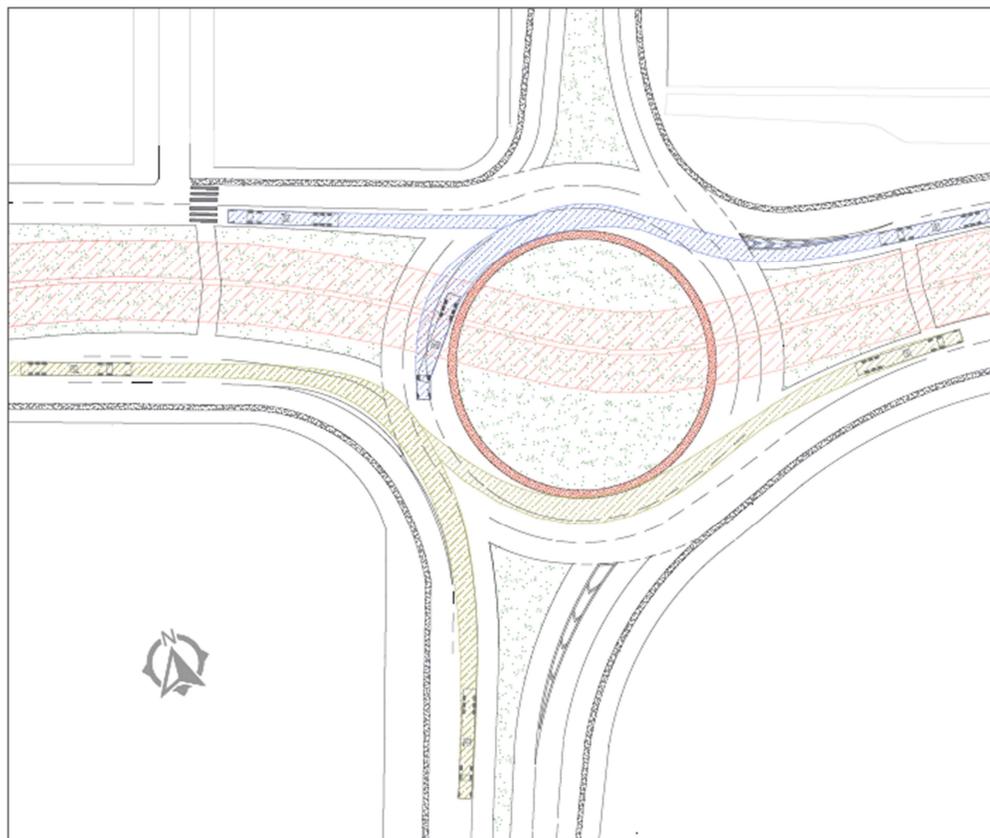


Figura 148 Área de barrido 1 – Propuesta N°5

Fuente: Propia

En la figura 148 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 en las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía expresa, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, en la Vía Expresa se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones.

Además, en la figura 149 se observa los recorridos del vehículo de diseño T3S3 y camión de 3 ejes en las aproximaciones Av. Qosqo y Av. Velasco Astete, se puede observar que los vehículos tienen un desplazamiento natural en el ingreso en la calzada de circulación y en la salida, no se presenta superposición de trayectorias, en la Av. Velasco se consideró una isla canalizadora para los vehículos de grandes dimensiones.

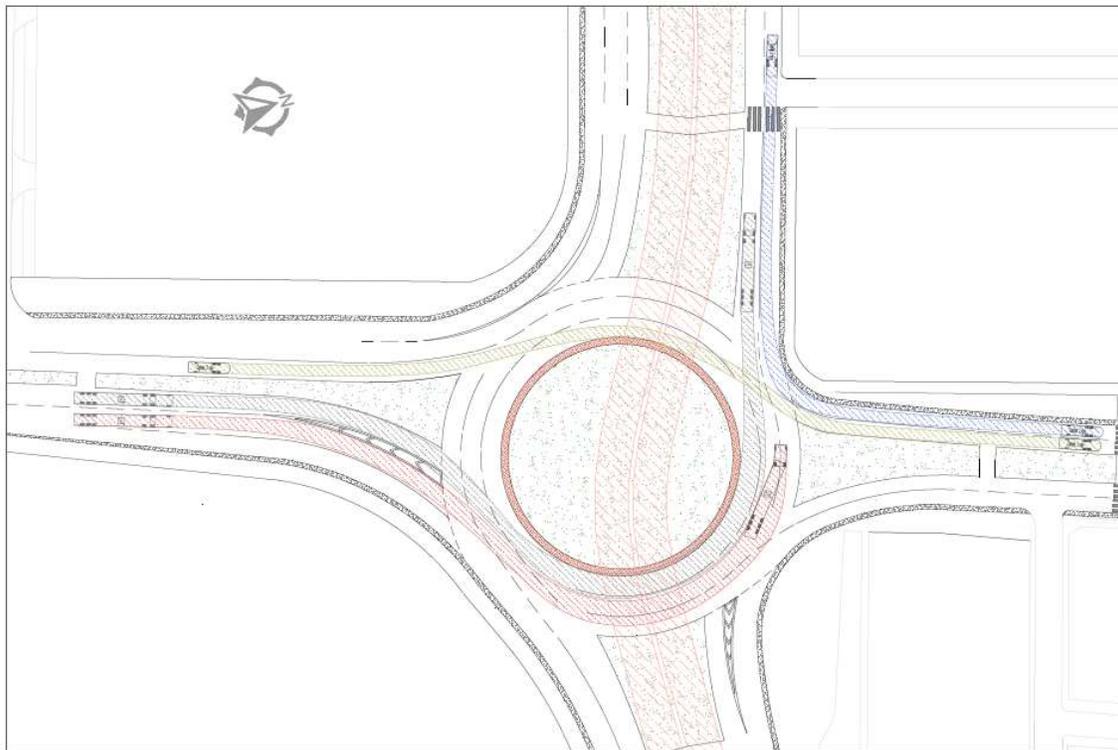


Figura 149 Área de barrido 2 – Propuesta N°5

Fuente: Propia

- **Longitud de cola**

En tabla 116 se muestra las longitudes de colas para la propuesta N°5 en la hora de máxima demanda, las cuales se determinaron mediante la simulación en el software Junctions 9 Student Version con los volúmenes actuales.



Tabla 116 Longitudes de cola – situación actual

Propuesta N5				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	2	12	12
	4:15 4:30	1	6	
	4:30 4:45	2	12	
	4:45 5:00	1	6	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	4	23	29
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	5	29	
	4:45 5:00	2	12	
Via Expresa	4:00 4:15	4	23	23
	4:15 4:30	2	12	
	4:30 4:45	3	17	
	4:45 5:00	2	12	
Av. Qosqo	4:00 4:15	3	17	29
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	2	12	
	4:45 5:00	5	29	

Fuente: Propia

- **Nivel de servicio**

En la siguiente tabla 117 se muestra el nivel de servicio por aproximación y el nivel de servicio para toda la intersección. Se puede apreciar que el nivel de servicio en toda la intersección de la propuesta N°5 es “C”

Tabla 117 Niveles de servicio – Propuesta N°5 – Volúmenes actuales

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	14.55	B	24.07	C
2- AV. VELASCO ASTETE	28.08	D		
3- VÍA EXPRESA	23.20	C		
4- AV. QOSQO	18.61	C		

Fuente: Propia

En la figura 150 se muestra la superposición de la propuesta N°5 de color verde sobre el plano de la situación actual de color rojo se puede observar que esta propuesta ocupa mayor área en comparación a la situación actual. La propuesta N°5 tiene ingresos, salidas y características en base a criterios de control de velocidad y seguridad, además se tiene la consideración de un pase a desnivel entre las aproximaciones Av. 28 de Julio y Vía Expresa, además se plantea un



giro exclusivo a la derecha desde la vía auxiliar de la avenida 28 de Julio, además de islas canalizadoras que favorecen a un mejor desplazamiento de los vehículos de diseño en la calzada de circulación.

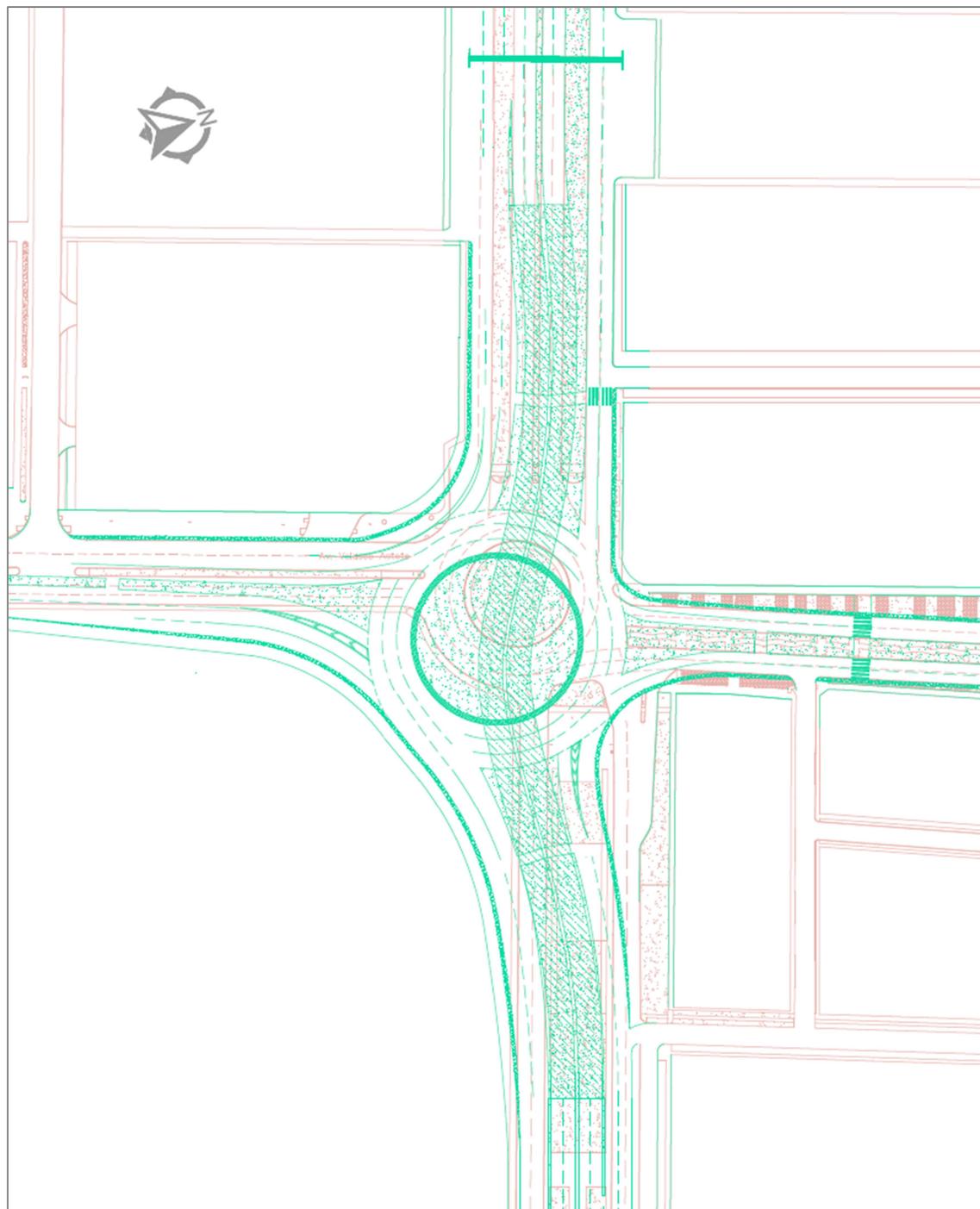


Figura 150 Superposición de la propuesta N°5

Fuente: Propia



- **Funcionamiento operacional propuesta N° 5 - Proyección a 25 años**

En la figura 151 se muestra la capacidad por aproximación para la propuesta N°5 para la proyección futura, siendo la aproximación Av. Velasco Astete la de mayor capacidad con 3539 veh/hora. haciendo una capacidad total de intersección de 8146 veh/hora.

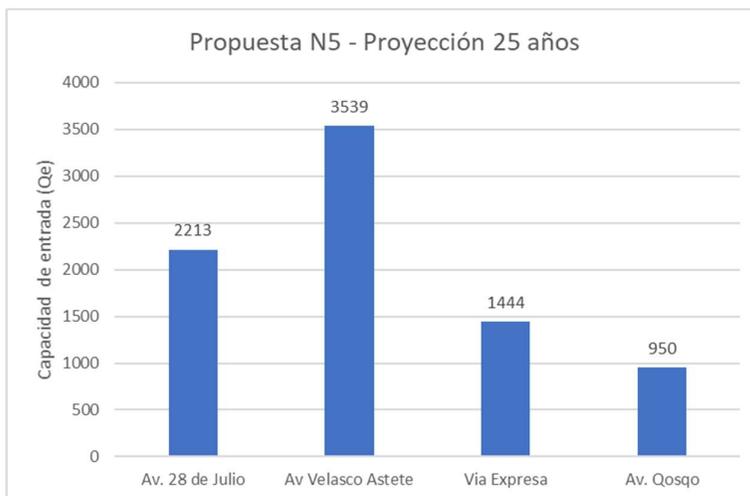


Figura 151 Capacidad por aproximación – Propuesta N°5 (25 años)

Fuente: Propia

La tabla 118 muestra los niveles de servicio por aproximación de la propuesta N° 5 para la proyección de 25 años, la aproximación con mayor demora es la Av. Velasco Astete con 49.53 seg y un nivel de servicio “E”, además el nivel de servicio en toda la intersección de la intersección es “D” con una demora total de 43.60 seg en toda la intersección.

Tabla 118 Niveles de servicio – Propuesta N°5 – proyección futura

	PM			
	Delay (s)	LOS	Intersection Delay (s)	Intersection LOS
[Lane Simulation] - 2019				
1- AV. 28 DE JULIO	23.22	C	43.60	D
2- AV. VELASCO ASTETE	49.93	E		
3- VÍA EXPRESA	33.18	D		
4- AV. QOSQO	34.05	D		

Fuente: Propia

Las longitudes de colas determinadas en la proyección a 25 años para la propuesta N°5 se muestran en la tabla 119. Siendo la aproximación Av. 28 de Julio la de mayor longitud de colas con 10 vehículos.



Tabla 119 Longitudes de cola – Propuesta N°5 – proyección futura

Propuesta N5				
Aproximación	hora	Colas	Colas	Longitud Maxima
	pm	Veh	m	m
Av. 28 de Julio	4:00 4:15	2	12	17
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	1	6	
	4:45 5:00	2	12	
Av. Velasco Astete	4:00 4:15	3	17	46
	4:15 4:30	6	35	
	4:30 4:45	8	46	
	4:45 5:00	3	17	
Via Expresa	4:00 4:15	7	40	40
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	4	23	
	4:45 5:00	3	17	
Av. Qosqo	4:00 4:15	4	23	35
	4:15 4:30	3	17	
	4:30 4:45	2	12	
	4:45 5:00	6	35	

Fuente: Propia

### 3.6.17 Señalización

La señalización, la seguridad vial y un buen uso de dispositivos de control de tránsito son aspectos relevantes de la ingeniería de tránsito, el objetivo principal de mejorar la señalización en la zona de estudio es de generar un adecuado ordenamiento del tránsito vehicular, induciendo a la selección del carril desde el ingreso hacia la rotonda, brindar seguridad en la circulación de los vehículos y la prevención de accidentes en la intersección. Para tener la señalización adecuada se debe conocer el tipo de vía, el uso del suelo de la zona, características propias al diseño geométrico, condiciones operacionales e inspecciones viales de los inventarios previamente realizados detallados en el capítulo III; de este estudio se recomienda evitar la contaminación visual con un uso excesivo de las señales verticales. La señalización empleada en las propuestas de rediseño se presenta a continuación, en la figura 152 se muestra las señales preventivas y reguladoras y en la figura 153 las señales informativas.

#### Señales preventivas



#### Señales reguladoras



Figura 152 Señalización empleada 1

Fuente: Propia



Señales preventivas



Figura 153 Señalización empleada 2

Fuente: Propia



#### 4 Capítulo IV: Resultados

- **Situación actual**

Del cálculo de la capacidad por aproximación para el diseño geométrico de la situación actual y las propuestas de rediseño con los volúmenes vehiculares actuales, se determinó la capacidad total de la intersección para todas estas, en la figura 154 se aprecia la capacidad total de la intersección para las características geométricas actuales y las cinco propuestas de rediseño.

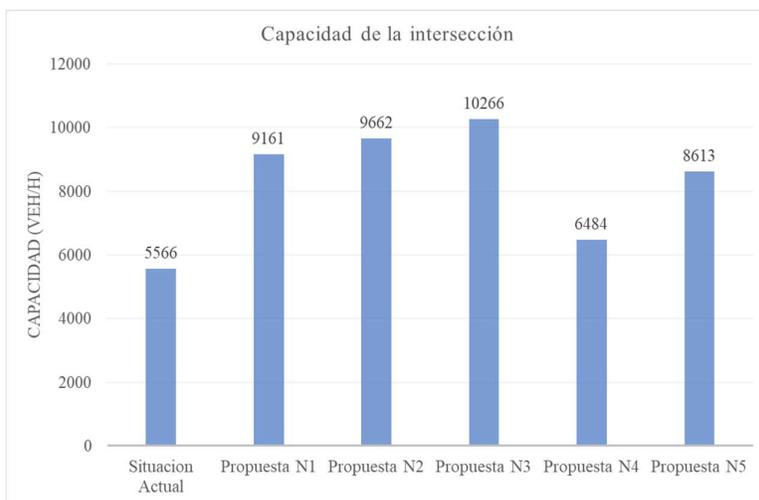


Figura 154 Comparación de la capacidad de la intersección por propuesta frente a la situación actual

Fuente: Propia

Del cálculo de las longitudes de colas por aproximación para el diseño geométrico de la situación actual y las propuestas de rediseño con los volúmenes vehiculares actuales, se determinó la longitud de cola mayor para cada una de las aproximaciones de la situación actual y las cinco propuestas de rediseño. La figura 155 muestra las longitudes de colas mayor por aproximación de la situación actual y de las cinco propuestas de rediseño.

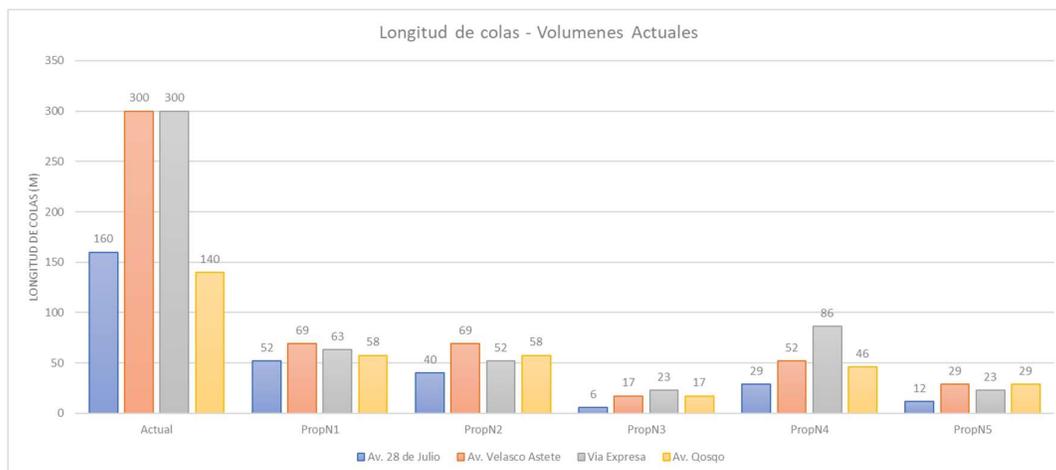


Figura 155 Comparación de la longitud de cola máxima por propuesta frente a la situación actual

Fuente: Propia



De la determinación de los niveles de servicio por aproximación, se determina el nivel de servicio para toda la intersección con los volúmenes vehiculares actuales, esto para el diseño geométrico de la situación actual y las propuestas de rediseño. La tabla 120 muestra los niveles de servicio por aproximación y de toda la intersección de la situación actual y de las cinco propuestas de rediseño.

Tabla 120 Comparación de los niveles de servicio por propuesta frente a la situación actual

Propuesta	Aproximación	Demoras (s)	Nivel de servicio	Demora de la interseccion (s)	Nivel de servicio de la interseccion
Situacion Actual	Av. 28 de Julio	92.11	F	34.96	F
	Av. Velasco Astete	192.02	F		
	Via Expresa	92.55	F		
	Av. Qosqo	172.2	F		
Propuesta N1	Av. 28 de Julio	23.52	C	34.96	D
	Av. Velasco Astete	48.16	E		
	Via Expresa	32.84	D		
	Av. Qosqo	33.01	D		
Propuesta N2	Av. 28 de Julio	22.75	C	34.08	D
	Av. Velasco Astete	39.02	E		
	Via Expresa	29.28	D		
	Av. Qosqo	33.54	D		
Propuesta N3	Av. 28 de Julio	8.13	A	14.18	B
	Av. Velasco Astete	13.71	B		
	Via Expresa	16.36	C		
	Av. Qosqo	16.11	C		
Propuesta N4	Av. 28 de Julio	32.28	D	69.54	F
	Av. Velasco Astete	86.44	F		
	Via Expresa	46.93	E		
	Av. Qosqo	42.01	E		
Propuesta N5	Av. 28 de Julio	14.55	B	24.07	C
	Av. Velasco Astete	28.08	D		
	Via Expresa	23.2	C		
	Av. Qosqo	18.61	C		

Fuente: Propia

- **Proyección a 25 años**

Del cálculo de la capacidad por aproximación para las propuestas de rediseño de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” con los volúmenes proyectados a 25 años, se determinó la capacidad total de la intersección para todas estas propuestas, en la figura 156 se aprecia la capacidad total de las cinco propuestas de rediseño.

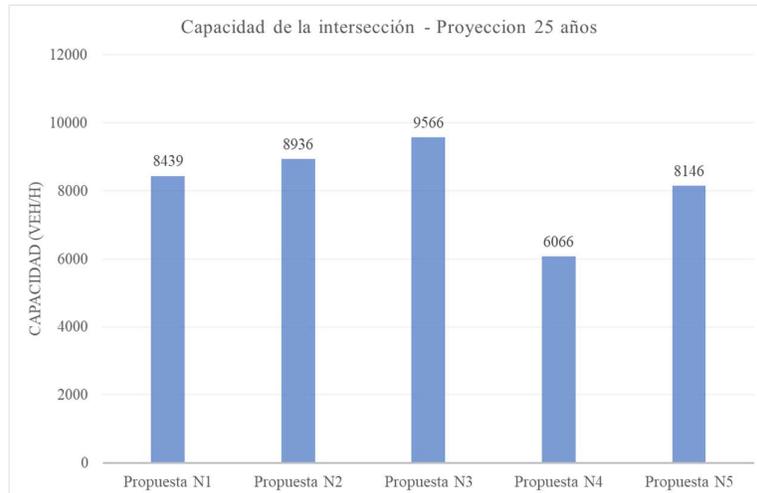


Figura 156 Comparación de la capacidad total de la intersección en la proyección a 25 años entre las propuestas de rediseño

Fuente: Propia

Del cálculo de las longitudes de colas por aproximación de las propuestas de rediseño de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” con los volúmenes proyectados a 25 años, se determinó la longitud de cola mayor para cada una de las aproximaciones para las cinco propuestas de rediseño. La figura 157 muestra las longitudes de colas mayor por aproximación de la situación actual calculadas con los volúmenes actuales y de las cinco propuestas de rediseño calculadas con los volúmenes proyectados.

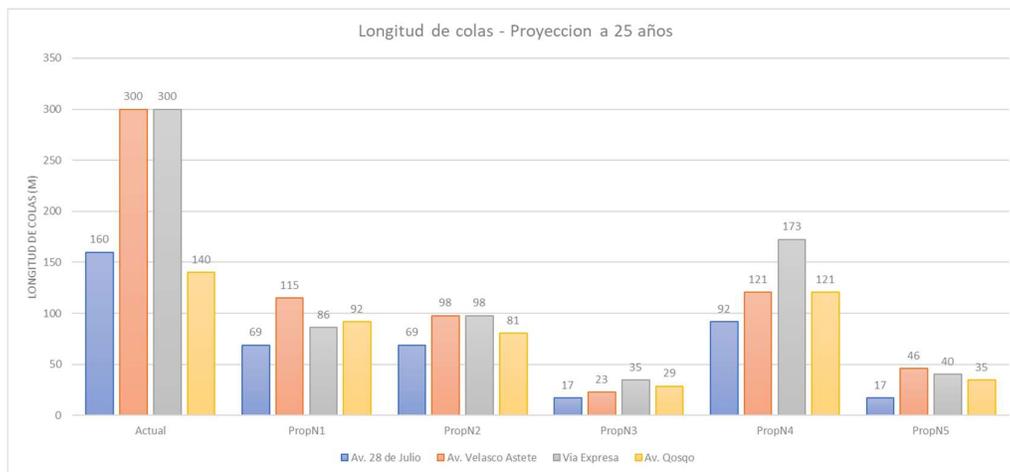


Figura 157 Comparación de la capacidad total de la intersección en la proyección a 25 años entre las propuestas de rediseño

Fuente: Propia

De la determinación de los niveles de servicio por aproximación, se determina el nivel de servicio para toda la intersección con los volúmenes proyectados a 25 años, esto para las cinco



propuestas de rediseño. La tabla 121 muestra los niveles de servicio por aproximación y de toda la intersección de las cinco propuestas de rediseño.

Tabla 121 Comparación de los niveles de servicio entre las propuestas de rediseño en la proyección a 25 años

Propuesta	Aproximación	Demora (s)	Nivel de Servicio	Demora de la interseccion (s)	Nivel de servicio de la interseccion
Propuesta N1	Av. 28 de Julio	34.68	D	47.33	E
	Av. Velasco Astete	58.25	F		
	Via Expresa	43.97	E		
	Av. Qosqo	46.02	E		
Propuesta N2	Av. 28 de Julio	32.28	D	44.49	E
	Av. Velasco Astete	49.14	E		
	Via Expresa	42.09	E		
	Av. Qosqo	45.91	E		
Propuesta N3	Av. 28 de Julio	18.63	C	24.11	C
	Av. Velasco Astete	23.79	C		
	Via Expresa	24.57	C		
	Av. Qosqo	27.01	D		
Propuesta N4	Av. 28 de Julio	51.22	F	90.42	F
	Av. Velasco Astete	105.69	F		
	Via Expresa	71.07	F		
	Av. Qosqo	80.93	F		
Propuesta N5	Av. 28 de Julio	23.22	C	43.6	D
	Av. Velasco Astete	49.93	E		
	Via Expresa	33.18	D		
	Av. Qosqo	34.05	D		

Fuente: Propia

La figura 158 muestra el porcentaje de aumento de la capacidad total de la intersección de las cinco propuestas de rediseño geométrico en comparación a la capacidad total de la intersección de la situación actual de la intersección a nivel denominada “Ovalo Libertadores”.

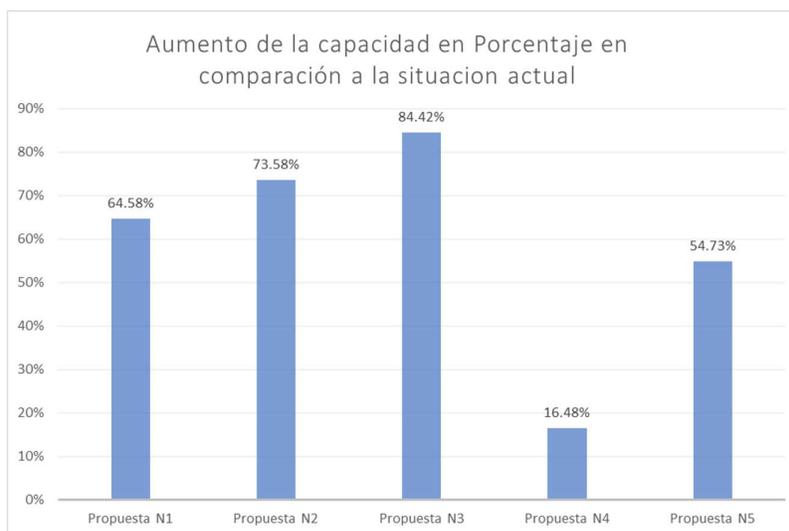


Figura 158 Aumento de la capacidad en porcentaje en comparación a la situación actual

Fuente: Propia



## 5 Capítulo V: Discusión

Discusión N° 01: ¿Cuándo es recomendable hacer uso de una rotonda en comparación a otras intersecciones?

Se plantea el uso de rotondas bajo dos condiciones principales, la primera tiene que ver con la cantidad de vehículos que hacen uso de la intersección, realizando una comparación entre los volúmenes de la aproximación principal versus la aproximación secundaria, la segunda condición para considerar el planteamiento de una rotonda es cuando las necesidades de giro son mayores a los movimientos de paso en la intersección.

Discusión N° 02: ¿Cuál es la importancia de la señalización en rotondas y cómo influye en el comportamiento funcional?

La señalización en rotondas facilita la circulación de los vehículos en la aproximación debido a que da prioridad a los vehículos que están en la calzada de circulación, además genera un sistema para guiar y regular a los conductores, mejorando la seguridad y haciendo que los vehículos puedan seleccionar desde el ingreso el carril de destino, evitando el cambio de carril dentro de la calzada de circulación.

Discusión N° 03: ¿Cómo se hizo para calcular la capacidad de la situación actual de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” si esta intersección no tiene características de una rotonda?

Debido a que a situación actual de la intersección presenta características de una intersección giratoria controlada por semáforos, sin embargo, no presenta características propias de una rotonda, a pesar de ello se puede adaptar la fórmula de Kimber para el cálculo de la capacidad, se determinaron los parámetros necesarios en el cálculo de capacidad por aproximaciones.

Discusión N° 04: ¿Cuál es el parámetro más importante de la formula del TRL en el cálculo de la capacidad en las propuestas presentadas?

El parámetro más relevante en el cálculo de la capacidad para las propuestas de rediseño geométrico es el ángulo de entrada desde las aproximaciones hacia la calzada de circulación en las rotondas, debido a que a ángulos mayores de entrada producen que la capacidad de la vía se disminuya, y por el contrario ángulos de entrada menores hacen que la capacidad de entrada a la rotonda se vea aumente, además de generar velocidades altas de ingreso y salida lo que influye en la seguridad y el comportamiento funcional de la rotonda.



Discusión N° 05: ¿Por qué no se realizó una calibración del cálculo de la capacidad en las propuestas presentadas en la investigación?

La calibración se realiza cuando los volúmenes vehiculares de entrada por aproximación, los cuales permiten calcular el flujo circulante en el método del TRL (Formula de Kimber); son datos aleatorios, es decir no representan volúmenes vehiculares de un periodo de máxima demanda. En esta investigación como se puede apreciar en el capítulo III Metodología, se realizó un aforo durante 5 días, los cuales nos permitieron observar el comportamiento de los volúmenes vehiculares por aproximación y de toda la intersección, determinando el día y la hora de máxima demanda.

Discusión N° 06: ¿Es posible adaptar el método del TRL para el cálculo de capacidad de rotondas en el Perú?

Si, puede ser adaptable a la normativa peruana debido a que esta solo presenta la fórmula de Wardrop para el cálculo de capacidad en rotondas, sin embargo, sería recomendable también incorporar criterios de diseño geométrico de rotondas basados en el NCHRP Report 672, además se puede incorporar el paquete Arcady para la evaluación de rotondas en la normativa del país. Chile incorpora el modelo del TRL para la evaluación de rotondas.

Discusión N° 05: ¿El software Vehicle Tracking permite realizar el área de barrido de un vehículo de diseño en la entrada, calzada de circulación y en la salida de las propuestas de rediseño de esta investigación?

La investigación “Evaluación de giros de vehículos utilizando el software Vehicle Tracking sobre AutoCAD Civil 3D” concluye que se pueden simular el desplazamiento de los vehículos para verificar radios de giro en diversas infraestructuras viales. El software Vehicle Tracking si permite simular el recorrido en las propuestas de rediseño geométrico, donde se emplearon dos vehículos de diseño que son los de mayor dimensión y frecuencia de paso de acuerdo a las aproximaciones.

Discusión N° 06: ¿Por qué se realizó una proyección de volúmenes vehiculares en la intersección de estudio?

La proyección a futuro dentro de 25 años de los volúmenes vehiculares se realizó con la finalidad de ver la variación de la capacidad, niveles de servicio y longitudes de cola en las propuestas de rediseño, y así determinar cuál es la situación más crítica y que propuesta presenta mejores resultados en el comportamiento funcional.



Discusión N° 07: ¿Cuál de las propuestas de rediseño de la intersección presenta mejores resultados en el análisis?

Todas las propuestas de rediseño en comparación a la situación actual presentan mejores resultados respecto a los volúmenes actuales, las propuestas de rediseño 1 y 2 presentan niveles de servicio D con 34.96 seg y 34.08 seg de demora total para la intersección respectivamente, la propuesta 3 tiene 14.18 seg en demora total y nivel de servicio B, la propuesta 4 presenta nivel de servicio F y la propuesta N°5 tiene nivel de servicio C; en la proyección a 25 años las propuestas 1 y 2 presentan un nivel de servicio E sin embargo la propuesta 2 tiene demora en la intersección de 44.49 seg frente a 47.33 seg de la propuesta 1, la propuesta 3 tiene un nivel de servicio C, la propuesta 4 presenta un nivel de servicio F con 90.42 seg de demora en la intersección y la propuesta N° 5 tiene un nivel de servicio D con 43.60 seg de demora para toda la intersección.

Discusión N° 08: ¿Por qué las distancias de visibilidad reales de las propuestas varían en comparación a las distancias de visibilidad calculadas?

El NHCRP Report 672 menciona que las distancias de visibilidad no pueden ser mayores a las calculadas por que pueden hacer que la seguridad se vea afectada, en las propuestas de rediseño se ven variaciones no muy considerables con respecto a la distancia calculada, sin embargo estas variaciones no harían que la seguridad se vea comprometida debido a que en los ingresos a las rotondas se han considerado resaltos circulares y trapezoidales para controlar de una mejor la velocidad de ingreso, además de que algunos de estos resaltos también cumple la función de cruce peatonal.

Discusión N° 09: ¿La presencia de giros exclusivos en las aproximaciones de las propuestas de rediseño influyen en el cálculo de capacidad?

Si, debido a que el volumen vehicular que se aproximan a la intersección y el flujo vehicular que tiene necesidad de giros exclusivos a la derecha, ya no harán uso de la calzada de circulación, por lo tanto, el valor de flujo circulante en la formula del modelo del TRL será menor.

Discusión N° 10: ¿Cuál es el área empleada en las propuestas de rediseño de la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” en comparación a la situación actual?

El área de la infraestructura vial de la situación actual cuyas limitaciones se han descrito en el capítulo III en la cuantificación del universo, equivale a 53 708.88 m<sup>2</sup>, el área necesaria para la



propuesta 1 es de 59 707.01 m<sup>2</sup> siendo un 11.17 % mayor con referencia al área actual, en la propuesta 2 el área requerida es de 58 552.39 m<sup>2</sup> siendo un 9.02 % mayor en comparación a la situación actual, para la propuesta 3 el área es de 57 936.45 m<sup>2</sup> siendo un 7.30% mayor en comparación al área actual, en la propuesta 4 el área es de 56 312.35 m<sup>2</sup> siendo un 4.85% mayor a la situación actual y propuesta 5 es de 57 936.45 m<sup>2</sup> siendo un 7.30 % mayor con referencia al área actual. En la propuesta 1 se requieren 5915.18 m<sup>2</sup> en la zona del aeropuerto, 69.54 m<sup>2</sup> en la zona de la esquina del grifo y 13.40 m<sup>2</sup> de la casa ubicada en la esquina de la Av. Qosqo. En el caso de la propuesta 2 se requieren 4606.17 m<sup>2</sup> en la zona del aeropuerto, 133.84 m<sup>2</sup> en la zona de la esquina del grifo y 103.50 m<sup>2</sup> de la casa ubicada en la esquina de la Av. Qosqo, para el caso de la propuesta 3 se requieren 4144.63 m<sup>2</sup> en la zona del aeropuerto, 69.54 m<sup>2</sup> en la zona de la esquina del grifo y 13.40 m<sup>2</sup> de la casa ubicada en la esquina de la Av. Qosqo, para la propuesta 4 se requieren 2277.19 m<sup>2</sup> en la zona del aeropuerto, 266.82 m<sup>2</sup> en la zona de la esquina del grifo y 60.03 m<sup>2</sup> de la casa ubicada en la esquina de la Av. Qosqo y finalmente para la propuesta 5 se requieren 4144.63 m<sup>2</sup> en la zona del aeropuerto, 69.54 m<sup>2</sup> en la zona de la esquina del grifo y 13.40 m<sup>2</sup> de la casa ubicada en la esquina de la Av. Qosqo.

Discusión N° 11: ¿Por qué no se realizó una estimación del volumen vehicular atraído debido al mejoramiento integral de la Vía Expresa?

Esta investigación tiene mayor énfasis en diseños geométricos óptimos para la intersección a nivel “Ovalo Libertadores” buscando mejorar los problemas presentes en esta intersección; debido a la importancia del proyecto del mejoramiento integral de la Vía Expresa se necesita un alto grado de detalle en la estimación de datos, por ejemplo sería necesario realizar estudios en las siguientes zonas de intereses: Control de San Jerónimo, Enaco, 7mo paradero de San Sebastián, 4to paradero de San Sebastián, desvío ubicado a la altura del 1er paradero de San Sebastián hacia la Av. Manantiales y la Prolongación Diagonal Angamos; entonces desde este punto de vista esta estimación no sería viable para nuestra investigación.

Discusión N° 12: ¿Es recomendable hacer uso del software Junctions 9 para la evaluación de rotondas?

Si, debido a que este software presenta una interfaz directa con el usuario que tiene conocimientos de ingeniería de tránsito, permitiendo el cálculo de capacidad, demoras, niveles de servicio y longitudes de colas en las aproximaciones de rotondas, además de permitir un modelamiento preciso de las características geométricas de rotondas.



## GLOSARIO

<b>Ancho de entrada:</b>	Ancho efectivo de la calzada en la zona de ingreso a la rotonda.
<b>Aproximación:</b>	Vía por la cual los vehículos se aproximan hacia la rotonda.
<b>Arcady:</b>	Modulo especializado para la evaluación de rotondas, pertenece al paquete Junctions 9.
<b>Área de barrido:</b>	Área que representa el espacio que genera el recorrido de un vehículo.
<b>Áreas de uso peatonal:</b>	Espacios destinados para el desplazamiento de los peatones.
<b>Calzada:</b>	Parte de la infraestructura vial destinada a la circulación de vehículos, y está compuesta por carriles.
<b>Camino rápido:</b>	Trayectoria seleccionada por el conductor bajo condiciones de teóricas.
<b>Capacidad de entrada:</b>	Cantidad máxima de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por aproximación.
<b>Capacidad de intersección:</b>	Representa la suma de las capacidades de entrada de todas las aproximaciones.
<b>Carril:</b>	Franja longitudinal que divide la calzada, delimitada o no por marcas viales longitudinales.
<b>Ciclo semafórico:</b>	Tiempo de cada una de las fases del ciclo: rojo, verde y ámbar.
<b>Conductor:</b>	Usuario que direcciona un vehículo
<b>Factor horario de máxima demanda:</b>	Representa la relación entre el volumen máximo horario y el volumen máximo de un periodo de análisis.
<b>Flujo circulante:</b>	Volumen de vehículos que circulan por la calzada de circulación.
<b>Flujo entrante:</b>	Volumen de vehículos que pueden ingresar a la rotonda por cada aproximación.
<b>Flujo vehicular:</b>	Volumen vehicular que tiene una dirección en específico, también llamados movimientos vehiculares.



- Funcionamiento operacional:** Es el comportamiento funcional de la intersección en función a sus características de diseño y los vehículos que hacen uso la intersección.
- Funcionamiento vial:** Es la circulación de los vehículos de manera que segura y continua para con los usuarios que hacen uso de la infraestructura vial.
- Impacto vial:** Efectos que se generan por diversos factores en un sistema vial.
- Ingreso:** Zona por donde ingresan los vehículos a la rotonda, también llamada zona de entrada.
- Intersección:** Zona por donde cruzan varias vías, este cruce se da a nivel.
- Inventario vial:** Procedimiento por el cual se recolectan información de una zona de estudio.
- Paso a desnivel:** Intercambio vial que puede ser elevado o subterráneo.
- Pendiente:** Inclinação de la calzada en el sentido de ingreso.
- Radio de entrada:** Radio de la curva en la zona de ingreso.
- Rotonda:** Intersección giratoria
- Superposición de trayectorias:** Es el conflicto que se genera cuando la trayectoria de dos vehículos se entrecruza.
- Trayectoria natural:** Es el recorrido natural que se genera desde el ingreso hasta la salida de la rotonda sin generar cambios en la ruta.
- TRL:** Transport Research Laboratory.
- Turborotonda:** Rotonda con características especiales en la isla central.
- Vehículo de diseño:** Vehículo de mayores dimensiones, para optimizar diseños geométricos
- Velocidad:** Relación entre el tiempo necesario para recorrer un espacio entre dos puntos establecidos.



## CONCLUSIONES

### Conclusión N° 01

Se demuestra la hipótesis general: “Rediseñando la intersección a nivel denominada "Óvalo Libertadores", aplicando el método del TRL para el cálculo de capacidad mejorara el comportamiento funcional de la intersección” debido a que en todas las propuestas de rediseño satisfacen la condición de mejora del comportamiento funcional, esto se puede apreciar en la figura 154 de comparación de la capacidad, la figura 155 de comparación de longitud de colas y la tabla 120 de comparación de niveles de servicio en el capítulo IV Resultados.

### Conclusión N° 02

Se demuestra la sub – hipótesis #1: “Con las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores" los flujos vehiculares tendrán una mejor circulación vial en la intersección”, debido a las consideraciones presentes en las propuestas como giros exclusivos a la derecha y los pasos favorecen a un flujo libre e ininterrumpido ya no se presentan giros atípicos o restricciones de movimiento en la intersección, , lo mencionado se refleja en los resultados de niveles de servicio que se puede apreciar en la tabla 120 de comparación de niveles de servicio con la situación actual, la circulación mejora debido a ingresos adecuados a la intersección como se puede apreciar en los planos de los anexos P1, P2, P3, P4 y P5 de las propuestas N°1, N°2, N°3, N°4 y N°5 respectivamente.

### Conclusión N° 03

Se demuestra la sub – hipótesis #2: “Con las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores” la capacidad vial de la infraestructura se optimizará.”, la capacidad calculada mediante el método del TRL en las cinco propuestas de rediseño es mayor en comparación a la situación actual de la intersección como se puede apreciar en la figura 157, en la propuesta N°1 la capacidad es mayor en un 64.58%, en la propuesta N°2 en un 73.58%, en la propuesta N°3 en un 84.42%, en la propuesta N°4 en un 16.48% y en la propuesta N°5 en un 54.73% lo mencionado anteriormente se muestra en la figura 158. Además, en la figura 156 se puede apreciar que la capacidad en la proyección a 25 también resulta ser mayor en comparación a la situación actual.

### Conclusión N° 04

Se demuestra la sub – hipótesis #3: “Con las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores" el ingreso, circulación y salida del



vehículo de diseño será el adecuado”, debido a que se generan trayectorias naturales en el ingreso, circulación y salida de los vehículos de diseño esto se puede apreciar en las figuras 124 y 125 que corresponde al barrido del vehículo de diseño en la propuesta 01, en las figuras 130 y 131 para la propuesta 02, en las figuras 132 y 133 para la propuesta 03, en las figuras 142 y 143 para la propuesta 04 y finalmente en las figuras 148 y 149 correspondiente a la propuesta 05.

#### Conclusión N° 05

Se demuestra la sub – hipótesis #4: “Con las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo Libertadores" las longitudes de colas disminuirán”, debido a que las la longitud de colas de las propuestas N°1, N°2, N°3, N°4 y N°5 disminuyen en comparación a la situación actual con los volúmenes actuales y los proyectados a 25 años, esto se puede apreciar en las figuras 155 y 157 respectivamente del capítulo IV Resultados.

#### Conclusión N° 06

Se demuestra la sub – hipótesis #5: “Con las propuestas de rediseño geométrico de la intersección a nivel denominado "Óvalo de los Libertadores” los niveles de servicios mejoran”, debido a que el nivel de servicio en la situación actual es F mientras que en la propuesta N° 1 el nivel de servicio es D de servicio, en la propuesta N° 2 el nivel de servicio es D de servicio, en la propuesta N° 3 el nivel de servicio es B de servicio, en la propuesta N° 4 el nivel de servicio es F y en la propuesta N° 5 el nivel de servicio es C, lo mencionado anteriormente se puede apreciar en la tabla 120 del capítulo IV Resultados. Además, con los volúmenes proyectados a 25 años en la propuesta N° 1 el nivel de servicio es E de servicio, en la propuesta N° 2 el nivel de servicio es E de servicio, en la propuesta N° 3 el nivel de servicio es C de servicio, la propuesta N° 4 el nivel de servicio es F y en la propuesta N° 5 el nivel de servicio es D, lo mencionado anteriormente se puede apreciar en la tabla 121 del capítulo IV Resultados.



## RECOMENDACIONES

### Recomendación N° 01

Se recomienda realizar un análisis comparativo entre esta investigación frente a una microsimulación de las propuestas presentadas con una adecuada calibración a las condiciones locales, para obtener mayor detalle en algunos resultados.

### Recomendación N° 02

Se recomienda realizar una estimación del crecimiento de los volúmenes vehiculares que puedan hacer uso de la Vía Expresa debido al proyecto del mejoramiento integral de esta avenida, esto con la finalidad de obtener mejores resultados en las proyecciones a 25 años.

### Recomendación N° 03

Se recomienda que, para un correcto funcionamiento e implementación de las propuestas de rediseño presentadas en esta investigación, por parte de las entidades competentes se cree un plan vial con inspectores viales que regulen y complementen la señalización de las propuestas durante un tiempo determinado con el fin de garantizar una adecuada circulación de los vehículos en las aproximaciones y la seguridad de los usuarios de la intersección.

### Recomendación N° 04

Se recomienda que para la propuesta de turborotonda presentada en esta investigación, será necesario preparar un plan de educación vial, por parte de las entidades correspondientes, esto para los usuarios de la intersección explicando la circulación por los carriles que pasan por el perímetro de la isla central desde la Av. 28 de Julio y Vía Expresa, con la finalidad de obtener el funcionamiento deseado debido al tratamiento en la isla central en este tipo de rotondas.

### Recomendación N° 05

Se recomienda realizar estudios comparativos de costos de inversión entre rotondas a nivel y rotondas con paso a desnivel. Además, las entidades públicas deben realizar un estudio para determinar el impacto vial teniendo en cuenta rutas alternas, evitar estacionamientos en estas rutas, así como la habilitación de estas rutas para su correcto funcionamiento y los diversos problemas que se pueden presentar, en caso de mejorar la situación actual con propuestas a nivel o a desnivel.



## REFERENCIAS

- AGUILAR, W. N. (2018). *Análisis y evaluación microscópica del Tráfico en el Ovalo Quiñones, haciendo del software PTV Vissim*. Arequipa.
- Almonacid Mancilla, O. M. (2007). *Simulación digital del tráfico para intersecciones señalizadas por semáforo bajo ambiente tridimensional*. Concepción: Universidad del Bio Bio.
- Blazquez, L. B. (2000). *Manual de Carreteras*. España.
- Bonett Peña, P., & Yatto Grados, E. H. (2017). *ANÁLISIS DE LA CAPACIDAD VIAL Y NIVEL DE SERVICIO DE LAS INTERSECCIONES SEMAFORIZADAS DEL CUSCO EN COMPARACION CON UNA INTERSECCION A DESNIVEL APLICANDO LA METODOLOGIA DEL HCM Y SOFTWARE DE SIMULACION*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Breña Silvera, F. A. (2015). *Evaluación de giros de vehículos utilizando el software Vehicle Tracking sobre AutoCAD Civil 3D*. Lima: Universidad Ricardo Palma.
- Bulla Cruz, L. A. (2010). *Metodología para la evaluación técnica y operativa de turboglorietas como alternativa de intersección vial en el ámbito urbano*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- Cal y Mayor Reyes Spindola, R. &. (1994). *Ingeniería de Tránsito (7ma ed.)*. México: Omega.
- Cal y Mayor Reyes Spindola, R. &. (2007). *Ingeniería de Tránsito (8va ed.)*. México: Alfaomega.
- Chavez Loaiza, V. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de vías urbanas*. Lima: ICG.
- Fernández, R., & Dextre, J. (2011). *Elementos de la Teoría del tráfico vehicular*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Fortuijn, L. (2009). *Turbo roundabouts: Design principles and safety performance*. Washington D.C., USA: Transportation Research Board.
- Gomez Johson, R. (2004). *Texto del Alumno Ingeniería de Tráfico*. Cochabamba.
- Gonzales Rivera, R. (2005). *Calibración de microsimulador AIMSUM para flujo ininterrumpido en el ciudad de Concepción*. Concepción: Universidad del Bio-Bio.
- Guzman Balcazar, J. A. (2010). *REDISEÑO DEL OVALO NARANJAL*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- HCM. (2010). *HIGHWAY CAPACITY MANUAL 2010*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- INEI, I. (2015). *Síntesis Estadística*. Lima.
- INEI, I. N. (2017). *Crecimiento y distribución de la Población*. Lima.



- Instituto de Construcción y Gerencia. (2005). *Manual de Diseño Geométrico de Vías Urbanas*. Lima: Instituto de Construcción y Gerencia.
- Kimber, R., & Hollis, E. (1979). *Traffic queues and delays at road junctions, LR 909*. Crowthorne: Transport Research Laboratory.
- Kittelson & Associates. Inc. (2014). *KANSAS ROUNDABOUT GUIDE*. Kansas: Kansas Department of Transportation.
- Kraemer, C., & Pardillo, J. M. (2004). *Ingeniería de Carreteras Volumen 1*. España: Mc Graw Hill.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2008). *Manual de carreteras no pavimentadas de bajo de volumen de tránsito*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2014). *"Reductores de velocidad tipo resalto para el sistema nacional de carreteras (SINAC)" -Directiva N° 01 - 2011 - MTC /14*. Lima: MTC.
- Ministerio de Transportes y Comunicaciones. (2016). *Manual de Dispositivos de Control del Tránsito Automotor para Calles y Carreteras*. Lima: MTC.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2009). *Manual para la Elaboración de Planes de Desarrollo Urbano*. Lima: MVCS.
- NCHRP. (2010). *Roundabouts: And informational guide Report 672*. Washington D.C.: Transportation Research Board.
- Nieto Medina, C. M. (2016). *Aplicabilidad del modelo lineal de Kimber para determinar la capacidad de rotondas en Lima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Radelat Egües, G. (2003). *Principios de Ingeniería de tránsito*. Washington D.C.: Instituto de Ingenieros de Transporte -ITE.
- RIVERA, R. G. (2005). *Calibración del Microsimulador AIMSUN para flujo ininterrumpido en la ciudad de Concepción*. Concepción : Universidad del Bio-Bio.
- Sampieri, H. (2010). *Metodología de la investigación* . 5ta Edición MC Graw Hill.
- SEDESOL. (2001). *Manual de estudios de ingeniería de tránsito*. Mexico.
- Silva A., Vasconcelos L. & Santos S. (2013). *Moving from Conventional Roundabouts to Turbo-Roundabouts*. Portugal: 16th Meeting of the EURO Working Group on.
- Sosa Martínez, P. A. & Dueñas Bohorquez, I. D. (2018). *Estudio comparativo entre una glorieta Target y una glorieta convencional por medio de su diseño geométrico y microsimulación de tráfico como alternativa de intersección vial en Bogotá*. Bogotá: Universidad Santo Tomás de Aquino.
- Tamayo. (2003). *El proceso de investigación Científica*. Mexico D.F.: Limusa S.A.



- Tisoc Porcel, R. (2017). *Evaluacion de los ejes transversales en los distritos de Wanchaq, San Sebantian y San Jeronimo y su influencia en la congestion vehicular de la ciudad del Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.
- Torres Alzamora, A. (2015). *Analisis y comparacion de criterios de diseño geometrico en rotondas modernas*. Piura: Universidad de Piura.
- Valencia Alaix, V. G. (2007). *Guia de ingenieria de transito*. Medellin: Universidad Nacional de Colombia.
- Vera Pacheco, D. Y. (2014). *Estudio y mejora de la fluidez del transito mediante el diseño de una rotonda en la interseccion Los Robles - Los Laureles, Valdivia* . Valdivia: Universidad Austral de Chile.
- William McShane y Ken Crowley. (1976). *Regularity of Detector-Observed Arterial Traffic Volume Characteristics*. Washington, D. C: Transportation Research Record 596.